

光周期对社鼠能量摄入的影响

郑荣泉 鲍毅新* 周慧娣 柴君波 黄学强 郑祥

(浙江师范大学生命与环境科学学院, 浙江金华 321004)

Effect of photoperiod on digestibility and assimilation rate in the Chinese white-bellied rat (*Niviventer confucianus*)

ZHENG Rong-Quan BAO Yi-Xin*

ZHOU Hui-Di CHAI Jun-Bo HUANG Xue-Qiang ZHENG Xiang

(College of Life and Environmental Science, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, Zhejiang, China)

Abstract Digested energy, metabolizable energy, digestibility and assimilation rate were quantified at different photoperiods in *Niviventer confucianus* using the food balance method. Three photoperiods were applied: a short photoperiod (8L:16D), normal photoperiod (12L:12D) and a long photoperiod (16L:8D). The results show that digestibility and assimilation rate were highest in the short photoperiod with values of $83.97\% \pm 1.16\%$ and $80.46\% \pm 1.34\%$, and lowest in the normal photoperiod with values of $81.74\% \pm 1.76\%$ and $78.45\% \pm 1.41\%$. Moreover, the energy intake, digestibility and assimilated energy of *N. confucianus* decreased with the amount of daylight. The statistical significance of the results obtained by a one-factor analysis of variance were all less than 0.01 or 0.05 except for digested energy. This indicates that photoperiod is an important environmental factor to affect the energy metabolism of *Niviventer confucianus* [Acta Zoologica Sinica 49(4): 525-528, 2003].

Key words Chinese white-bellied rat (*Niviventer confucianus*), Photoperiod, Digestibility, Assimilation rate

关键词 社鼠 光照周期 消化率 同化率

能量代谢水平对一个物种的分布、丰富度、繁殖成功和适合度等起重要的决定作用 (Bozinovic *et al.*, 1989; Bozinovic, 1992)。野生动物的能量代谢水平受许多环境和生理因子的影响, 其中光周期作为季节变化的信号无疑是影响动物获能比较重要的因素之一。Wunder (1985) 指出, 在小型哺乳动物的季节性驯化中, 光周期是最为一般的信号, 使动物预知冬季的来临。Heldmaier *et al.* (1985) 以及 Zegers *et al.* (1988) 认为环境温度与光周期可能相互作用, 共同诱导动物调节产热能力。在自然环境中, 光周期是根田鼠 (*Microtus oeconomus*) 产热驯化的启动因子, 短光照可刺激根田鼠的 BAT 线粒体细胞色素 C 氧化酶的活性增加 (王德华等, 1996)。还有研究表明, 初秋短光照周期能提高布氏田鼠 (*Microtus brandti*) 的产热能力, 早春人工短光照虽不能明显地增加代谢产热, 但仍

显示出短光照对低温增加产热具有一定的协同作用 (侯建军等, 1995)。已经发现, 影响动物能量代谢特征的主要因素因种而异, 光周期和温度对根田鼠非颤抖性产热均有显著性影响, 而高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 仅受温度影响 (Wang *et al.*, 1999)。王玉山等 (2001) 的研究表明, 光周期在根田鼠最大代谢率的季节性变化起了环境信号的作用, 短光照可增加其最大代谢率, 而在高原鼠兔则未起信号作用。鲍毅新等 (2001) 发现, 环境温度影响社鼠 (*Niviventer confucianus*) 的能量需要, 而消化率和同化率未有明显变化, 这个规律是否适合于社鼠尚有待研究。本研究以广泛分布于南方林区的社鼠为对象, 通过测定不同光照条件下社鼠的能量需求、消化率、同化率, 探讨光照周期与社鼠消化率、同化率之间的关系。

2002-11-05 收稿, 2003-05-20 修回

* 通讯作者 (Corresponding author). E-mail: baoyix1551@vip.sina.com

第一作者简介 郑荣泉, 男, 34岁, 副教授。研究方向: 动物生态学。

© 2003 动物学报 Acta Zoologica Sinica

1 材料和方法

1.1 实验动物

社鼠于 2002 年 3 月底捕自浙江省金华北山 (119°38'E, 29°13'N), 选择健康非怀孕 10 只个体作为实验用鼠, 5♀5♂, 平均体重 43.8 ± 7.97 g。

