

摄食对印度蜓蜥代谢率的影响*

陆洪良^① 计翔^{①**} 潘志崇^②

(^① 杭州师范学院生命科学学院 杭州 310036; ^② 宁波大学生命科学学院 宁波 315211)

摘要: 通过测定摄食后印度蜓蜥雌性成体的耗氧量变化,研究摄食特殊热动力作用(SDA)。动物分为摄食黄粉虫幼虫实验组和禁食对照组,两组蜥蜴平均体重无显著差异。测定耗氧量前,将所有动物在 30℃ 恒温室内禁食 3 d。用容积为 300 ml 的封闭式呼吸室测定两组蜥蜴在 30℃ 条件下连续 3 d 的耗氧量,测定间隔时间为 4 ~ 25 h。禁食组动物实验期间的耗氧量无显著的时间变异,实验组动物耗氧量的时间变异显著,这些结果表明摄食影响印度蜓蜥的代谢率。实验组动物摄食 8 h 后耗氧量已显著大于禁食组,摄食 30 h 后两组动物的耗氧量无显著差异。印度蜓蜥达到 SDA 峰值的平均时间约为 12.7 h, SDA 峰值耗氧量是禁食对照组动物耗氧量的 1.6 倍。印度蜓蜥单次摄食实验中的 SDA 具有进食后耗氧量迅速增加,达到峰值后下降至摄食前水平的典型模式。

关键词: 石龙子科;印度蜓蜥;摄食;耗氧量;特殊热动力作用

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2004)05-05-04

Influence of Feeding on Metabolic Rate in the Brown Forest Skink, *Sphenomorphus indicus*

LU Hong-Liang^① JI Xiang^① PAN Zhi-Chong^②

(^① School of Life Sciences, Hangzhou Normal College, Hangzhou 310036;

^② School of Life Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Specific dynamic action (SDA) of feeding was studied based on adult female brown forest skinks (*Sphenomorphus indicus*) captured in May 2003 from three localities in Hangzhou, Zhejiang, eastern China, and gave birth to neonates in the laboratory during July. 18 postpartum females were selected and assigned into two groups: the experimental group and the unfed control group in August. Body mass of the skinks varied from 9.0 to 13.2 g. No difference of the mean body mass can be found between experimental and control skinks. After 3 days fasting at 30℃, the experimental skinks were fed on mealworms (larvae of *Tenebrio molitor*). The ingested mealworms varied from 0.33 to 0.58 (mean = 0.51) g. Skinks were housed individually in a 300 ml closed respiratory chamber. Oxygen consumption was measured at 0, 4, 8, 12, 16, 23, 30, 41 and 66 h since feeding. Temporal variation in oxygen consumption can be found in experimental skinks but can not be found in control ones, which suggests that feeding exerts an effect on metabolic rate (and thus, SDA) in *S. indicus*. Experimental skinks consumed significantly more oxygen than did control

* 浙江省 151 人才基金,杭州市新世纪 131 人才基金资助项目;

** 通讯作者, E-mail: xji@mail.hz.zj.cn;

第一作者简介 陆洪良,男,23岁,硕士研究生;研究方向:动物生态学。

收稿日期:2004-02-09,修回日期:2004-06-15

ones during the period between 8 and 23 h since feeding. The peak metabolic rate in *S. indicus* is 1.6 times higher in experimental group than in control one. The mean time to reach a peak of SDA was 12.7 h for the experimental skinks. It shows that the pattern of SDA of feeding in *S. indicus* is similar to that reported for most other animals, that is oxygen consumption increasing to a peak rapidly after feeding, and then decreasing gradually to the prefeeding value. After compared our data with the corresponding data reported for other species, it is found that the time to reach a peak of SDA, the duration of SDA and the magnitude of the SDA peak differ considerably in species.

Key words: Scincidae; Brown forest skink (*Sphenomorphus indicus*); Food intake; Oxygen consumption; Specific dynamic action

