

# 达乌尔黄鼠冷暴露、冬眠及激醒时的 外周甲状腺激素水平变化\*

刘小团 李庆芬\*\* 黄晨西 孙儒泳

(北京师范大学生命科学学院生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 北京 100875)

**摘要** 探讨了达乌尔黄鼠在冷暴露、冬眠及激醒时的外周甲状腺激素水平变化和激素代谢。达乌尔黄鼠在非冬眠季节(7~8月)冷暴露(4 ± 2) 1天, 导致血清 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 浓度迅速增加, T<sub>3</sub>/T<sub>4</sub> 不变; 经4周冷驯化后, T<sub>3</sub> 维持在高水平上, T<sub>4</sub> 降低, T<sub>3</sub>/T<sub>4</sub> 增加, 外周组织中的 T<sub>4</sub> 脱碘酶活性升高。表明冬眠动物与非冬眠动物的甲状腺机能及其激素代谢的冷适应性调节一致。在冬眠季(12~1月)的冬眠和激醒过程中, 外周组织的 T<sub>4</sub> 脱碘酶活性、血清 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 水平比常温达乌尔黄鼠的高, 显著高于夏季的水平, T<sub>3</sub>/T<sub>4</sub> 不变。表明达乌尔黄鼠甲状腺机能及其激素水平存在季节性变化。

**关键词** 达乌尔黄鼠 冷暴露 甲状腺素 (T<sub>4</sub>) 三碘甲状腺原氨酸 (T<sub>3</sub>) T<sub>4</sub> 5-脱碘酶

小型冬眠哺乳动物周期性地从冬眠中激醒, 伴随着代谢率增加和 BAT 产热功能激活, 甲状腺激素是这两种过程的重要调节因素之一。但有关甲状腺活性以及甲状腺激素代谢在季节性冬眠动物中的研究报道很不一致, 基本上可以归结为两类: 一些冬眠动物在早春季节, 甲状腺活性高, 晚春和夏季逐渐降低, 冬眠期降到最低限 (Hudson, 1979; Tomasi *et al.*, 1998); 相反, 瑞氏黄鼠 (*Spermophilus richardsoni*) 和多纹黄鼠 (*Spermophilus tridecemlineatus*) 等在入眠和冬眠期甲状腺活性并未受抑制, 冬眠季节血循环 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 比夏季高 2~7 倍 (Demeneix *et al.*, 1978a; Tomasi *et al.*, 1996a)。至于冬眠期中甲状腺活性、甲状腺激素代谢变化以及冷驯化中甲状腺激素代谢变化的研究报道较少, 只见到刚毛棉鼠血清 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 在冬眠期水平最高, 觉醒过程中略有下降 (Tomasi *et al.*, 1996b) 和瑞氏黄鼠血清 T<sub>3</sub> 浓度在觉醒的早期显著降低 (Demeneix *et al.*, 1978b) 报道。本文旨在探讨达乌尔黄鼠 (*Spermophilus dauricus*) 在冬眠和激醒时及夏日的冷暴露中, 甲状腺激素的代谢变化及其对机体的影响, 为进一步了解冬眠生理提供基础资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 动物驯化

达乌尔黄鼠于5月初捕自山西阳高县, 带回北京后于自然室温和光照条件下饲养。挑选体重 250~300 g 的动物用于实验。

**1.1.1 低温暴露** 在非冬眠季节的 7~8 月进行实验。实验组动物在 (4 ± 2) 室温中冷暴露 1 天 (急性) 和 4 周 (慢性); 对照组动物饲养在 25~28 室温中。光周期皆为 12L:12D。驯化期结束, 分别在各自的驯化环境中迅速处死动物、收集血液并制备血清、摘取肝脏和褐色脂肪组织 (BAT)。

