

Progress and Prospect of Studies on Physiological and Behavioral Ecology in Tree Shrews, *Tupaia belangeri*

Dongmin Hou, Wanlong Zhu, Wenrong Gao, Hao Zhang, Zhengkun Wang*

Key Laboratory of Ecological Adaptive Evolution and Conservation on Animals-Plants in Southwest Mountain Ecosystem of University in Yunnan Province, School of Life Science, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan
Email: houl92@163.com, *wangzk_123@163.com

Received: Aug. 13th, 2016; accepted: Aug. 30th, 2016; published: Sep. 2nd, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

As a typical small mammal in the oriental realm and an animal model for the metabolic disease of human, it is significative to do physiological and ecological research on *Tupaia belangeri*, which helps to believe its adaptive strategy of seasonal climate change and its body thermogenesis mechanism problems in ecology and evolutionary biology. Meanwhile, research on the behavior of *Tupaia belangeri* can lay the foundation to domesticate them as an experimental animal and do behavioral ecological research. The article expounds the research progress on the physiological and behavioral characteristics of the tree shrew, attempting to point out the development direction of future.

Keywords

Tupaia belangeri, Physiological Characteristics, Behavioral Characteristics

中缅树鼩的生理生态和行为学研究进展

侯东敏, 朱万龙, 高文荣, 张浩, 王政昆*

云南师范大学生命科学学院, 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, 云南昆明

Email: houl92@163.com, *wangzk_123@163.com

*通讯作者。

文章引用: 侯东敏, 朱万龙, 高文荣, 张浩, 王政昆. 中缅树鼩的生理生态和行为学研究进展[J]. 生物过程, 2016, 6(3): 41-47. <http://dx.doi.org/10.12677/bp.2016.63006>

摘要

中缅树鼩(*Tupaia belangeri*)作为东洋界特有的小型哺乳动物以及人类代谢性疾病动物模型, 对其进行生理生态学研究有助于了解其对季节性环境变化的适应策略及其体内产热机制等生态学和进化生物学问题, 具有十分重要的意义。通过对中缅树鼩行为方面的研究, 可为其作为实验动物的驯化饲养和行为生态研究奠定基础。本文阐述了关于中缅树鼩的生理生态和行为学特征的研究进展, 以期对未来可能的发展方向进行展望。

关键词

中缅树鼩, 生理特征, 行为学特征

1. 引言

生理生态学属于生态学与生理学相互交叉而成的一门学科, 其主要通过生理学实验手段解决生态学的相关问题。动物生理生态学主要针对动物与生存和繁殖相关的生态学问题进行阐述解答。动物生理生态学起步于 20 世纪 40 年代, 在我国的发展相对比较缓慢。许多研究学者对分布在横断山脉的小型哺乳动物的生理特征、生活行为、生态免疫等各个方面开展了大量的研究, 如大绒鼠(*Eothenomys miletus*)、高山姬鼠(*Apodemus chevrieri*)等。

中缅树鼩 (*Tupaia belangeri*)属攀鼩目(*Scandentia*)树鼩科(*Tupaiaidae*), 为东洋界特有的小型哺乳动物, 在国内仅有中缅树鼩一种[1]。由于中缅树鼩具有极为特殊进化地位, 如体形小、饲养成本低及繁殖周期短, 且与灵长目动物接近, 故在生物医学等多种学科领域作为甲型乙型肝炎病毒模型、人类代谢性疾病动物模型而被广泛采用。因此研究中缅树鼩的生理生态特征与行为学特征对于这些模型的建立以及实验驯化管理建设具有重要意义。

2. 生理特征

自 80 年代以来, 中缅树鼩逐渐成为热点研究对象。其中王政昆等诸多学者以此作为实验动物进行了大量的生理生态学实验研究。早期研究发现: 中缅树鼩的非颤抖性产热(nonshivering thermogenesis, NST)和细胞产热能力介于热带与温带类群之间, 显示出向温带类型过渡的趋势[2]。由于这种趋势的存在, 则可猜测中缅树鼩的 NST 和细胞产热特征很可能代表了从热带类型向温带过渡的中间类型。这对于探讨热带亚热带小型哺乳动物细胞产热特征具有重要的意义。