动物摄食后代谢率显著增加^[1-6],食物消化、同化过程中代谢率的显著增加与动物正在进行的其它活动无关,其热效应被称为特殊热动力作用(specific dynamic action, SDA)。摄食 SDA 见于所有已研究的动物。在绝大多数动物中,SDA 具有摄食后耗氧量迅速增加,达到峰值后逐渐下降到摄食前的耗氧量水平的典型规律^[4,6-8]。SDA 存在种间差异,主要表现在 3 个方面:(1)摄食后耗氧量增加至峰值的时间;(2) SDA 持续的时间;(3) SDA 峰值的大小^[4,7]。摄食后耗氧量(及对应的 SDA)达到峰值所需的时间、持续时间和峰值耗氧量受许多因素的影响^[4,5]。例如,一定范围内增加食量能延长阿地力企鹅(*Pygoscelis adeliae*)^[9]和海狮(*Eumetopias jubatus*)^[10] SDA 的持续时间,提高水蟒(*Liasis fuscus*)^[5]、缅甸蟒蛇(*Python molurus*)^[2]和响尾蛇(*Crotalus durissus*)^[11] SDA 的峰值,延长欧鳢(*Pleuronectes platessa*)达到 SDA 峰值的时间^[12]。此外,实验温度、摄入食物类型、雌体怀卵或怀孕状态、动物的觅食模式、摄食频率、发育状况等因素也能影响 SDA^[6,13-16]。

检测处于吸收后状态的动物单次摄食后的耗氧量变化是研究 SDA 的常用方法^[7,9]。本研究以石龙子科卵胎生的印度蜓蜥(*Sphenomorphus indicus*)雌性成体为模型动物,通过测定单次摄食后的代谢率显示模型动物的 SDA,并比较相关研究结果的种间异同点。

1 材料与方 法

研究用印度蜓蜥均为成年雌体($n = 18$),

于 2003 年 5 月捕自杭州九溪、龙井和吴山等景区。动物于 7 月各产一窝仔,产后雌体饲养在实验室。实验于 8 月中旬开始,实验前未在特定温度下作专门的热驯化。实验在(30 ± 1)℃ 的恒温室内进行,室内用日光灯照明,光照周期为 12L:12D,早上 7:00 时自动开启。

将动物分为摄食 10~11 龄黄粉虫(*Tenebrio molitor*)幼虫的实验组($n = 12$)和禁食对照组($n = 6$)。实验开始前,动物已在恒温室内禁食 3 d,排空肠道内容物,体重为(11.1 ± 0.3) g ($9.0 \sim 13.2$)。实验组动物摄食时间不超过 1 h,摄入黄粉虫幼虫的平均重量为(0.51 ± 0.02) g ($0.33 \sim 0.58$);对照组动物实验期间保持禁食。耗氧量在实验组动物摄食后 0、4、8、12、16、23、30、41 和 66 h 测定,其中 0 h 耗氧量代表临摄食前的数据。耗氧量用自制 300 ml 封闭式呼吸室^[17]测定,动物吸入室内存氧,呼出 CO₂ 由室底 20% NaOH 溶液吸收;氧消耗导致室内减压,标尺管内游标内移而显示耗氧量。用单位体重每小时氧消耗量(ml/h·g)表示代谢率。动物在呼吸室内平衡 15 min 后,随后测出 30℃ 下的耗氧量,测定时间为 20 min。

所有数据在作进一步统计检验前,用 Kolmogorov-Smirnov 和 Bartlett 分别检验其正态性和方差同质性(Statistica 统计软件包);经检验,所有数据无须转化就能用于参数统计。用独立样本 *t*-检验和单因子方差分析(ANOVA)等处理相应数据。文中描述性统计值用平均值 ± 标准误表示,显著性水平设置在 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

两组动物平均体重无显著差异 ($t = 0.98$, $df = 16$, $P = 0.341$)。单因子 ANOVA 显示, 对照组动物实验期间的耗氧量无显著的时间变异 ($F_{8,43} = 1.79$, $P = 0.106$)。实验组动物耗氧量的时间变异显著 ($F_{8,99} = 12.04$, $P < 0.001$) (表

1, 图 1)。实验组动物摄食后耗氧量显著增加, 达到 SDA 峰值的平均时间为 12.7 h ($SE = 1.62$, $n = 12$), SDA 峰值耗氧量约为对照组动物耗氧量的 1.6 倍。实验组动物摄食 8 h 后耗氧量已显著大于对照组动物 (表 1), 达到 SDA 峰值时差异更显著, 摄食 30 h 后两组蜥蜴的耗氧量无显著差异 (表 1)。