1.2 实验方法

实验采用食物平衡法在代谢笼内进行 (Drozdz, 1975), 实验期间室温控制在 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 。捕回的社鼠先于实验室内适应饲养 1 周 (自然光照, 温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$), 投喂拟测定的食物鼠饲料 (金华市药品检验所生产, 粗纤维含量 4%~5%) 和足量的水。然后开始正式实验, 实验采用同一批动物, 用人工的方法控制光照周期。实验从短光照开始, 结束后立即进入下一光照条件, 依次为: 短光照周期 (8L:16D, 光亮时间上午 8:00), 正常光照周期 (12L:12D, 光亮时间上午 8:00), 长光照周期 (16L:8D, 光亮时间上午 6:30)。单只动物放入代谢笼内, 不加巢材, 详细过程可参阅王祖望等 (1980) 的描述。每个光照周期持续 10 d (前 3 天为适应期, 每天定时投喂足量的食物和水, 不测数据), 后 7 天每天定时投喂足量的已知食物和足量的水, 24 h 后仔细收集剩余食物、粪便及尿液, 然后在 60°C 恒温下烘至恒重后称重, 取样品用长沙仪器厂制造的 GR-3500 型氧弹式热量计测定能值, 并计算摄入能、消化能、可代谢能、消化率和同化率等参数, 计算公式 (Petrusewicz, 1967) 如下:

$$\text{消化能} = C - F$$

$$\text{消化率} = (C - F) / C \times 100\%$$

$$\text{可代谢能} = C - F - U$$

$$\text{同化率} = (C - F - U) / C \times 100\%$$

式中 C: 摄入能 (能量消耗)

F: 随粪便损失能

U: 随尿损失能

本实验中, 社鼠刚捕获时的平均体重为 43.8 g, 短光照期、正常光照期和长光照期的重量分别为 48.2 ± 10.6 g, 51.1 ± 10.3 g 和 50.1 ± 8.3 g。社鼠的平均重量在各光照期间差异不显著 ($F_{2,27} = 0.225, P > 0.05$), 因此, 各摄入能、消化能和消化率、可代谢能和同化率未进行体重校正。

1.3 数据处理

文中所有数据的统计分析用 SPSS 统计软件包完成。数据以平均值 \pm 标准误差 (Mean \pm SE) 表

示。用 F 检验检验方差齐性, 百分比数据经反正弦转换后进行统计分析, 差异显著性用单因素方差分析 (One-Way ANOVA), 双尾检验 ($P < 0.05$ 被认为差异显著)。

2 结 果

社鼠每日干物质和能量摄入随光照的增加而下降 (表 1), 短光照周期最高, 正常光照周期次之, 长光照周期最低。单因素方差分析显示, 各光照周期期间每日干物质摄入差异显著 ($F_{2,27} = 3.41, P < 0.05$), 能量摄入差异极显著 ($F_{2,27} = 5.77, P < 0.01$)。

消化能和可代谢能的变化趋势相同 (表 1), 在短光照周期时最大, 正常光照周期次之, 长光照周期最低。方差分析显示, 各光照期间消化能的差异不显著 ($F_{2,27} = 1.80, P > 0.05$), 可代谢能的差异显著 ($F_{2,27} = 3.64, P < 0.05$)。消化率与同化率的变化趋势也相同, 单因素方差分析表明, 在不同光照周期条件下, 消化率 ($F_{2,27} = 7.72, P < 0.01$) 和同化率 ($F_{2,27} = 11.28, P < 0.001$) 之间差异均为极显著。

粪损失能、粪能占摄入能百分率、尿损失能、尿能占摄入能百分率均在短光照周期时最低 (表 2); 粪损失的能量占摄入能的 16%~18%, 尿损失的能量占摄入能的 3%~5%。对表 3 进行统计分析得出, 粪能百分率在不同光照周期期间的差异极显著 ($F_{2,27} = 7.56, P < 0.01$), 尿能百分率之间的差异显著 ($F_{2,27} = 3.42, P < 0.05$)。

可以看出, 长光照时能量摄入、消化能、可代谢能、粪损失能、尿损失能都较正常光照时低, 但消化率和同化率却较正常光照时高; 短光照时, 粪能百分率、尿能百分率均为最低。

3 讨 论

社鼠是啮齿目鼠科中中等体型的鼠种之一, 多栖息于丘陵和山区的灌木草丛、采伐迹地、荒坡、坟地、树林和农田等生态环境中, 属夜行性动物。夜行性动物的代谢水平在夜间一般要高于白天 (孙儒泳, 1992), 在短光照条件下, 社鼠的活动加强, 需要更多的可代谢能量, 而能量只能来自摄取的食物, 因此, 在短光照条件下社鼠每日干物质和能量摄入高于正常光照, 此时消化能和消化率最大, 同时可代谢能和同化率也最大。在长光照条件下, 社鼠活动减少 (包括觅食), 所需能量相应减少, 其