2.1. 从日节律变化分析其对中缅树鼩的影响

小型哺乳动物的代谢产热特征和体温调节与其生活史对策、分配、能量利用及进化途径等方面密切相关, 反映出动物对环境的适应模式和生理能力, 体现出生物多样性与环境之间相互适应的关系[3]。动物的昼夜节律是一种复杂的生物学现象, 是其对不同环境条件昼夜变化的综合性适应, 其中体温的昼夜变化是研究昼夜节律的重要指标[4]。中缅树鼩为昼行性动物, 在黎明和黄昏时最为活跃, 夜间活动较少[5]。因此, 中缅树鼩作为理想的实验动物模型, 对其昼夜节律进行分析具有十分重要的意义。

通过黄春梅等(2012) [6]的实验结果表明: 中缅树鼩体温的日节律变化主要与环境温度的日节律变化

有关；夜晚环境温度相对较低时，通过增强静止代谢率和非颤抖性产热来增加产热，当白天环境温度相对较高时，则通过增强蒸发失水散热来调节体温。

因此随着环境温度的日节律变化，中缅树鼩会通过不同的方式适应环境的变化。

2.2. 从季节性变化分析其对中缅树鼩的影响

在季节变化过程中，冬季和夏季表型的交替变化及其调节机理对于动物的生存至关重要[7]。对中缅树鼩有关季节性变化的指标进行实验分析，对于阐述热带亚热带小型哺乳动物为适应环境季节性变化所产生的体温调节机制具有重要意义。对于季节性变化大多侧重于冬夏两季的比较，而春秋季节比较相对较少，主要原因为春秋两季有关指标差异不显著[8]。

通过实验研究发现：中缅树鼩的热中性区(thermal neutral zone, TNZ, 指动物能够维持稳定的基础代谢率的环境温度范围)冬季比夏季较宽。冬季的热中性区为 27.5℃~35℃，夏季为 30℃~35℃ [9]。在冬季时，中缅树鼩会通过增加体重、基础代谢率和 NST、能量摄入、消化能和可代谢能，降低蒸发失水等方式应对季节性环境变化。代谢产热和消化生理调节在季节性适应过程中具有重要地位[10]；蒸发失水在中缅树鼩体温调节中起着十分重要的作用[11]。在夏季时，中缅树鼩的体温相对较高，受环境温度的影响较大；蒸发失水与环境温度显著正相关，在热中性区内基本维持相对稳定的水平[12]。

季节性变化会影响中缅树鼩的体温调节机制，同时会引起体重、能量代谢等指标变化，从而使中缅树鼩更好地适应环境，有利于中缅树鼩的生存繁殖。

2.3. 从环境因素(温度、光照、食物)分析其对中缅树鼩的影响

温度对小型哺乳动物身体成分、产热器官的重量和能量摄入水平等指标都会产生一定的影响，如根田鼠(*Microtus oeconomus*) [13]等。除了温度之外，光周期对小型哺乳动物的影响近年来也备受关注。许多研究表明，光照周期会影响小型哺乳动物的体重、繁殖特性、产热能力等许多方面，如黑线毛足鼠(*Phodopus sungorus*) [14]等。因此，探索温度与光照对中缅树鼩的影响至关重要。

低温是刺激动物产热增加的主要环境因子，在低温条件下对中缅树鼩的研究较多。通过研究发现：在低温条件下，中缅树鼩体温降低，体重增加，产热能力显著增强；在冷驯化过程中，增加静止代谢率和冷诱导最大产热是中缅树鼩抵抗低温环境的主要产热方式[15]。低温能够诱导中缅树鼩褐色脂肪组织(brown adipose tissue, BAT)、总 RNA 含量和肝脏重量增加，致使其适应性产热增加，更好地适应生存环境。另有研究证明：中缅树鼩的适应性产热特征不仅受到低温的显著影响，同时光周期也参与了适应性产热的调节。这一特征与中缅树鼩分布在纬度低、海拔较高的亚热带高原有关[16] [17]。

