

温度对小斑熊虫 *Milnesium tardigradum* Doyère (缓步动物门, 小斑熊虫科) 食量和食物消化率的影响

王立志, 李晓晨

(陕西师范大学生命科学院, 西安 710062)

摘要: 为研究温度对小斑熊虫 *Milnesium tardigradum* 食量和食物消化率的影响, 以轮虫为食物, 将 20 只小斑熊虫分成两组, 每组 10 只, 分别在 20℃ 和 5℃ 下驯化饲养 10 天, 并在各自驯化温度下进行实验观察。对实验结果的方差分析和 *t*-检验表明, 小斑熊虫的食量随温度的升高而显著增加, 20℃ 下饲养的个体取食轮虫的个数比 5℃ 下的多 0.84 个/天; 小斑熊虫的食物消化率随温度的升高而显著增加, 20℃ 下的小斑熊虫消化率比 5℃ 下的快 24 h。

关键词: 温度; 小斑熊虫; 食量; 消化率

中图分类号: Q813 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7083 (2006) 01-0103-03

Effect of Temperature on Food Assimilation of Tardigrade *Milnesium tardigradum* Doyère (Tardigrada, Milnesiidae)

WANG Li-zhi, LI Xiao-chen

(College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062)

Abstract: In order to understand the effect of temperature on food assimilation of the tardigrade *Milnesium tardigradum*, the tardigrades were fed with rotifer and were acclimated respectively to 5℃ and 20℃ for 10 days. The experiment was also carried out respectively at 5℃ or 20℃. The ANOVA and *t*-test results indicated that the appetite of individuals raised under 20℃ was higher than individual raised under 5℃ by 0.84 rotifer day⁻¹, the food assimilation rate of individuals raised under 20℃ was faster than individuals raised under 5℃ by 24 hours. That is, the appetite and food assimilation rate increased with the increase of acclimation temperatures.

Key words: temperature; tardigrade (*Milnesium tardigradum*); appetite; food assimilation rate

动物的能量代谢水平受许多环境因子和生理因子的影响, 其中环境温度作为能量变化的信号无疑是影响动物获取能量最重要的因素之一。环境温度的变化可以影响动物的能量需求^[1], 进一步影响其消化道的形态和生理功能^[1~4]。能量的获取和消耗之间的平衡对动物的生存、生长及繁殖至关重要, 这种平衡依赖于能量的摄入、处理、分配与消耗之间的平衡^[5]。长时间内的能量收支是持续代谢率的问题, 对动物有重要的生态学和进化意义^[6], 而在短时间内的能量收支则是最大代谢率的问题, 它同样影响动物的存活率, 包括抵抗寒冷、逃避天敌和捕获猎物。动物的能量代谢水平等生理生态特征, 在决定物种的分布、丰富度等方面占十分重要的地位。影响动物能量代谢的因子有许多, 如在兽类中影响能量消耗的因子有体重、食

性、活动水平、气候条件、分类单元等。有些学者认为分类单元对能量消耗的影响是主要的^[7,8], 也有些学者认为温度等生态因子的影响是主要的^[9,10], 由于能量消耗与分类单元的相关性反映了体重、食性、气候及行为等与分类单元的相关性, 实际上各种生态因子的影响是很难分离的, 它们是同时共同起作用的。动物的代谢水平具有适应性。在不同的区域, 不同的季节环境中, 不同的物种会采取不同的策略调节其生理因素以求生存, 不同的物种在相似的环境条件下(如同域分布种), 也可能表现出相似的生理适应(适应趋同), 同样, 相同的物种在不同的分布区, 经受不同的环境压力也可能表现出不同的生理适应方式(适应性趋异)。因此对于动物生理生态特征的研究, 有利于对动物的生活史对策、生理学及进化等许多重要方

收稿日期: 2005-01-20 基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目 (98H16)