表 1 社鼠在不同光照条件下的干物质消耗、能量摄入、消化能和可代谢能
Table 1 Dry matter consumption, energy intake, digested energy and metabolizable energy during different photoperiods in *Niviventer confucianus*

	光周期 Photoperiod			差异显著性 Significance
	短光照	正常光照	长光照	
	Short photoperiod	Normal photoperiod	Long photoperiod	
消耗干物质 (Dry matter intake)(g/animal/day)	6.60 ± 1.07	6.36 ± 1.05	6.00 ± 1.03	*
能量摄入 (Energy intake)(KJ/animal/day)	107.57 ± 17.49	103.64 ± 17.15	97.82 ± 16.72	*
消化能 (Digested energy)(KJ/animal/day)	90.30 ± 14.62	84.72 ± 14.25	81.41 ± 13.86	ns
消化率 (Digestibility)(%)	83.97 ± 1.16	81.74 ± 1.76	83.25 ± 0.84	*
可代谢能 (Metabolizable energy)(KJ/animal/day)	86.56 ± 14.20	79.86 ± 14.51	76.81 ± 13.83	*
同化率 (Assimilation rate)(%)	80.46 ± 1.34	76.92 ± 2.15	78.45 ± 1.41	*

* : $P < 0.05$ ns : Not significant

表 2 社鼠在不同光照条件下的粪和尿损失能
Table 2 Energy loss from faeces and urine during different photoperiods in *Niviventer confucianus*

光照 Photoperiod	粪损失能 Faeces KJ/animal/day	粪能百分率 Proportion of energyintake (%)	尿损失能 Urine KJ/animal/day	尿能百分率 Proportion of energyintake (%)
短光照 (Short photoperiod)	17.27 ± 3.15	16.03 ± 1.16	3.74 ± 1.60	3.51 ± 1.31
正常光照 (Normal photoperiod)	18.93 ± 3.52	18.26 ± 1.76	4.85 ± 1.34	4.82 ± 1.46
长光照 (Long photoperiod)	16.41 ± 3.01	16.75 ± 0.84	4.60 ± 0.86	4.80 ± 1.04

每日干物质和能量摄入低于正常光照和短光照。

光周期是一年四季的主要参照物，是外界环境变化的最可靠信息（包括季节变化和日变化），也是动物辨别的主要信号之一。在自然环境条件下冬季食物并不充足，气候也较寒冷，因而动物需要贮存大量的能量以度过不良环境。当光照被人为控制 16 h 黑暗、8 h 光照时，就与冬季的光周期相似，社鼠有准备储备大量能量以备冬季之用的可能。因此，光周期作为生理适应的信号，在短光周期时，社鼠每日干物质和能量摄入、消化能、消化率、可代谢能和同化率等均为最大，而随粪和随尿损失的能量占摄入能的比例下降，以增加可代谢能。

本实验中在不同光照条件下测定的社鼠的消化率和同化率明显低于鲍毅新等（2001）测定的在不同温度下的消化率和同化率，其原因是两实验中所用的食物不同（本实验中用的是低纤维的鼠饲料，而鲍毅新等是以花生米为食物的）。总之，本研究表明，光周期影响了社鼠的能量代谢，光周期作为季节信号对社鼠调节能量摄入、消化率和同化率以适应环境具有重要的作用。

参考文献 (References)

- Bao, Y. X., W. G. Du, Z. Lin, B. Y. Hu, B. R. Chi and X. D. Chen 2001 Effect of temperature on energy requirement and food assimilation in Chinese white-bellied rat (*Niviventer confucianus*). *Acta Zool. Sin.* **47** (5): 597 ~ 600. [鲍毅新, 杜卫国, 林治, 胡柏驿, 池帮荣, 陈孝端 2001 环境温度对社鼠能量需求和食物同化的影响. *动物学报* **47** (5) 597 ~ 600.]
- Bozinovic, F. and M. Rosenmann 1989 Maximum metabolic rate of rodents: physiological and ecological consequences on distribution limits. *Functional Ecology* **3**: 173 ~ 181.
- Bozinovic, F. 1992 Rate of basal metabolism of rodents from different habitats. *Journal of Mammalogy* **73**: 379 ~ 384.
- Drozdz, A. 1975 Metabolic cage for small rodents. In: Grodinski, W. ed. IBP Handbook. No. 24. Methods for Ecological Bioenergetics. Oxford: Blackwell Scientific, 346 ~ 350.
- Du, W. G., Y. X. Bao, X. L. Jin, H. H. Zhou, H. L. Hu and H. Ye 1996 A study on energy and nutrition metabolism of the Sulphur-bellied rat (*Rattus niviventer* Hodgson). *Chinese Journal of Vectors Biology and Control* **7** (3): 186 ~ 187. [杜卫国, 鲍毅新, 金晓玲, 周洪辉, 胡宏亮, 叶华 1996 社鼠能量与营养代谢的初步研究. *中国媒介生物学及控制杂志* **7** (3): 186 ~ 187.]
- Du, W. G. and Y. X. Bao 2000 Seasonal variations in length and