还有研究表明中缅树鼩可以通过生理状态调整、产热作用调节和血清瘦素的水平来应对缺少食物引起的体重减少[18] [19]。另根据朱万龙等学者对中缅树鼩头骨形态的研究可知：云南、贵州和广西等地区中缅树鼩的头骨具有形态变异，并且差异仅发生在种群水平，这可能反映了其对特定生态环境的形态适应[20] [21]。由此可分析推测因地域分布导致的食物短缺会导致中缅树鼩的生理形态的改变以适应环境改变。

温度、光照及食物等环境变化会对中缅树鼩的体重、身体形态、能量摄入水平等生理生态方面发生一定改变，从而更好地适应生存环境。

2.4. 从体内因素(内分泌激素、蛋白等)分析其对中缅树鼩的影响

小型哺乳动物生理特征随环境的改变而变化可能通过体内激素的调节而实现。研究发现：中缅树鼩的适应性产热调节受与褪黑素密切联系[22]。另外近期研究发现：下血清瘦素和丘脑神经肽在中缅树鼩季

节性体重中具有调节作用。瘦素是由白色脂肪细胞分泌的蛋白类激素[23]，通过血液循环作用于下丘脑，与下丘脑中的受体结合，可抑制摄食，促进产热。瘦素通过中枢神经系统的调控与机体能量稳态平衡紧密联系在一起，可调节机体摄入食物和消耗能量[24]。在四季变化中，中缅树鼩的血清瘦素夏季显著高于冬季，而春季和秋季差异不显著；体重和血清瘦素呈负相关。下丘脑神经肽 Y (neuropeptide Y, NPY) 的表达量在夏季低冬季高，但是差异不显著；阿片促黑色素原(pro-opiomelanocortin, POMC)和可卡因 - 安他非明转录调节肽(cocaine and amphetamine regulated transcript peptide, CART)的表达量在夏季高冬季低。其中，POMC 的表达量夏冬季节差异显著，而 CART 的表达量差异不显著[25] [26]。

因此中缅树鼩通过体内的激素、蛋白等因素的变化来调节其适应性产热，从而通过自身的变化来应对生存环境的改变。

2.5. 从分子水平分析中缅树鼩产热机制的影响

关于哺乳动物在环境温度下尤其是低温条件下的产热调节机制研究已成为当前生理生态学研究领域中的热点问题之一，其研究机理已深入到分子水平以上，包括产热蛋白的分子结构[27]、产热蛋白基因的结构及其表达调控[28]，并且发现产热蛋白的基因表达调节机理与人类肥胖症具有密切的关系，具有十分广阔的应用前景。

线粒体是哺乳动物消耗氧的主要部位。线粒体呼吸分为四种状态，状态 I 呼吸指线粒体在没有底物及 ADP 存在情况下的内源性呼吸，状态 II 是指加入呼吸底物之后线粒体所呈现的呼吸状态，状态 III 呼吸指的是在 ADP 促进下线粒体的呼吸速率，在 ADP 被耗尽后线粒体变为状态 IV 呼吸。状态 IV 呼吸过程中，氧化过程中释放出的能量并不是全部转移到 ATP 中，而由于代谢效率变化，有部分能量并不能用于合成 ATP，这种现象就称之为线粒体质子泄漏，这一呼吸过程则被称为解偶联呼吸[29]。

