

生物学

高山姬鼠体温调节和产热能力的胎后发育

张海姬¹ 章迪² 朱万龙^{1*}

(云南省高校西南山地生态系统动植物生态适应进化及保护重点实验室,
云南师范大学生命科学学院¹,昆明 650500;云南经济管理学院²,昆明,650106)

摘要 为了阐明高山姬鼠(*Apodemus chevrieri*)胎后发育的体温调节和产热能力,对其出生后1~42日龄幼仔的体温和静止代谢率(resting metabolic rate, RMR)进行了测定。结果表明:1日龄和7日龄时高山姬鼠幼仔体温和RMR随环境温度的升高而升高,14日龄时,高山姬鼠幼仔在低温条件下(5℃、10℃)体温相对较低,此时RMR已有明显的增加;7~14日龄是其体温调节能力快速发育的时期;21日龄时,高山姬鼠幼仔在低温条件下RMR极显著高于其他温度点的RMR,28日龄时,高山姬鼠幼仔RMR在高温(35℃)条件下也表现出增加的趋势;35日龄和42日龄时,能判断高山姬鼠幼仔热中性区(thermal neutral zone, TNZ)在22.5~30℃之间,接近成体水平。以上这些结果说明,高山姬鼠幼仔在胎后发育过程中,为维持恒定的体温,不同发育时期产热机制和能量分配方式不同,发育早期,生理性产热较弱,能量主要用于自身的生长发育;离开母体后,其恒温能力及产热调节能力得到较快的发展,以适应环境的变化。

关键词 高山姬鼠 胎后发育 体温调节
中图分类号 Q959.837; **文献标志码** B

温度是影响动物生长发育过程的一个重要因素;恒温动物在胚胎时期,母体提供了恒定的发育环境,动物出生以后将直接面对周围环境,能量的获取与分配,产热能力,体温调节能力,热量散失等是威胁其生存的主要方面。因此,动物在胎后(postnatal)快速生长发育,各项身体机能的完善十分重要^[1]。

国内外关于小型哺乳动物胎后发育的研究较多,按照哺乳动物出生时恒温机制的发育情况,一般将新生幼体分为3类:早成型(precocial)、晚成型(altricial)和不成熟型(immature)^[2]。与早成型幼体不同,晚成型幼体出生时体表裸露,生长发育不完全,身体的许多功能尚不协调和完善,生理产热能力微弱,不能有效地防止热量散失,体温调节能力差,环境温度稍低于热中性区时体温就开始下降,在出生后较长的一段时间内,幼体对双亲具有较大的依赖性^[3]。动物体温调节方式有生理性体温调节和行为性体温调节

等,行为性体温调节对于幼体维持较高的体温具有重要地位,主要包括聚群行为(huddling),亲体关如筑巢(nesting)和襁褓(swaddling)等^[4]。很多晚成型幼体体温调节的研究表明,虽然幼体发育早期只有微弱的生理产热能力,但是在细致的亲体关怀、聚群行为以及巢的保温作用下,幼体依然能够保持较高的体温^[5],幼体保持较高的体温有利于幼体的快速生长^[6]。

横断山地区虽然没有极为严酷的低温与高温,但是,一天的温度变化幅度比较大,很可能动物在非常短的时间内,既要经历高温胁迫,同时也要经历低温胁迫,横断山区多变、特殊的气候条件对小型哺乳动物成年个体生存已是一大威胁,刚出生的幼仔虽然有母体的关怀与保护,但为适应特殊的环境条件,其自身恒温能力与产热调节也需要有快速的适应性发展,柳鹏飞等在对高山姬鼠幼仔的生长发育和产热特征的研究中,对高山姬鼠的繁殖特征^[7],幼仔的生长发育以及常温下幼仔的产热特征有了基础性的了解,本研究在此基础上,通过测定其幼仔在不同温度条件下体温以及产热等生理特征的动态变化,以了解其恒温能力和产热能力的发育过程,进一步揭示高山姬鼠在胎后发育过程中对横断山独特地理环境的适应性特征。

1 材料与方法

1.1 动物来源

实验所采用高山姬鼠为人工饲养种群,置于透

2017年3月31日收到 国家自然科学基金(31560126)资助
 第一作者简介:张海姬(1994—),女,硕士研究生。研究方向:动物生理生态。E-mail:949492815@qq.com。
 *通信作者简介:朱万龙,男,博士,副教授。研究方向:动物生理学。E-mail:zwl-8307@163.com
 引用格式:张海姬,章迪,朱万龙.高山姬鼠体温调节和产热能力的胎后发育[J].科学技术与工程,2017,17(30):175—178
 Zhang Haiji, Zhang Di, Zhu Wanlong. Body temperature regulation and thermogenic properties during postnatal development in apodemus chevrieri[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(30): 175—178