**1.1.2 冬眠与激醒** 从 9 月份以后, 动物一直饲养在 (22 ± 2) 室温中。于 12 月将动物置于 (4 ± 2) 恒黑环境中使其入眠, 并达到深冬眠状态 (直肠温度为 6 左右)。待动物至少经历一次自发觉醒后, 按下述分组处理: 冬眠组: 动物在深冬眠状态下被处死采样; 激醒组: 于低温环境中, 在深冬眠动物直肠内插入数字温度计, 每隔 3~4 min 轻轻触动动物, 持续进行 40~60 min, 待其体温升高大约 6 时迅速处死动物采样; 非冬眠组: 作为对照组, 饲养在 (22 ± 2), 其体温维持在 32.4 左右。

1999-11-26 收稿, 2000-2-24 修回

\* 国家自然科学基金资助项目 (No. 39670122) 及国家教委博士点基金资助项目

\*\* 通讯作者 E-mail: lidu@bnu.edu.cn

第一作者简介 刘小团, 女, 29 岁, 博士。研究方向: 动物生理生态学。现在美国 Baton Rouge 做博士后。

## 1.2 甲状腺素 (T<sub>4</sub>) 5-脱碘酶活性测定

分别称取肝脏和 BAT, 加入 10 倍体积的蔗糖缓冲液, 充分匀浆后于 4 离心 (800 ×g) 15 min, 取上清液测定酶活力 (Leonard *et al.*, 1983)。酶反应中<sup>125</sup>I 标记的 T<sub>3</sub> 由中国原子能研究院提供。

## 1.3 血清中 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 浓度的测定

采用中国原子能研究院生产的放射免疫药盒。

## 1.4 蛋白量的测定

用 Lowry 法, 以牛血清白蛋白为标准。

## 1.5 数据分析

采用 SPSS 统计软件包中 One-Sample Kolmogorov-Smirnov test, 确定数据为正态分布后用单因素方差分析检验, 差异的显著性以 0.05 为标准。所有结果均以平均值 ±标准误 (样本量) 表示。

# 2 结果

## 2.1 常温达乌尔黄鼠血清 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 浓度的变化

冷驯化过程中, 血清 T<sub>3</sub> ( $F_{(2,11)} = 20.45$ ,  $P$

<0.001)、T<sub>4</sub> 浓度 ( $F_{(2,11)} = 24.35$ ,  $P < 0.001$ ) 和 T<sub>3</sub> 与 T<sub>4</sub> 的比率 ( $F_{(2,11)} = 9.00$ ,  $P < 0.001$ ) 发生显著变化。急性冷暴露后, T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 的浓度显著上升, 而慢性冷暴露后 T<sub>3</sub> 高于对照组, 但又明显的低于急性冷暴露组。血清 T<sub>3</sub>/T<sub>4</sub> 在慢性冷暴露后显著上升, 是对照组的 2.6 倍 (表 1)。

## 2.2 常温达乌尔黄鼠肝脏和 BAT 的 T<sub>4</sub> 5-脱碘酶活性的变化

当用每毫克蛋白每小时 T<sub>3</sub> 的释放量来表示酶的特殊活力时, 在冷暴露过程中, 肝脏和 BAT 的酶活力均显著上升 (分别为  $F_{(2,11)} = 22.53$ ,  $P < 0.001$ ;  $F_{(2,11)} = 9.24$ ,  $P < 0.005$ )。肝脏整体酶活力只在慢性冷暴露后显著增加, 而 BAT 整体酶活力在急性冷暴露时比对照增加了 275%, 慢性冷暴露后进一步显著增加 (表 2)。

## 2.3 冬眠和觉醒过程中血清 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 的浓度

方差分析表明, 达乌尔黄鼠冬眠、觉醒和未冬眠三组动物的血清 T<sub>3</sub> ( $F_{(2,11)} = 45.21$ ,  $P < 0.001$ ) 和 T<sub>4</sub> ( $F_{(2,11)} = 6.62$ ,  $P < 0.01$ ) 浓度均发生明显

表 1 冷暴露对常温达乌尔黄鼠血清 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 浓度的影响

Table 1 Effect of cold exposure on concentrations of serum T<sub>3</sub> and T<sub>4</sub> in euthermic ground squirrel