作者简介: 王立志 (1979-), 男, 陕西师范大学动物生态学专业硕士研究生, rj_wl@stu.snnu.edu.cn

面的理解。

缓步动物是一类微小的水生无脊椎动物，成体体长小于 1000 μm ，多数种类体长介 250 ~ 500 μm ；两侧对称；具有完善的消化系统、神经系统和繁殖系统，依靠发达的体腔来完成呼吸和循环；4 对附肢末端连以爪；一生数次蜕皮；多数种类行孤雌生殖；生活于苔藓、地衣、落叶或土壤中^[11-14]。缓步动物以独特的隐生现象而著称，缺氧、失水和低温等都可以引起缓步动物进入隐生状态（桶状），以度过不良环境^[15,16]。在系统分类上，缓步动物独列一门，即缓步动物门（Tardigrada），目前已记述发表了近 1000 个种。来自 18S RNA 分子研究表明，缓步动物与节肢动物互为姊妹群^[17-19]。

本文以缓步动物小斑熊虫 *Milnesium tardigradum* Doyère, 1840^[13]为实验对象，研究了温度对其捕食量和食物消化速率的影响，结果报道如下。

1 材料和方法

小斑熊虫采自秦岭南五台山，海拔 1500 m。选择成体动物，体长在 482 ~ 527 μm 之间（实验后测量）。对体长进行双样本 *t*-检验表明，动物体长没有显著性差别（ $t_{\text{双尾}} = 2.23$ ； $P_{\text{双尾}} = 0.9$ ），从而避免体长变化对食量大小和消化速率的影响。

实验前，将动物分成两组，分别在 20℃ 和 5℃ 的温度下驯化饲养 10 天。选择 20℃ 和 5℃ 驯化温度，是因为该种动物在自然生境可能会遇到这样的温度环境。饲养期间，足量饲喂双盘轮虫（*Philodina roseola*），并在实验前 2 天停止喂食。实验开始前，我们在 J2638 塑料多用井穴板的每个井穴中放入 10 只轮虫，其体长在 104 ± 9.3 μm 之间。将小斑熊虫加入放有轮虫的井穴中，每个井穴中放一只。每隔 1 小时观察一次，记录轮虫的减少数和小斑熊虫排泄出轮虫口器的时间。以轮虫的减少个数作为进食量，以排泄出双盘轮虫口器的时间作为食物消化速率的指标，其计算公式如下：

$$\text{食物消化速率 } v = \left(\sum_{i=1}^N n_i \times t \right) \div N$$

其中 n_i 表示在某个时间下小斑熊虫消化的个体数； t 表示某个个体消化所用的时间； N 表示消化个体的总数。

数据统计前，对所有的数据进行正态性检验。在 Excel 中用线性回归、单因素方差分析（one-

way ANOVA）和 *t* 检验（双样本等方差假设）对数据进行统计处理。描述性统计值均用平均值 ± 标准差表示，显著性水平设在 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 温度对捕食量的影响

在 20℃ 的驯化温度下，把小斑熊虫放入有 10 只轮虫的井穴中到其开始觅食所用的时间平均为 2 ± 0.63 小时，觅食所用的时间平均为 2.17 ± 0.41 小时。一天内小斑熊虫摄食轮虫的个数平均为 2.17 ± 0.41 个。在 5℃ 的驯化温度下，把小斑熊虫放入有 10 只轮虫的井穴中到其开始觅食所用的时间平均为 4 ± 1.55 小时，觅食所用的时间平均为 1.83 ± 1.33 小时，一天内小斑熊虫摄食轮虫的个数平均为 1.33 ± 0.52 个（图 1）。

在 20℃ 和 5℃ 的驯化温度下，小斑熊虫觅食前所用的时间差异性显著（ $F = 8.57$ ； $P = 0.015$ ； $N = 12$ ）。小斑熊虫觅食所用的时间差异性不显著（ $F = 0.34$ ； $P = 0.57$ ； $N = 12$ ）。一天内小斑熊虫摄食轮虫的个数差异性显著（ $t = 4.61$ ； $P_{\text{双尾}} = 0.00245$ ； $df = 7$ ）。