明塑料鼠盒内(260 mm × 160 mm × 150 mm)饲养,环境温度为 25 ℃,无巢材,每盒 1 只;每日喂以浸泡过的玉米,用塑料瓶供水。

1.2 动物处理

挑选 3~4 月大的成年雌性大绒鼠($n=15$),与雄性配对 14 d,14 d 后雄性移出。其中 6 只雌性怀孕,选取 13 只刚出生幼仔,每天观察记录幼仔出生后的生长发育状况,分别于 1、7、14、21、28、35、42 d 测定幼仔的体温和静止代谢率。

1.3 体温和测定

体温测定参照 McManus(1971)的方法^[6],测定腋窝温度作为体温,体温的测定采用北京师范大学司南仪器厂生产的数字式温度计,读数时间不超过 45 s。用上海博迅医疗设备厂生产的 SPX2300 型人工气候箱控制(温度波动 ± 0.5 ℃)环境温度,测定不同环境温度下高山姬鼠体温的变化,将高山姬鼠幼仔先置于室温[(25 $\pm$ 1) ℃]适应 20 min,然后分别暴露于不同环境温度梯度(5 ℃、10 ℃、15 ℃、20 ℃、25 ℃、30 ℃和[(35 $\pm$ 1) ℃]下适应 1 h,测定高山姬鼠幼仔的体温。

1.4 静止代谢率的测定

从 1 日龄起,每周测定动物的静止代谢率(resting metabolic rate, RMR),持续测定到 42 日龄。动物的代谢率以每小时单位体重的耗氧量表示[mL O₂/(g·h)]。耗氧量用澳大利亚生产的 ADML870 开放式呼吸仪进行测定,代谢率的计算方法见文献[8]。21 日龄前选用 60 mL 的呼吸室,进入呼吸室的气体流量为 30 mL/min,21 日龄后改为 150 mL 的呼吸室,进入呼吸室的气体流量为 100 mL/min,实验时环境温度用上海博迅医疗设备厂生产的 SPX2300 型人工气候箱控制(温度波动 ± 0.5 ℃),分别控制在 5 ℃、10 ℃、15 ℃、20 ℃、25 ℃、30 ℃和[(35 $\pm$ 1) ℃]下测定,静止代谢率的测定每天在 9:00~16:00 进行,14 日龄前,实验进行 1 h(前 0.5 h 使动物适应呼吸室环境,记录 0.5 h),14 日龄后,实验进行 1.5 h(前 0.5 h 使动物适应呼吸室环境,记录 1 h),每隔 1 min 记录一次,选取 10 个连续稳定的最低值计算静止代谢率。

1.5 统计分析

采用 SPSS 16.0 软件包进行实验数据的统计。日龄及环境温度对幼仔体温和 RMR 的影响采用双因素方差分析(TWO-way ANOVA)。结果均以平均值 $\pm$ 标准误表示(Mean $\pm$ S E), $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 高山姬鼠幼仔恒温能力的胎后发育

经双因素方差分析(two way-ANOVA),日龄和环境温度对高山姬鼠幼仔体温的影响(日龄: $F=232.6$, $P < 0.01$;环境温度: $F=225.3$, $P < 0.01$;日龄和环境温度的交互作用: $F=36.58$, $P < 0.01$)。随着日龄的增加,不同环境温度条件下高山姬鼠幼仔的体温逐渐能保持稳定(图 1)。1 日龄和 7 日龄时高山姬鼠幼仔的体温随环境温度的升高而升高,且接近环境温度;14 日龄时高山姬鼠幼仔体温表现出较弱的调节能力,15 ℃以后体温不高,比较稳定。21 日龄时,高山姬鼠幼仔体温在各温度点间比较稳定;28~35 日龄,高山姬鼠幼仔体温随环境温度的增加而增加;42 日龄时,15 ℃以后高山姬鼠幼仔体温随环境温度的升高较为稳定,表现出较稳定的恒温能力。