	对照 Control	急性冷暴露 Acute cold	慢性冷暴露 Chronic cold
T <sub>3</sub> (ng/ml)	1.41 ±0.13 (5)	4.03 ±0.48 (4)*	2.91 ±0.24 (5)**
T <sub>4</sub> (ng/ml)	27.9 ±3.61 (5)	54.8 ±4.28 (4)*	22.5 ±2.25 (5)†
T <sub>3</sub> /T <sub>4</sub> (×10)	0.52 ±0.15 (5)	0.86 ±0.02 (4)	1.33 ±0.18 (5)**

括弧中的数字为样本数 (The number of sample is shown in parentheses)

各组数据符合正态分布 (The data distribution of all groups was normal)

one-way ANOVA: \*  $P < 0.05$  与对照组比较 (vs control) †  $P < 0.05$  与急性冷暴露组比较 (vs acute cold)

表 2 冷暴露对常温达乌尔黄鼠肝脏和 BAT T<sub>4</sub> 5-脱碘酶活性的影响

Table 2 Activity of T<sub>4</sub> 5-deiodinase in liver and BAT in euthermic ground squirrel during acute and chronic cold exposure

组别 Group	肝脏 Liver		褐色脂肪组织 BAT	
	特殊活力 (Specific activity) (pmol T <sub>3</sub> /mg pro./h)	整体活力 (Total activity) (nmol T <sub>3</sub> /organ/h)	特殊活力 (Specific activity) (fmol T <sub>3</sub> /mg pro./h)	整体活力 (Total activity) (pmol T <sub>3</sub> /organ/h)
对照 (5) (Control)	0.27 ±0.02	0.97 ±0.17	13.5 ±0.84	3.18 ±0.30
急性冷暴露 (4) (Acute cold)	0.55 ±0.01*	1.53 ±0.22	24.2 ±0.79*	11.9 ±0.99*
慢性冷暴露 (5) (Chronic cold)	0.71 ±0.09*	3.20 ±0.27**	33.3 ±6.16*	18.1 ±0.99 (5)**

括弧中的数字为样本数 (The sample size is shown in parentheses)

one-way ANOVA: \*  $P < 0.05$  与对照组比较 (vs control) †  $P < 0.05$  与急性冷暴露组比较 (vs acute cold)

表3 达乌尔黄鼠冬眠和觉醒时 BAT  $T_4$  5-脱碘酶活性及血清  $T_3$  和  $T_4$  浓度Table 3 Activity of  $T_4$  5-deiodinase in BAT and serum  $T_3$  and  $T_4$  concentration in hibernating, arousing and nonhibernating ground squirrel

	未冬眠组 Nonhibernating	冬眠组 Hibernating	觉醒组 Arousing
血清 $T_3$ (Serum $T_3$ ) (ng/ml)	3.29 $\pm$ 0.07 (6)	5.32 $\pm$ 0.37 (4)*	6.44 $\pm$ 0.33 (4)**
血清 $T_4$ (Serum $T_4$ ) (ng/ml)	31.0 $\pm$ 4.79 (6)	57.6 $\pm$ 11.4 (4)*	64.3 $\pm$ 5.72 (4)*
$T_3/T_4$ ( $\times 10$ )	0.93 $\pm$ 0.07 (6)	1.13 $\pm$ 0.21 (4)	1.05 $\pm$ 0.17 (4)
$T_4$ 5-脱碘酶(deiodinase)			
特殊活力 (Specific activity) (fmol $T_3$ /mg protein/h)	31.9 $\pm$ 1.98 (6)	93.7 $\pm$ 7.69 (4)*	51.6 $\pm$ 2.88 (4)**
整体活力 (Total activity) (pmol $T_3$ /BAT pads/h)	10.7 $\pm$ 1.94 (6)	60.5 $\pm$ 2.078 (4)*	29.0 $\pm$ 2.85 (4)**

各组数据符合正态分布 (The data distribution of all groups was normal. One-sample Kolmogorov-Smirnov test,  $P > 0.05$ )  
one-way ANOVA: \*  $P < 0.05$  与非冬眠组比较 (vs nonhibernating) +  $P < 0.05$  与冬眠组比较 (vs hibernating)