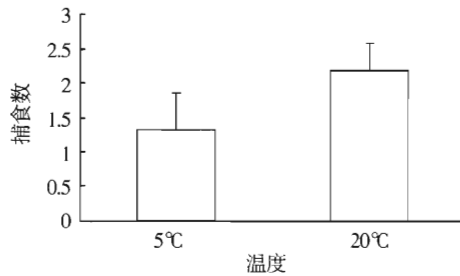


图 1 不同温度下的小斑熊虫的捕食量

小斑熊虫的摄食量和摄食时间之间存在二次多项式的回归关系（图 2）。

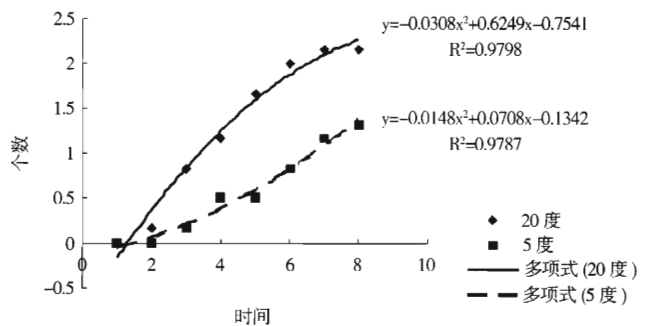


图 2 小斑熊虫的摄食量和摄食时间的关系

2.2 温度对消化速率的影响

在 20℃ 的驯化温度下，小斑熊虫消化所用的

时间平均为 21.83 ± 1.17 小时。在 5°C 的驯化温度下, 消化所用的时间平均为 43.83 ± 0.98 小时 (图 3)。两个驯化温度下的小斑熊虫消化速率存在极显著性的差异 ($F = 1481.14$; $P < 0.001$; $N = 12$)。

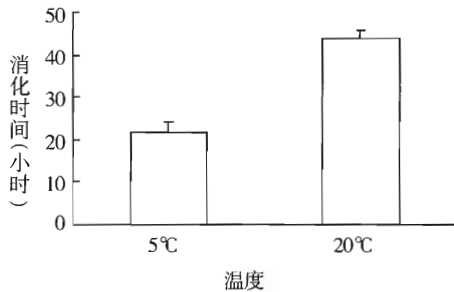


图 3 不同温度下小斑熊虫的消化速率

3 讨论

3.1 温度对小斑熊虫捕食量的影响

小斑熊虫寻找食物的时间随着温度的升高而减少。 20°C 下的小斑熊虫寻找食物的时间比 5°C 下的减少约 2 小时。造成这一结果可能是因为在高温下小斑熊虫爬行速率比低温下快, 在相同情况下, 小斑熊虫爬行过程中遇到轮虫的概率比较大。

觅食的速率也随着温度的升高而增加。 20°C 下的小斑熊虫觅食速率比 5°C 下的快 0.27 个/小时。小斑熊虫的食量随着温度的升高而增加。 20°C 下的小斑熊虫吃食轮虫的个数比 5°C 下的多 0.84 个/天。这一结果和 Atsushi 等人报道小斑熊虫在 17 分钟内连续捕食 13 个轮虫的实验结果相差很大^[20]。

一天内, 小斑熊虫的摄食量随着时间的增加而增加, 但不是无限增加, 在某个时间下达到平衡状态。 20°C 下的小斑熊虫摄食量达到平衡状态的时间比 5°C 下的少 1 小时。

3.2 温度对小斑熊虫食物消化速率的影响

小斑熊虫完全消化食物所用的时间随着温度的升高而减少。 20°C 下的小斑熊虫的代谢时间比 5°C 下的约少 22 小时。在 20°C 的驯化温度下, 小斑熊虫有一半的个体在吃食, 21 小时后代谢出轮虫口器; 在 5°C 驯化温度下, 一半小斑熊虫的个体在吃食, 43 小时后代谢出轮虫口器。温度对小斑熊虫的消化速率影响显著。