随着日龄的增加,高山姬鼠幼仔在同一环境温度下体温逐渐趋于稳定(图 1)。环境温度为 5 ℃时,高山姬鼠幼仔在 28 日龄前体温随日龄的增加而增加,差异极显著($P < 0.01$);环境温度为 10 ℃时,高山姬鼠体温 1 日龄时略大于 7 日龄,差异不显著($P > 0.05$),28 日龄后体温较为稳定,差异不显著($P > 0.05$);环境温度为 15 ℃时,高山姬鼠幼仔 1 日龄和 7 日龄之间差异不显著($P > 0.05$),与 14 日龄后的体温差异极显著($P < 0.01$),14 日龄后体温差异不显著($P > 0.05$);环境温度为 20、25 ℃时,高山姬鼠幼仔体温变化趋势与 15 ℃时类似;环境温度为 30 ℃时,高山姬鼠幼仔 1 日龄与 7 日龄间表现出极显著差异($P < 0.01$),14 日龄后体温差异不显著($P > 0.05$);环境温度为 35 ℃时高山姬鼠幼仔体温 14 日龄与 21 日龄差异不显著($P > 0.05$),28 日龄后体温差异不显著($P > 0.05$)。任何温度条件下,7~14 日龄均是高山姬鼠幼仔体温调节能力快速发育的时期。

2.2 高山姬鼠幼仔产热能力的胎后发育

经双因素方差分析表明,日龄和环境温度对高山姬鼠幼仔 RMR 的影响显著(日龄: $F=212.3$, $P < 0.01$;环境温度: $F=35.21$, $P < 0.01$;日龄和环境温度的交互作用: $F=18.36$, $P < 0.01$)。环境温度变化时不同日龄的高山姬鼠幼仔静止代谢率(RMR)表现出不同的适应特点(图 2)。1 和 7 日龄时,高山姬鼠幼仔 RMR 随着环境温度的升高而增加;14 日龄时,高山姬鼠幼仔在低温条件下(5 ℃、10 ℃)时表现出增加产热的趋势,在 15 ℃、20 ℃时高山姬鼠幼仔的 RMR 显著高于其他温度条件下的 RMR,20 ℃以后,随着环境温度的增加,RMR 有降低的趋

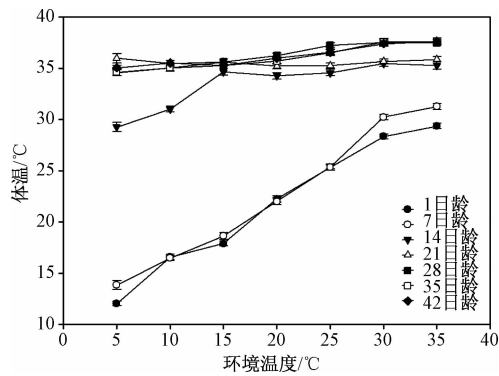


图1 各日龄高山姬鼠幼仔在不同环境温度条件下体温的变化

Fig. 1 Changes of body temperature under different ambient temperature in age of pups in *Apodemus chevrieri*

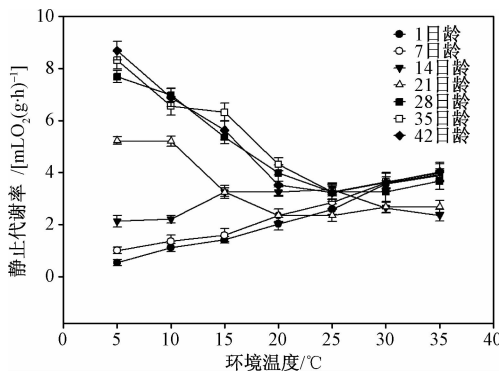


图2 各日龄高山姬鼠幼仔在不同环境温度条件下静止代谢率的变化

Fig. 2 Changes of RMR under different ambient temperature in age of pups in *Apodemus chevrieri*

势;21日龄时,高山姬鼠幼仔在低温5、10℃时的RMR极显著高于其他温度点的RMR($P<0.01$),表明高山姬鼠幼仔21日龄时对低温的刺激已能做出一定的产热调节,15℃以后随着环境温度的增加高山姬鼠幼仔RMR差异不显著($P>0.05$);28日龄时,随着环境温度的增加高山姬鼠幼仔RMR逐渐降低,在25~0℃时最低,20℃以后RMR差异不显著($P>0.05$),35℃时RMR有一定的增加,表明此时高山姬鼠幼仔对高温刺激也表现出一定的产热调节能力;35日龄时,环境温度在20~30℃的范围内高山姬鼠幼仔RMR较低,且差异不显著($P>0.05$),表明此温度区间为35日龄时高山姬鼠的热中性区,环境温度低于25℃时,高山姬鼠幼仔的RMR随着环境温度的升高而降低;42日龄时,25℃时高山姬鼠幼仔RMR有最低值,环境温度低于25℃时,RMR随着环境温度的升高而降低。