近年来在分子水平上对中缅树鼩的研究数量较多，主要集中在在线粒体呼吸及解偶联蛋白等方面。通过实验研究表明：在急性冷驯化条件(1 h, 4 h, 8 h, 1 d)下，中缅树鼩 BAT 和肝脏重量和总 RNA 含量增加[30]；在持续冷驯化条件(1 d, 7 d, 14 d, 28 d)下，中缅树鼩膈肌和心肌线粒体状态 IV 呼吸与对照比较均有所增强，心脏和 BAT 组织的线粒体蛋白含量随着冷驯化时间的延长而显著增加；肝总蛋白含量、肝线粒体蛋白含量、呼吸状态 III 和状态 IV 显著提高，各组织线粒体的状态 IV 呼吸能力均显著增强[15]。

另外还有研究发现：冷暴露能够诱导中缅树鼩解偶联蛋白 1 (uncoupling protein one, UCP1)表达增加，从而使其适应性产热增加[31] [32]；中缅树鼩可能通过冷驯化诱导 BAT 组织增生和 UCP1 表达上调，从而增强 BAT 产热活力以增加能量支出，推测得出 BAT 可能作为以能量学途径治疗肥胖的靶器官[33]。同时在解偶联蛋白 2 (uncoupling protein two, UCP2)等方面也有研究发现[34]。

3. 行为学特征

中缅树鼩体型小，与灵长类相似这一特征使其成为一种宝贵的行为学检测研究的候选动物[35]。与大鼠、小鼠或非人灵长类动物等经典试验动物相比而言，对中缅树鼩进行行为学方面的研究仍然受限。目前，已经开展了中缅树鼩形成学习定势[36]、视觉空间学习[37] [38]、树鼩社会应急动物模型[39]等行为学研究。

2007 年时曾有实验研究[40]应用扫描取样法、目标取样法和所有事件取样法，通过辨识行为的基本单元到连续纪录行为单元的顺序表达，构建了中缅树鼩的摄食行为、繁殖行为、运动行为、排泄行为、维持行为、社群行为和异常行为等七大类行为的行为谱，共识别和描述了 39 种行为模式。此行为谱的构建和行为模式的描述可为中缅树鼩的驯化饲养和行为生态研究提供参考依据。

近期有实验通过外界环境的改变对中缅树鼩行为变化的影响进行研究，结果表明：与大饲养笼饲养

相比较,生活在小饲养笼中缅甸树鼩的体重明显减轻,血象和胸骨骨髓象各类细胞数均显著增加,雄性树鼩出现阴茎外露下垂、睾丸萎缩、性行为减退等特征变化[41];通过视线阻隔处理,中缅甸树鼩的活跃度和取食逐步提高,阻隔时间与运动树鼩数及取食数有关[42];通过基于洞板的食物搜寻试验,观察到中缅甸树鼩找出全部诱饵的时间均逐渐缩短,树鼩的空间参考记忆相对稳定[43]。

另有实验通过给予药物的方式对中缅甸树鼩行为变化的影响进行研究,结果表明:给利血平的中缅甸树鼩应激性显著降低,外界环境刺激对生活行为、角斗、体重、性器官及性行为影响较小[41]。

4. 展望

随着全球气候的变化,中缅甸树鼩从生理、行为、遗传等方面做出的一系列适应性变化将会成为中缅甸树鼩在生理生态学中的研究重点。未来的实验研究将会在现有实验基础上着重阐述中缅甸树鼩对寒冷适应的产热散热机制并深入到基因组学分析研究,力求揭示不同季节环境变化下中缅甸树鼩表现出的遗传可塑性及表型可塑性;在分子水平上进一步深入分析产热蛋白对中缅甸树鼩产热机制的影响;通过这些研究可为云南生物多样性现状及保护对策提供夯实的理论基础[44]。通过行为学研究揭示中缅甸树鼩繁殖行为的化学通讯机制、尿液识别、亲缘识别、雌雄性别比例、社群行为合作与分工的进化机制等。总之,未来对于中缅甸树鼩的生理生态学研究将会结合代谢组学、基因组学、进化生物学等学科,利用日益进步的科学技术,更深层次地揭示中缅甸树鼩对环境变化的适应性及其生理、行为、进化机制。此外,在对中缅甸树鼩现有的生理生态学及行为学研究基础上,将发展中缅甸树鼩为肥胖疾病研究模型,为人类肥胖疾病的治疗提供生物医学模型。