变化。冬眠组比未冬眠组的  $T_3$  和  $T_4$  分别增加了 62% 和 86%。觉醒过程中, 血清  $T_3$  浓度进一步提高, 分别比对照和冬眠组增加了 96% 和 23%, 但  $T_4$  浓度与冬眠组相比没有显著的差异。三组动物血清  $T_3/T_4$  没有明显的差异 ( $F_{(2,11)} = 0.44$ ,  $P = 0.65$ ) (表 3)。

#### 2.4 冬眠和觉醒过程中 BAT $T_4$ 5-脱碘酶活性的变化

冬眠、觉醒和对照三组动物  $T_4$  5-脱碘酶的特殊活性和整体活性产生显著差异 (分别为  $F_{(2,11)} = 24.83$ ,  $P = 0.001$ ;  $F_{(2,11)} = 125.25$ ,  $P < 0.001$ )。尽管觉醒过程中  $T_4$  5-脱碘酶的活性也显著高于对照, 但与冬眠组相比反而有明显的下降 (表 3)。

### 3 讨论

#### 3.1 外周组织中甲状腺激素的代谢

甲状腺激素既是哺乳动物专性产热的决定因素之一, 又是兼性产热的重要调节因子 (Jansky, 1995)。甲状腺受垂体前叶的调控, 分泌  $T_3$  和  $T_4$ , 但  $T_3/T_4$  很低, 高活性的  $T_3$  主要是外周组织的  $T_4$  5-脱碘酶催化  $T_4$  脱碘形成的。常温达乌尔黄鼠在冷暴露过程中, 肝脏和 BAT 的脱碘酶活性显著升高, 4 周冷暴露后, 整个器官的酶活力分别增加 2.3 和 4.7 倍; 血清  $T_3/T_4$  比例增加, 也意味着外周组织的  $T_4$  脱碘活性增强, 产生更多高生物活性  $T_3$ , 刺激机体产热增加, 以维持机体在冷环境中的恒温性。这一结果与非冬眠大鼠冷驯化结果相似 (Silva *et al.*, 1986)。但肝脏和 BAT 中的  $T_4$  5-脱

碘酶有本质的区别, 前者激活依赖于甲状腺分泌活性的增加 (Scammell *et al.*, 1981), 后者由交感神经肾上腺能通路激活 (Silva *et al.*, 1986)。因此, 达乌尔黄鼠在冷驯化过程中这两条通路可能同时被激活。这些结果表明, 冬眠和非冬眠啮齿类在冷驯化过程中, 甲状腺激素代谢调控的机制可能是一致的, 但还有待于研究更多的冬眠物种来证实。

达乌尔黄鼠在冬眠和觉醒过程中,  $T_4$  5-脱碘酶显著被激活。据 Obregon 等 (1996) 等报道, 大鼠胎儿 BAT 中, UCP mRNA 的量与  $T_4$  5-脱碘酶激活后形成的  $T_3$  的浓度呈显著的正相关关系。我们的研究表明, 达乌尔黄鼠在冬眠和觉醒时, 其 BAT 中的 UCP mRNA 极显著上调 (Liu *et al.*, 1997), 可以推测冬眠和觉醒过程中  $T_4$  5-脱碘酶的激活是 BAT UCP mRNA 上调的重要因素。由于  $T_4$  5-脱碘酶活性受复杂的神经内分泌调节 (Silva *et al.*, 1986), 达乌尔黄鼠觉醒时  $T_4$  5-脱碘酶活性明显低于冬眠期的这一变化, 是否与冬眠阵中复杂的神经内分泌变化有关, 有待进一步研究。现在已经知道 BAT 中的  $T_4$  5-脱碘酶主要是通过  $\alpha_1$  肾上腺素能通路激活 (Silva *et al.*, 1986), 而 BAT 的产热反应主要是  $\alpha_3$  肾上腺素能受体介导 (Cannon *et al.*, 1996)。对冬眠动物金仓鼠 (*Mesocricetus auratus*) 的冷驯化研究表明, BAT 中  $\alpha_1$  肾上腺素能受体浓度增加 (Raasmaja *et al.*, 1984), 相反 BAT 对  $\alpha_3$  肾上腺素能受体介导的产热反应明显的脱敏化 (Cannon *et al.*, 1996)。这对冬眠动物来讲是有利的, 一方面使 BAT 保持已有的产热潜