综上所述, 小斑熊虫是肉食性的缓步动物, 其食量随温度的升高而显著增加, 小斑熊虫的食物消化率随温度的升高而显著增加。

4 参考文献

[1] Gross JE, Z Wang and BA Wunder. Effects of food quality and en-

- ergy needs: changes in gut morphology and capacities of *Microtus ochrogaster* [J]. J Mamm, 1985, 66: 661~667.
- [2] Sibly R. Strategies in digestion and defecation [A]. In: Townsend CR and P Calow ed. Physiological Ecology: An Evolutionary Approach [M]. 1981.
- [3] Bozinovic F, FF Nova and V Claudio. Seasonal changes in energy expenditure and digestive tract of *Abrothrix andinus* (Cricetidae) in the Andes Range [J]. Physiol Zool, 1990, 63: 1216~1231.
- [4] Wunder BA. Morphophysiological indicators of the energy state of small mammals [A]. In: Tomasi TE and TA Horton ed. Mammalian Energetics: Interdisciplinary Views of Metabolism and Reproduction [M]. Assoc: Comstock Pub, 1992: 83~104.
- [5] Karasov WH. Energetics, physiology and vertebrate ecology [J]. TREE, 1986, 1: 101~104.
- [6] 王玉山, 王德华, 王祖望. 动物长期能量收支理论及研究进展 [J]. 动物学研究, 2000, 21: 238~244.
- [7] Elgar MA, Harvey PH. Basal metabolic rates in mammals: allometry, phylogeny and ecology [J]. Functional Ecology, 1987, 1: 25~36.
- [8] Hayssen V, Lacy RC. Basal metabolic rates in mammals: taxonomic differences in the allometry of BMR and body mass [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1985, 81A: 741~754.
- [9] McNab BK. The influence of food habits on the energetics of eutherian mammals [J]. Ecological Monograph, 1986, 56: 1~19.
- [10] McNab BK. Complications inherent in scaling the basal rate of metabolism in mammals [J]. Quarterly Review of Biology, 1988, 63: 25~54.
- [11] Kinchin IM. The Biology of Tardigrades [M]. Portland Press, London, 1994: 186.
- [12] Nelson DR, McInnes SJ. Tardigrada [A]. In: Rundle SD, Robertson AL and Schmid-Araya JM (eds.). Freshwater Meiofauna: Biology and Ecology [M]. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 2002: 177~215.
- [13] Ramazzotti G and Maucci W. II Phylum Tardigrada [J]. Mem Ist Ital Idrobiol, 1983, 41: 1~1012.
- [14] Walz B. Molting in Tardigrada. A review including new results on cuticle formation in *Macrobiotus hufelandi* [A]. In: DR Nelson (Ed.). Proceedings of the Third International Symposium on the Tardigrada, August 3-6, 1980, Johnson City, Tennessee [C]. East Tennessee State University Press, Johnson City, TN. 1982: 129~147.
- [15] Crowe JH, Hoekstra F and Crowe LM. Anhydrobiosis [J]. Annual Review of Physiology, 1992, 54: 579~599.
- [16] Somme L. Anhydrobiosis and cold tolerance in tardigrades [J]. European Journal of Entomology, 1996, 93: 349~357.
- [17] Giribet G, Carranza S, Baguna J, Riutort M, Ribera C. First molecular evidence for the existence of a Tardigrada plus arthropoda clade [J]. Mol Biol Evol, 1996, 13: 76~84.
- [18] Garey JR, Krotec DR, Brooks J. Molecular analysis supports a tardigrade-arthropod association [J]. Invertebr Biol, 1996, 115: 79~88.
- [19] Garey JR. Ecdysozoa: the relationship between Cycloneuralia and Panarthropoda [J]. Zool Anz, 2001, 240: 321~330.
- [20] Atsushi C, Suzuki. Life history of *Milnesium tardigradum* Doyère (Tardigrada) under a rearing environment [J]. Zoological Science, 2003, 20: 49~57.