基金项目

感谢国家国际科技合作专项项目(2014DFR31040);国家科技支撑计划项目子课题(2014BAI01B00-06);国家自然科学基金项目(No. 31360096)。

参考文献 (References)

- [1] Sloan Wilson, D., Clark, A.B. and Coleman, K. (1994) Shyness and Boldness in Humans and Other Animals. *Trends in Ecology & Evolution*, **9**, 442-446. [http://dx.doi.org/10.1016/0169-5347\(94\)90134-1](http://dx.doi.org/10.1016/0169-5347(94)90134-1)
- [2] 王政昆, 李庆芬, 孙儒泳. 中缅甸树鼩的非颤抖性产热及细胞呼吸特征[J]. 动物学研究, 1995(16): 239-246.
- [3] McNab, B.K. (2008) An Analysis of the Factors That Influence the Level and Scaling of Mammalian BMR. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **151**, 5-28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2008.05.008>
- [4] Lindsay, C.V., Downs, C.T. and Brown, M. (2009) Physiological Variation in Amethyst Sunbirds (*Chalcomitra amethystina*) over an Altitudinal Gradient in Winter. *The Journal of Experimental Biology*, **212**, 483-493. <http://dx.doi.org/10.1242/jeb.025262>
- [5] 王应祥, 李崇云, 马世来. 树鼩的分类与生态. 树鼩生物学[M]. 昆明: 云南科学技术出版社, 1991: 21-70.
- [6] 黄春梅, 朱万龙, 王政昆, 等. 中缅甸树鼩体温、代谢率和蒸发失水日节律[J]. 动物学杂志, 2012(47): 127-135.
- [7] Matthew, J.P., Irving, Z. and William, J.S. (2008) Tracking the Seasons: The Internal Calendars of Vertebrates. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, **363**, 341-361. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2007.2143>
- [8] 朱万龙, 蔡金红, 张麟, 等. 中缅甸树鼩体重、血清瘦素和下丘脑神经肽表达量的季节性变化[J]. 生物学杂志, 2014(31): 33-37.
- [9] 王政昆, 孙儒泳, 李庆芬, 等. 中缅甸树鼩静止代谢率的研究[J]. 北京师范大学学报, 1994(30): 408-414.
- [10] Zhu, W.L., Jia, T., Huang, C.M., Zhang, L. and Wang, Z.K. (2012) Changes of Energy Metabolism, Thermogenesis and Body Mass in the Tree Shrew (*Tupaia belangeri* Chinensis) during Cold Exposure. *Italian Journal of Zoology*, **79**, 175-181. <http://dx.doi.org/10.1080/11250003.2011.650227>
- [11] Zhu, W.L., Zhang, L. and Wang, Z.K. (2010) Thermogenic Characteristics and Evaporative Water Loss in the Tree Shrew (*Tupaia belangeri*). *Journal of Thermal Biology*, **35**, 290-294. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.06.005>
- [12] Zhu, W.L., Xie, J., Lian, X. and Wang, Z.K. (2010) Thermogenic Characteristics and Evaporative Water Loss in the