表 1 不同测定时间印度蜥蜴耗氧量 (ml/h·g) 描述性统计值

时间 (h)	实验组耗氧量 (ml/h·g)	对照组耗氧量 (ml/h·g)	t 值和显著性水平
0	0.29 ± 0.02 (0.15 ~ 0.46)	0.26 ± 0.02 (0.20 ~ 0.36)	$t = 0.92$, $df = 16$, $P = 0.370$
4	0.32 ± 0.02 (0.26 ~ 0.48)	0.27 ± 0.04 (0.18 ~ 0.46)	$t = 1.48$, $df = 16$, $P = 0.159$
8	0.34 ± 0.02 (0.15 ~ 0.43)	0.24 ± 0.02 (0.17 ~ 0.33)	$t = 2.69$, $df = 16$, $P = 0.016^*$
12	0.42 ± 0.03 (0.32 ~ 0.62)	0.25 ± 0.02 (0.19 ~ 0.32)	$t = 3.65$, $df = 16$, $P = 0.002^{**}$
16	0.34 ± 0.02 (0.26 ~ 0.52)	0.21 ± 0.02 (0.16 ~ 0.30)	$t = 3.41$, $df = 16$, $P = 0.004^{**}$
23	0.30 ± 0.01 (0.22 ~ 0.39)	0.25 ± 0.02 (0.16 ~ 0.32)	$t = 2.14$, $df = 16$, $P = 0.048^*$
30	0.27 ± 0.02 (0.16 ~ 0.34)	0.22 ± 0.02 (0.14 ~ 0.30)	$t = 1.79$, $df = 16$, $P = 0.092$
41	0.23 ± 0.02 (0.16 ~ 0.34)	0.20 ± 0.02 (0.14 ~ 0.28)	$t = 0.88$, $df = 16$, $P = 0.391$
66	0.19 ± 0.01 (0.12 ~ 0.29)	0.17 ± 0.01 (0.12 ~ 0.19)	$t = 1.03$, $df = 16$, $P = 0.317$

数据用平均值 ± 标准误 (范围) 表示; * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

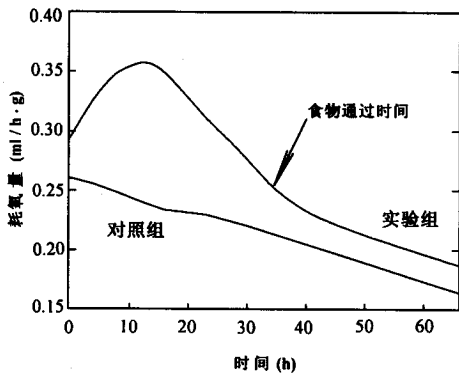


图 1 30°C 条件下印度蜥蜴单次摄食后的耗氧量变化曲线由表 1 中实验组和对照组动物各测定时间的平均耗氧量数据的最小平方拟合获得。图中箭头显示食物通过时间的平均值^[18]。

3 讨论

印度蜥蜴单次摄食实验中的耗氧量变化具有与绝大多数其它动物类似的模式, 即进食后耗氧量迅速增加, 达到峰值后下降直至摄食前水平 (图 1)。比较印度蜥蜴和其它石龙子的相关数据发现, SDA 达到峰值的时间、持续时间和峰值大小存在种间差异。在同样的单次摄食黄

粉虫幼虫的实验中, 东水石龙子 (*Eulamprus tympanum*) 约在摄食后 4 h 达到 SDA 峰值^[4], SDA 峰值耗氧量是禁食对照组动物耗氧量的 2.4 倍; 南水石龙子 (*E. quoyii*) 约在摄食后 15 h 达到 SDA 峰值^[6]; SDA 峰值耗氧量是禁食对照组动物耗氧量的 1.7 倍。摄食后达到 SDA 峰值的时间, 前一种动物明显比印度蜥蜴短, 而后一种动物则比印度蜥蜴略长。前一种动物 SDA 峰值耗氧量与对照组动物耗氧量的比值大于印度蜥蜴 (约 1.6 倍), 而后一种动物的相应比值与印度蜥蜴相近。比较 3 种动物的摄食量发现, 印度蜥蜴单次摄入黄粉虫幼虫的平均重量 (0.51 ± 0.22 g) 比东水石龙子 (0.46 g) 略大, 但低于南水石龙子 (1.31 ± 0.01 g), 虽然摄食量能影响动物 SDA 峰值耗氧量, 但 3 种动物达到 SDA 峰值的时间和耗氧量的相对增幅存在差异。这些比较表明, 不同动物即便摄食相同的食物, 达到 SDA 峰值的时间和耗氧量的相对增幅也有种间差异。

印度蜥蜴代谢率实验组显著大于对照组的时间跨度, 大于 15 h (图 1)。东水石龙子^[4]和南

水石龙子^[6]摄食后维持代谢率大于对照动物的时间跨度则分别为 48 h 和 50 h,这两种动物的 SDA 持续时间比其它已被研究的脊椎动物长^[9],也比印度蜥蜴长。这些比较表明,摄食后 SDA 的持续时间有种间差异。