能,另一方面使 BAT 处于产热抑制状态。当觉醒时, BAT 的产热活性才被最大程度激活 (Horwitz, 1985)。通过达乌尔黄鼠冬眠时和夏季 4 周时的冷驯化结果比较可以看到,前者的 BAT 脱碘酶活性远大于后者的酶活力,这正表明冬眠时的 BAT 具有最大的产热潜能。尽管冬眠季中未冬眠的黄鼠从入秋以来一直饲养在 22℃ 室温中,但其 BAT 重量与脱碘酶活力远大于 8 月的黄鼠,与冷驯化 4 周的黄鼠其结果相似。推测冬眠的达乌尔黄鼠 BAT 的增殖和功能可能具有自身的内源性节律。

### 3.2 血清 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 浓度的变化

常温达乌尔黄鼠急性冷暴露后,血清 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 浓度迅速增加, T<sub>3</sub>/T<sub>4</sub> 不变,4 周冷暴露后, T<sub>3</sub> 浓度维持在高水平上,而 T<sub>4</sub> 降低,导致 T<sub>3</sub>/T<sub>4</sub> 也缓慢升高。这种变化趋势与非冬眠动物长爪沙鼠、中缅鼯鼠及兼性冬眠动物金仓鼠极其相似 (蔡理全等, 1998; 王政昆等, 1999; Kopecky *et al.*, 1986)。金仓鼠冷驯化时甲状腺活性增强,常温达乌尔黄鼠冷暴露中肝脏和 BAT 的 T<sub>4</sub> 脱碘酶活性增强,外周组织的 T<sub>4</sub> 代谢加速。根据这些证据可以推知,达乌尔黄鼠与非冬眠啮齿类相似,血清 T<sub>4</sub> 水平在冷胁迫过程中的动态变化,可能是甲状腺分泌活性及甲状腺激素在外周组织中的周转速度改变后的综合结果。

在冬眠和觉醒过程中,尽管达乌尔黄鼠血清

T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 水平明显高于室温下的非冬眠对照黄鼠,但三组动物血清 T<sub>3</sub>/T<sub>4</sub> 没有发生明显的变化,表明冬眠季节时黄鼠血清 T<sub>3</sub> 浓度的增加可能主要是因 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 的周转下降,或甲状腺的分泌活动加强所致,外周组织的 T<sub>4</sub> 脱碘酶活性的增加也可能起到次要的作用。因而,尽管觉醒过程中 BAT 的 T<sub>4</sub> 5-脱碘酶活性低于冬眠期的水平,但觉醒时动物血清 T<sub>3</sub> 浓度仍可能随着甲状腺分泌活动加强而升高。这一观点还需要进一步实验研究来证实。

同样处于室温的常温达乌尔黄鼠,在 12~1 月时的血清 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 水平明显高于非冬眠的肥育季节 (7~8 月)。多纹黄鼠和瑞氏黄鼠在季节性冬眠周期中,血清 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 的浓度也有相似的变化。例如多纹黄鼠血清 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 在仲夏时较低,冬眠期维持最高水平,觉醒过程中略有下降,但和冬眠中没有显著差异 (Tomasi *et al.*, 1996a)。瑞氏黄鼠在冬眠季时,血中的 T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 可比夏季高出 2~7 倍 (Demeneix *et al.*, 1978b)。对冬眠动物而言,在夏季或冬眠到来前的肥育季节,低水平的甲状腺激素不仅有利于动物体内脂肪的累积,而且有利于生物膜上不饱和脂肪酸比例增加,从而提高了动物对低温的耐受力。而冬眠过程中高水平的甲状腺激素,一方面有利于维持细胞和细胞器的阳离子梯度,另一方面为冬眠觉醒过程中各组织的产热活动作好了准备。