3 讨论

高山姬鼠幼仔出生时眼紧闭、皮肤裸露,身体隔

热能力很差,7日龄时开始长毛,11日龄时眼睛睁开^[7]。14日龄以前高山姬鼠幼仔的体温随环境温度的升高而升高,受环境温度影响较大,表现出类似变温动物的特点^[9-11],而高山姬鼠幼仔这种生理性产热的不足与变温动物不同,可看作一种具有重要适应意义的特点,因为体温调节是耗能的过程,晚成型动物的幼仔在发育早期不能有效地进行生理性体温调节,主要依靠亲代抚育或其他方式来保持体温,减少自身化学能在体温调节方面的利用,就会相对增加用于生长的能量^[12]。14日龄时,高山姬鼠幼仔体温表现出较弱的调节能力,14日龄以前高山姬鼠幼仔体温变化很明显,高山姬鼠恒温能力的建立过程表现出明显的阶段性,与许多晚成型哺乳动物研究结果一致,如白足鼠(*Peromyscus leucopus*)^[13]、长爪沙鼠(*Meriones unguiculatus*)^[6]和布氏田鼠(*Microtus brandti*)^[12]等。动物从出生到恒温机制的建立是一个渐进的过程,期间常有一个体温调节能力迅速发育成熟的阶段^[14],7~14日龄是高山姬鼠幼仔体温调节能力迅速发育的时期,在5℃温度下暴露1h后,7日龄时体温为13℃,到14日龄时体温能调节至30℃,体温上升约17℃,表明高山姬鼠幼仔从7日龄到14日龄期间,随着其身体发育的逐步成熟以及产热机制的完善,其体温调节能力迅速发育,此期间也为高山姬鼠幼仔体重发育的快速时期^[7],高山姬鼠幼仔在发育初期维持较高的体温,可以防止因体温下降而引起生长速度变慢。28日龄时,高山姬鼠幼仔RMR在高温(35℃)条件下也表现出增加的趋势;35日龄和42日龄时,能判断高山姬鼠幼仔热中性区在22.5~30℃之间,接近成体水平。

1和7日龄时,高山姬鼠幼仔RMR随着环境温度的升高而增加,表现出类似变温动物的特点^[15-16],虽然此段期间高山姬鼠幼仔在低温环境(5~20℃)下产热能力较差,但体温仍可保持在环境温度以上,可以推断高山姬鼠幼仔早期即具有一定的应对低温提高产热的能力。高山姬鼠幼仔至少从14日龄时开始即表现出对5℃的冷刺激有增加产热的反应,14日龄也是高山姬鼠幼仔体温开始表现出恒定性的时期,21日龄时,高山姬鼠幼仔在低温5、10℃时的RMR极显著高于其他温度点的RMR,表明高山姬鼠幼仔21日龄时对低温的刺激已能做出一定的产热调节,符合晚成型哺乳动物的一般特征,当受低温刺激时,即使新生幼体也会具有增加代谢率的反应^[12]。高山姬鼠幼仔在28日龄时对热刺激表现出增加产热的反应,35日龄后能判断其热中性区在22.5~30℃之间,接近成体水平^[17]。

综上所述,高山姬鼠幼仔在胎后发育过程中,为

维持恒定的体温,不同发育时期产热机制和能量分配方式不同,发育早期,生理性产热较弱,能量主要用于自身的生长发育,离开母体后,其恒温能力及产热调节能力得到较快的发展,以适应环境的变化。