印度蜥蜴在 30℃ 条件下的平均食物通过时间(即食物团通过消化道时间)约为 33.8 h^[18]。由于摄食动物的排便甚至排空并不表明动物已处于吸收后状态,摄食动物在食物通过后仍能维持高于对照动物的代谢水平,并在食物通过时间之后呈继续下降的趋势^[4]。这一现象也见于印度蜥蜴,如摄食动物在食物通过后逐渐达到吸收后状态,耗氧量也随之恢复到标准代谢率水平(图 1)。本实验对照组动物开始阶段代谢率较高(图 1),可能与动物禁食排空后仍未处于吸收后状态有关。

致谢 杭州师范学院马小梅、林隆慧、陈慧丽等老师以及罗来高、高建芳、吴国英、俞周杰、董利青等同学在实验中给予大力支持;澳大利亚悉尼大学 M. B. Thompson 博士提供未发表文献,在此深表谢意。

参 考 文 献

- [1] Secor S M. Digestive response to the first meal in hatching Burmese pythons (*Python molurus*). *Copeia*, 1995, **1995**: 947 ~ 954.
- [2] Secor S M, Diamond J. Determinants of the postfeeding metabolic response of Burmese pythons, *Python molurus*. *Physiol Zool*, 1997, **70**: 202 ~ 212.
- [3] Thompson G G, Withers P C. Effect of sloughing and digestion on metabolic rate in the Australian carpet python, *Morelia spilota imbricata*. *Austra J Zool*, 1999, **47**: 605 ~ 610.
- [4] Robert K A, Thompson M B. Influence of feeding on metabolic rate of the lizard, *Eulamprus tympanum*. *Copeia*, 2000, **2000**: 385 ~ 400.
- [5] Bedford G S, Christian K A. Metabolic response to feeding and fasting in the water python(*Liasis fuscus*). *Austra J Zool*,

2001, **49**: 379 ~ 387.

- [6] Iglesias S, Thompson M B, Seebacher F. Energetic cost of a meal in a frequent feeding lizard. *Comp Biochem Physiol*, 2003, **135A**: 377 ~ 382.
- [7] Jobling M. The influences of feeding on the metabolic rate of fishes: a short review. *J Fish Biol*, 1981, **18**: 385 ~ 400.
- [8] Secor S M, Phillips J A. Specific dynamic action of a large carnivorous lizard, *Varanus albigularis*. *Comp Biochem Physiol*, 1997, **117A**: 515 ~ 522.
- [9] Janes D N, Chappell M A. The effect of ration size and body size on specific dynamic of action in Adele penguin chicks, *Pygoscelis adeliae*. *Physiol Zool*, 1995, **68**: 1 029 ~ 1 044.
- [10] Rosen D A S, Trites A W. Heat increment of feeding in stellar sea lions, *Eumetopias jubatus*. *Comp Biochem Physiol*, 1997, **118A**: 877 ~ 881.
- [11] Andrade D V, Cruz-Neto A P, Abe A S. Meal size and specific dynamic action in the rattle-snake *Crotalus durissus* (Serpentes: Viperidae). *Herpetologica*, 1997, **53**: 485 ~ 493.
- [12] Jobling M, Davies P S. Effects of feeding on the metabolic rate and specific dynamic action in Plaice, *Pleuronectes platessa* L. *Ibid*, 1980, **16**: 629 ~ 638.
- [13] Carter C G, Brafield A E. The relationship between specific dynamic action and growth in grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Val.). *J Fish Biol*, 1992, **40**: 895 ~ 907.
- [14] McKinon W, Alexander G J. Is temperature independent of digestive efficiency an experimental artifact? A test using the common flat lizard (*Platysaurus intermedius*). *Copeia*, 1999, **1999**: 299 ~ 303.
- [15] Thor P, Cervetto G, Besiktebe S, *et al.* Influence of two different green algal diets on specific dynamic action and incorporation of carbon into biochemical fractions in the copepod *Acartia tonsa*. *J Plankton Res*, 2002, **24**: 293 ~ 300.
- [16] Sigsgaard S J, Petersen J K, Iversen J J L. Relationship between specific dynamic action and food quality in the solitary ascidian *Ciona intestinalis*. *Mar Biol*, 2003, **143**: 1 143 ~ 1 149.
- [17] 王培潮. 一种简单、小型、封闭式呼吸测定仪. 四川动物, 1986, **5**(1): 28 ~ 29.
- [18] Ji X, Sun P Y, Du W G. Selected body temperature, thermal tolerance and food assimilation in a viviparous skink, *Sphenomorphus indicus*. *Neth J Zool*, 1997, **47**: 103 ~ 110.