### 参 考 文 献 (References)

- Cai, L. Q., C. X. Huang and Q. F. Li 1998 The adaptive thermogenesis of the brown adipose tissue of the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*). *Acta Zool. Sin.* **44** (4): 391~397. [蔡理全, 黄晨西, 李庆芬 1998 长爪沙鼠褐色脂肪组织的适应性产热. *动物学报* **44** (4): 391~397.]
- Cannon, B., T. Bengtsson, G. Bronnikov, P. Svoboda, J. Zhao and J. Nedergaard 1996 Nonshivering thermogenesis in a hibernator, the golden hamster: mediation exclusively through beta<sub>3</sub>adrenergic receptors which are desensitized due to cold acclimation. *In*: Geiser, F., A. J. Hulber and S. C. Nicol ed. *Adaptation of Cold*. Armidale: University of New England Press, 271~279.
- Demeneix, B. A. and N. E. Henderson 1978a Thyroxine metabolism in active and torpid ground squirrels, *Spermophilus recharadsoni*. *Gen. Comp. Endocrinol.* **35**: 86~92.
- Demeneix, B. A. and N. E. Henderson 1978b Serum T<sub>3</sub> to T<sub>4</sub> in active and torpid ground squirrels, *Spermophilus recharadsoni*. *Gen. Comp. Endocrinol.* **35**: 77~85.
- Hou, J. J., Q. F. Li and C. X. Huang 1999 Mechanisms of adaptive thermogenesis in Brandt's voles (*Microtus brandti*) during cold exposure. *Acta Zool. Sin.* **45** (2): 147~153. [侯建军, 李庆芬, 黄晨西 1999 布氏田鼠冷暴露中的适应性产热机理. *动物学报* **45** (2): 147~153.]
- Horwitz, B. A., J. S. Hamilton and K. S. Kott 1985 GDP-binding to hamster brown fat mitochondria is reduced during hibernation. *Am. J. Physiol.* **249** (Reg. Integ. Comp. Physiol. 18): R689~R693.
- Hudson, J. W. 1979 Hibernation: endocrinologic aspects. *Ann. Rev. Physiol.* **40**: 287~303.
- Jansky, L. 1995 Humoral thermogenesis and its role in maintaining energy balance. *Physiol. Rev.* **75**: 247~259.
- Kopecky, J. L., Sigurdson, I. R. A. Park and J. Himms-Hagen 1986 Thyroxine 5-deiodinase in hamster and rat brown adipose tissue: effect of cold and diet. *Am. J. Physiol.* **251**: E8~E13.
- Leonard, J. L., S. A. Mellen and P. R. Larsen 1983 Thyroxine 5 deiodinase in brown adipose tissue. *Endocrinol.* **112**: 1153~1155.

- Liu, X. T., Q. S. Lin, Q. F. Li, C. X. Huang and R. Y. Sun 1997 Uncoupling protein mRNA, mitochondrial GTP-binding, and  $T_4$  5-deiodinase activity of brown adipose tissue in Daurian ground squirrel during hibernation and arousal. *Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol.* **120** (4): 745 ~ 52.
- Obregon, M. J., R. Calvo, A. Hernandez, F. E. Rey and G. M. Escobar 1996 Regulation of uncoupling protein messenger ribonucleic acid and 5-deiodinase activity by thyroid hormones in fetal brown adipose tissue. *Endocrinol.* **137** (11): 4 721 ~ 4 729.
- Raasmaja, A., N. Mohell and J. Nedergaard 1984 Increased alpha1-adrenergic receptor density in brown adipose tissue of cold acclimated rats and hamsters. *Eur. J. Pharmac.* **106**: 489 ~ 498.
- Scammell, J. G., C. C. Barney and M. J. Fregly 1981 Proposed mechanism for increased thyroxine deiodination in cold-acclimated rats. *J. Appl. Physiol.* **51**: 1 157 ~ 1 161.
- Silva, J. E. and P. R. Larsen 1986 Hormonal regulation of iodothyronine 5-deiodinase in rat brown adipose tissue. *Am. J. Physiol.* **251**: E639 ~ 643.
- Tomasi, T. E. and A. M. Stribling 1996a Thyroid function in 13-line ground squirrel. In: Geiser, F., A. J. Hulber and S. C. Nicol ed. *Adaptation to Cold*. Armidale: University of New England Press, 263 ~ 269.
- Tomasi, T. E. and D. A. Mitchell 1996b Temperature and photoperiod effects on thyroid function and metabolism in Cotton rats (*Sigmodon hispidus*). *Comp. Biochem. Physiol.* **113A**: 267 ~ 274.
- Tomasi, T. E., E. C. Hellgren and T. J. Tucker 1998 Thyroid hormone concentrations in black bears (*Ursus americanus*): hibernation and pregnancy effects. *Gen. Comp. Endocrinol.* **109** (2): 192 ~ 199.
- Wang, Z. K., Q. F. Li and R. Y. Sun 1999 Effects of photoperiod and temperature on thermogenesis in the Tree shrew (*Tupaia belangeri*). *Acta Zool. Sin.* **45** (3): 287 ~ 293. [王政昆, 李庆芬, 孙儒泳 1999 光周期和温度对中缅鼯鼠产热能力的影响. *动物学报* **45** (3): 287 ~ 293.]