- Tree Shrew (*Tupaia belangeri*). *Journal of Thermal Biology*, **35**, 290-294.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.06.005>
- [13] 王德华, 孙儒泳, 王祖望, 等. 根田鼠冷驯化过程中的适应性产热特征[J]. 动物学报, 1996(42): 369-376.
- [14] Heldmaier, G., Steinlechner, S., Rafael, J. and Vsiansky, P. (1981) Photoperiod Control and Effects of Melatonin on Nonshivering Thermogenesis and Brown Adipose Tissue. *Science*, **212**, 917-919.
<http://dx.doi.org/10.1126/science.7233183>
- [15] Zhang, L., Wang, R., Zhu, W.L. and Wang, Z.K. (2011) Adaptive Thermogenesis of the Liver in Tree Shrew (*Tupaia belangeri*) during Cold Acclimation. *Animal Biology*, **61**, 385-401. <http://dx.doi.org/10.1163/157075511X596873>
- [16] Zhu, W.L., Zhang, H., Zhang, L. and Wang, Z.K. (2014) Effects of Photoperiod and Temperature on Energy Budgets and Endocrine Hormones Concentrations in *Tupaia belangeri*. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, **10**, 280-291.
- [17] Zhang, L., Zhu, W.L., Yang, F. and Wang, Z.K. (2014) Influence of Photoperiod on Cold-Adapted Thermogenesis and Endocrine Aspects in the Tree Shrew (*Tupaia belangeri*). *Animal Biology*, **64**, 1-17.
<http://dx.doi.org/10.1163/15707563-00002426>
- [18] Gao, W.R., Zhu, W.L., Zhang, D., Sun, S.R. and Wang, Z.K. (2014) Effects of Fasting and Re-Feeding on Energy Metabolism and Thermogenesis in the Tree Shrew (*Tupaia belangeri*). *Animal Biology*, **64**, 31-47.
<http://dx.doi.org/10.1163/15707563-00002427>
- [19] Gao, W.R., Zhu, W.L., Ye, F.Y., Zuo, M.-L. and Wang, Z.-K. (2016) Plasticity in Food Intake, Thermogenesis and Body Mass in the Tree Shrew (*Tupaia belangeri*) Is Affected by Food Restriction and Re-feeding. *Animal Biology*, **66**, 201-217. <http://dx.doi.org/10.1163/15707563-00002498>
- [20] 朱万龙, 付家豪, 杨晓蜜, 孟丽华, 王政昆. 中缅树鼩(*Tupaia belangeri*)头骨特征的研究[J]. 生物学杂志, 2015(5): 40-42
- [21] 朱万龙, 贾婷, 黄春梅, 王政昆. 中缅树鼩头骨及下臼齿几何形态与环境的关系[J]. 生态学报, 2013, 33(6): 1721-1730
- [22] Yang, F., Zhang, L. and Zhu, W.L. (2014) Adaptive Thermogenesis of Brown Adipose Tissue in Tree Shrews (*Tupaia belangeri*): Role of Melatonin. *Journal of Zoological and Bioscience Research*, **1**, 1-7.
- [23] Zhang, Y., Proenca, R. and Maffei, M. (1994) Positional Cloning of the Mouse Obese Gene and Its Human Homologue. *Nature*, **372**, 425-432. <http://dx.doi.org/10.1038/372425a0>
- [24] 高文荣, 张浩, 姜文秀, 朱万龙. 瘦素研究的最新进展和科学意义[J]. Bioprocess, 2012, 04(1): 1-10.
- [25] 张浩, 郑佳, 朱万龙, 等. 冷驯化对中缅树鼩能量代谢和下丘脑神经肽表达量的影响[J]. 兽类学报, 2015, 35(4): 438-444.
- [26] Zhang, L., Liu, P.F., Zhu, W.L., Cai, J.-H. and Wang, Z.-K. (2012) Variations in Thermal Physiology and Energetics of the Tree Shrew (*Tupaia belangeri*) in Response to Cold Acclimation. *Journal of Comparative Physiology*, **182**, 167-176. <http://dx.doi.org/10.1007/s00360-011-0606-y>
- [27] Klingenberg, M. (1999) Regulation of UCP3 by Nucleo Tides Is Different from Regulation of UCP1. *FEBS Letters*, **450**, 8-12. [http://dx.doi.org/10.1016/S0014-5793\(99\)00460-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0014-5793(99)00460-3)
- [28] Bouillaud, F., Couplan, E., Pecqueur, C. and Ricquier, D. (2001) Homologues of the Uncoupling Protein from Brown Adipose Tissue. *Biochimica et Biophysica Acta*, **1504**, 107-119. [http://dx.doi.org/10.1016/S0005-2728\(00\)00241-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0005-2728(00)00241-3)
- [29] Brand, M.D. Chien, L.-F., Ainscow, E.K., Rolfe, D.F.S. and Porter, R.K. (1994) The Causes and Functions of Mitochondrial Proton Leak. *Biochimica et Biophysica Acta*, **1187**, 132-139.
[http://dx.doi.org/10.1016/0005-2728\(94\)90099-X](http://dx.doi.org/10.1016/0005-2728(94)90099-X)
- [30] Zhu W.L. and Wang Z.K. (2012) Body Mass, Thermogenesis and Energy Metabolism in *Tupaia belangeri* during Cold Acclimation. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, **8**, 90-109.
- [31] 高文荣, 张麟, 余婷婷, 朱万龙, 王政昆. 解偶联蛋白-1(UCP1)的研究进展及其应用前景[J]. Bioprocess, 2012, 02(3): 128-137
- [32] 高文荣, 朱万龙. 中缅树鼩解偶联蛋白-1 基因部分序列的扩增与分析[J]. Bioprocess, 2014, 04(04): 74-81.
- [33] 高文荣, 曹能, 朱万龙, 等. 冷驯化对中缅树鼩褐色脂肪组织适应性产热的影响[J]. 中国实验动物学报, 2015(6): 567-572.
- [34] 余婷婷, 张麟, 高文荣, 黄春梅, 杨盛昌, 朱万龙, 王政昆. 中缅树鼩 UCP2 cDNA 核心片段的序列分析[J]. 动物学杂志, 2013, 48(3): 480-486.
- [35] Khani, A. and Rainer, G. (2012) Recognition Memory in Tree Shrew (*Tupaia Belangeri*) after Repeated Familiarization Sessions. *Behavioral Processes*, **90**, 364-371. <http://dx.doi.org/10.1016/j.beproc.2012.03.019>