参 考 文 献

- 1 Speakman J R, Krol E. Limits to sustained energy intake: a review of hypothesis. *Journal of Comparative Physiology*, 2005;175(6):375—394
- 2 Cannon B, Nedergaard J. Brown adipose tissue: function and physiological significance. *Physiological Reviews*, 2004;84(1):277—359
- 3 Johanson I B, Hall W G. Appetitive learning in 1-day-old rat pups. *Science*, 1979;205(4404):419—421
- 4 MacArthur R A, Humphries M M. Postnatal development of thermoregulation in the semiaquatic muskrat *Ondatra zibethicus*. *Canadian Journal of Zoology*, 1999;77(10):1521—1529
- 5 Hill R W. The ontogeny of homeothermy in neonatal *Peromyscus leucopus*. *Physiological Zoology*, 1976;49(3):292—306
- 6 McManus J J. Early postnatal growth and the development of temperature regulation in the Mongolian gerbil *Meriones unguiculatus*. *Journal of Mammals*, 1971;52(4):782—792
- 7 柳鹏飞, 张 麟, 王 睿, 等. 高山姬鼠幼仔的生长发育和产热特征. *兽类学报*, 2010;30(1):45—50
Liu P F, Zhang L, Wang R, *et al.* Growth and thermogenesis in pups of *Apodemus chevrieri*. *Acta Theriologica Sinica*, 2010;30(1):45—50
- 8 Hill R W. Determination of oxygen consumption by use of the paramagnetic oxygen analyzer. *Journal of Applied Physiology*, 1972;33(2):261—263
- 9 Loman J. Temperature, genetic and hydroperiod effects on metamorphosis of brown frogs *Rana arvalis* and *R. temporaria* in the field. *The Zoological Society of London*, 2002;258:115—129
- 10 Reading C J. The effects of variation in climatic temperature (1980 ~ 2001) on breeding activity and tadpole stage duration in the common toad, *Bufo bufo*. *The Science of the Total Environment*, 2003;310(1):231—236
- 11 Herczeg G, Herrero A, Saarikivi J, *et al.* Experimental support for the cost-benefit model of lizard thermoregulation: the effects of predation risk and food supply. *Oecologia*, 2008;155(1):1—10
- 12 迟庆生, 王德华. 晚成性哺乳动物体温调节能力的胎后发育. *动物学杂志*, 2008;40(6):137—143
- 13 Chi Q S, Wang D H. Postnatal development of thermoregulation in altricial mammals. *Chinese Journal of Zoology*, 2008;40(6):137—143
- 13 Hill R W. Thermal physiology and energetics of *Peromyscus*: ontogeny, body temperature, metabolism, insulation, and microclimatology. *Journal of Mammals*, 1983;64(1):19—37
- 14 Blumberg M S, Sokoloff G. Thermoregulatory competence and behavioral expression in the young of altricial species-revisited. *Developmental Psychobiology*, 1998;33(2):107—123
- 15 Angilletta M J, Niewiarowski P H, Navas C A. The evolution of thermal physiology in ectotherms. *Journal of Thermal Biology*, 2002;27(4):249—268
- 16 Navas C A, Gomes F R, Carvalho J E. Thermal relationships and exercise physiology in anuran amphibians: integration and evolutionary implications. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 2008;151(3):344—362
- 17 Zhu W L, Jia T, Lian X, *et al.* Evaporative water loss and energy metabolic in two small mammals, voles (*Eothenomys miletus*) and mice (*Apodemus chevrieri*), in Hengduan mountains region. *Journal of Thermal Biology*, 2008;33(6):324—331

Body Temperature Regulation and Thermogenic Properties during Postnatal Development in *Apodemus chevrieri*

ZHANG Hai-ji¹, ZHANG Di², ZHU Wan-long^{1*}

(Key Laboratory of Ecological Adaptive Evolution and Conservation on Animals-Plants in Southwest Mountain Ecosystem of Yunnan Province Higher Institutes College, School of Life Sciences, Yunnan Normal University¹, Kunming 650500, P. R. China; Yunnan College of Business Management², Kunming 650106, P. R. China)

[Abstract] In order to investigate the ability of body temperature regulation and thermoregulation in *Apodemus chevrieri*, body temperature and rest metabolic rate (RMR) were measured during postnatal development (day1 ~ 42). The result showed that body temperature and RMR of pups in *A. chevrieri* increased according to the increase of ambient temperature during on day 1 and 7, body temperature of pups were lower in low temperature (5 °C, 10 °C) and RMR increased significantly when on day 14, RMR of pups was extreme significantly higher in low temperature than that in other temperature when on day 21, RMR of pups increased in high temperature (35 °C) on day 28, and the thermal neutral zone were 22.5 ~ 30 °C on day 35 and 42, which approached its adult level. All of these results indicated that pups of *A. chevrieri* in the different growing period had different thermogenesis and energy allocation to maintain stable to body temperature, thermogenesis was weaker in the early phase of postnatal development, most of energy is used to its growth. After pups were weaned, the ability of constant temperature and thermoregulation developed quickly to adjust variations of environment during postnatal development.

[Key words] *Apodemus chevrieri* postnatal development body temperature regulation