- weight of digestive tract in *Rattus niviventer confucianus* and *Rattus norvegicus*. *Acta Zool. Sin.* **46** (3): 271 ~ 277. [杜卫国, 鲍毅新 2000 社鼠和褐家鼠消化道长度和重量的季节变化. *动物学报* **46** (3): 271 ~ 277.]
- Heldmaier, G. and A. Buchberger 1985 Sources of heat during nonshivering thermogenesis in Djungarian hamsters: a dominant role of brown adipose tissue during cold acclimate. *Journal of Comparative Physiology* **156**: 237 ~ 245.
- Hou, J. J., C. X. Huang and Q. F. Li 1995 The effects of photoperiod on thermogenesis of Brand's voles (*Microtus brandti*) during early spring. In: Zhang, J. ed. *Studies on Mammal Biology in China*. Beijing: China Forestry Publishing House, 161 ~ 168. [侯建军, 黄晨西, 李庆芬 1995 光周期在早春季节对布氏田鼠 (*Microtus brandti*) 产热的影响. 见: 张洁主编. 中国兽类生物学研究. 北京: 中国林业出版社, 161 ~ 168.]
- Petrusewicz, K. 1967 Suggested list of more important concepts in productivity stages (definitions and symbols). In: Petrusewicz, K. ed. *Secondary Productivity of Terrestrial Ecosystems*. Warszawa: Krakow, 51 ~ 58.
- Sun, R. Y. 1992 *Ecology Principle*. Beijing: Beijing Normal University, 84. [孙儒泳主编 1992 动物生态学原理. 北京: 北京师范大学出版社, 84.]
- Wang, D. H., R. Y. Sun and Z. W. Wang 1996 Maximum energy assimilation rate in the root vole (*Microtus oeconomus*). *Acta Zool. Sin.* **42** (1): 35 ~ 47. [王德华, 孙儒泳, 王祖望 1996 根田鼠的最大可代谢能量. *动物学报* **42** (1): 35 ~ 41.]
- Wang, D. H., Z. W. Wang and R. Y. Sun 2000 Effects of photoperiod and temperature on brown adipose tissue thermogenic properties in root vole. *Acta Theriologica Sin.* **20** (2): 123 ~ 129. [王德华, 王祖望, 孙儒泳 2000 光照和温度对根田鼠褐色脂肪组织产热能力的影响. *兽类学报* **20** (2): 123 ~ 129.]
- Wang, Y. S., Z. W. Wang and D. H. Wang 2001 Effects of temperature and photoperiod on maximum metabolic rates in plateau pikas and root voles. *Acta Zool. Sin.* **47** (3): 200 ~ 204. [王玉山, 王祖望, 王德华 2001 温度和光周期对高原鼠兔和根田鼠最大代谢率的影响. *动物学报* **47** (3): 200 ~ 204.]
- Wang, Z. K., Q. F. Li, R. Y. Sun and L. Liu 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, 刘璐 1999 光周期和温度对中缅树 产热能力的影响. *动物学报* **45** (3): 287 ~ 293.]
- Wang, Z. W., J. X. Zeng, Y. C. Hang and X. A. Zhang 1980 Energy dynamics of some mammals in an alpine meadow ecosystem [I. Digestibility and assimilation of natural foods on the mouse hare and the mole rat in an alpine meadow ecosystem. *Acta Zool. Sin.* **26** (2): 184 ~ 195. [王祖望, 曾缙祥, 韩永才, 张晓爱 1980 高山草甸生态系统小哺乳动物能量动态的研究 I 高原鼠兔和中华鼯鼠对天然食物的消化率和同化水平的测定 *动物学报* **26** (2): 184 ~ 189.]
- Wunder, B. A. 1985 Energetics and thermoregulation. In: Tamrinn, F. H. ed. *Biology of New World Microtus*. Utah: Brigham Young University, 812 ~ 844.
- Zegers, D. A., J. F. Merritt 1988 Effect of photoperiod and ambient temperature on nonshivering thermogenesis of *Peromyscus maniculatus*. *Acta Theriol.* **33**: 273 ~ 281.