- [36] Ohta, H., Matsutani, S., Ishida, H. and Matano, S. (1985) Learning Set Formation in Common Tree Shrew (*Tupaia glis*). *Folia Primatologica*, **44**, 204-209. <http://dx.doi.org/10.1159/000156213>
- [37] Ohl, F. and Fuchs, E. (1999) Differential Effects of Chronic Stress on Memory Processes in the Tree Shrew. *Cognitive Brain Research*, **7**, 379-387. [http://dx.doi.org/10.1016/S0926-6410\(98\)00042-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0926-6410(98)00042-1)
- [38] 陆彩霞, 罕园园, 仝品芬, 等. 水迷宫实验中不同性别树鼩学习记忆能力的比较[J]. 中国实验动物学报, 2012, 20(5): 74-76.
- [39] Zambello, E., Fuchs, E., Abumaria, N., Rygula, R., Domenici, E. and Caberlotto, L. (2010) Chronic Psychosocial Stress Alters NPY System: Different Effects in Rat and Tree Shrew. *Biological Psychiatry*, **34**, 122-130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pnpbp.2009.10.011>
- [40] 刘春燕, 张万新, 艾晓杰, 等. 笼养中缅树鼩 (*Tupaia blangeri chinensis*) 行为谱及行为模式的初步研究[C]//上海市动物学会. 2008年上海市动物学会动物学论文集. 上海: 上海科技出版社, 2008: 65-70.
- [41] 连秀珍, 张红梅, 谢明仁, 等. 慢性环境刺激对中国树鼩行为方式的影响[J]. 生态科学, 2012, 31(6): 666-670.
- [42] 郑红, 李进涛, 李波, 角建林, 薛整凤. 树鼩视线阻隔后的取食行为观察和食物选择[J]. 四川动物, 2014(3): 353-357.
- [43] 郑红, 李波, 李进涛, 等. 树鼩在饲养笼中认知能力的评价试验[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015(19): 223-226.
- [44] 高文荣, 朱万龙. 云南生物多样性现状及保护对策探究[J]. *Bioprocess*, 2014, 04(03): 35-43.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>