### 外 文 摘 要 (Abstract)

## VARIATION OF PERIPHERAL THYROID HORMONE LEVEL IN DAURIAN GROUND SQUIRREL (*SPERIMOPHILUS DAURICUS*) DURING COLD EXPOSURE, HIBERNATION AND AROUSAL \*

LIU Xiao-Tuan LI Qing-Fen\*\* HUANG Chen-Xi SUN Ru-Yong

(Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering,

College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Wen investigated the variation of peripheral thyroid hormone level and the hormone metabolism in Daurian ground squirrel (*Spermophilus dauricus*) during cold exposure, hibernation and arousal. *S. dauricus* was trapped at the outskirts of Yanggao County, Shanxi Province. The concentration of  $T_3$  and  $T_4$  in serum was determined by radioimmunoassay. Activity of type  $T_4$  5-deiodinase of brown adipose tissue (BAT) and liver was assayed by using a triiodothyronine RIA kit. A experiment of cold exposure was carried out between July to August (nonhibernation season). *S. dauricus* exposed to cold ( $4 \pm 2$ ) for 1 day showed that the concentration of serum  $T_3$  and  $T_4$  increased quickly by 186 % and 96 %, respectively, and the ratio of  $T_3$  to  $T_4$  unchanged. The serum  $T_3$  kept high level (2.6-fold of control) and  $T_4$  decreased after cold exposure for 4 weeks. The activity of  $T_4$  5-deiodinase in BAT and liver rose significantly during cold, increasing by 460 % and 230 %, respectively, after 4 weeks cold exposure. It indicated that cold-induced regulation of thyroid function and metabolism of thyroid hormone may be consistent between *S. dauricus* in nonhibernate season and nonhibernat rodent. Thyroid activity and the metabolism of thyroid hormones in peripheral tissues may be stimulated by different

\* This work was supported by National Natural Science Foundation of Chain (No. 39670122) and by Doctoral Program Foundation Institute of Higher Education

\*\* Corresponding author

pathways. It led to increased  $T_4$  utilization and elevated  $T_3$  concentration in serum and local tissues, which may take part in the thermogenic regulation in animals exposed to cold. In hibernating *S. dauricus* from December to January, levels of serum  $T_3$  and  $T_4$  were 62% and 86% higher, respectively, than those in euthermic *S. dauricus* kept at 22°C (nonbernation) as control; the activity of  $T_4$  5-deiodinase of BAT increased significantly, reached 296% of nonbernation. In arousing *S. Dauricus*,  $T_3$  concentration more increased by 96% and 23%, compared with nonhibernation and hibernating. However, serum  $T_3/T_4$  was not changed among the three groups. This may result from either decreased the turnover of thyroid hormones or the increased thyroid activity. The results demonstrated that there were seasonal changes of thyroid function and level of peripheral thyroid hormone in Daurian ground squirrel.

**Key words** Daurian ground squirrel (*Sperimophilus dauricus*), Cold exposure, Thyroxin ( $T_4$ ), Triiodothyronine ( $T_3$ ),  $T_4$  5-deiodinase