

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

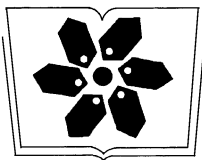
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第21期 Vol.32 No.21 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 21 期

2012 年 11 月 (半月刊)

目次

白洋淀富营养化湖泊湿地厌氧氨氧化菌的分布及对氮循环的影响.....	王衫允,祝贵兵,曲冬梅,等 (6591)
造纸废水灌溉对滨海退化盐碱湿地土壤酶活性的响应.....	夏孟婧,苗颖,陆兆华,等 (6599)
图们江下游湿地生态系统健康评价.....	朱卫红,郭艳丽,孙 鹏,等 (6609)
适应白洋淀湿地健康评价的 IBI 方法.....	陈 展,林 波,尚 鹤,等 (6619)
基于 MODIS 的洞庭湖湿地面积对水文的响应.....	梁 婕,蔡 青,郭生练,等 (6628)
崇明东滩湿地不同潮汐带入侵植物互花米草根际细菌的多样性.....	章振亚,丁陈利,肖 明 (6636)
中国东部亚热带地区树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位变化的谐波分析.....	赵兴云,李宝惠,王 建,等 (6647)
甘肃臭草型退化草地优势种群空间格局及其关联性.....	高福元,赵成章 (6661)
川西亚高山/高山森林土壤氧化还原酶活性及其对季节性冻融的响应.....	谭 波,吴福忠,杨万勤,等 (6670)
模拟分类经营对小兴安岭林区森林生物量的影响.....	邓华卫,布仁仓,刘晓梅,等 (6679)
苹果三维树冠的净光合速率分布模拟.....	高照全,赵晨霞,张显川,等 (6688)
拟茎点霉 B3 与有机肥配施对连作草莓生长的影响.....	郝玉敏,戴传超,戴志东,等 (6695)
落叶松林土壤可溶性碳、氮和官能团特征的时空变化及与土壤理化性质的关系.....	苏冬雪,王文杰,邱 岭,等 (6705)
人工固沙区与流沙区准噶尔无叶豆种群数量特征与空间格局对比研究.....	张永宽,陶 冶,刘会良,等 (6715)
山地河流浅滩深潭生境大型底栖动物群落比较研究——以重庆开县东河为例.....	王 强,袁兴中,刘 红 (6726)
荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系.....	吴忠鑫,张 磊,张秀梅,等 (6737)
北黄海秋、冬季浮游动物多样性及年间变化.....	杨 青,王真良,樊景凤,等 (6747)
鄂尔多斯市土地利用生态安全格局构建.....	蒙古军,朱利凯,杨 倩,等 (6755)
村落文化林与非文化林多尺度物种多样性加性分配.....	高 虹,陈圣宾,欧阳志云 (6767)
不同生计方式农户的环境感知——以甘南高原为例.....	赵雪雁 (6776)
两种预测模型在地下水动态中的比较与应用.....	张 霞,李占斌,张振文,等 (6788)
四川黄龙沟少花鹤顶兰繁殖成功特征.....	黄宝强,寇 勇,安德军 (6795)
硝化抑制剂对蔬菜土硝化和反硝化细菌的影响.....	杨 扬,孟德龙,秦红灵,等 (6803)
新疆两典型微咸水湖水体免培养古菌多样性.....	邓丽娟,娄 恺,曾 军,等 (6811)
白洋淀异养鞭毛虫群落特征及其与环境因子的相关性.....	赵玉娟,李凤超,张 强,等 (6819)
双酚 A 对萼花臂尾轮虫毒性及生活史的影响.....	陆正和,赵宝坤,杨家新 (6828)
孵化温度对双斑锦蛇初生幼体行为和呼吸代谢的影响.....	曹梦洁,祝 思,蔡若茹,等 (6836)
黄玛草蛉捕食米蛾卵的功能反应与数值反应.....	李水泉,黄寿山,韩诗畴,等 (6842)
互惠-寄生耦合系统的稳定性.....	高 磊,杨 燕,贺军州,等 (6848)
超微七味白术散对肠道微生物及酶活性的影响.....	谭周进,吴 海,刘富林,等 (6856)
专论与综述	
氮沉降对森林生态系统碳吸存的影响.....	陈 浩,莫江明,张 炜,等 (6864)
全球 CO_2 水平升高对浮游植物生理和生态影响的研究进展.....	赵旭辉,孔繁翔,谢薇薇,等 (6880)
跨界自然保护区——实现生物多样性保护的新手段.....	石龙宇,李 杜,陈 蕾,等 (6892)
研究简报	
会同和朱亭 11 年生杉木林能量积累与分配.....	康文星,熊振湘,何介南,等 (6901)
退化草地阿尔泰针茅生殖株丛与非生殖株丛的空间格局.....	任 珩,赵成章,高福元,等 (6909)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 35 * 2012-11



封面图说: 白洋淀是华北地区最大的淡水湖泊湿地。淀区内沟壕纵横交织错落,村庄、苇地、园田星罗棋布,在水文、水化学、生物地球化学循环以及生物多样性等方面,具有非常复杂的异质性。随着上游城镇污废水、农田径流进入水域,淀区富营养化日益加剧。复杂的水环境特点、高度的景观异质性和良好的生物多样性,使得该地区成为探索规模性厌氧氨氧化反应的良好研究地点(详见本期第 6591—6598 页)。

彩图提供:王为东博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: wdwangh@yahoo.com

DOI: 10.5846/stxb201109181367

曹梦洁, 祝思, 蔡若茹, 毛飞, 林隆慧. 孵化温度对双斑锦蛇初生幼体行为和呼吸代谢的影响. 生态学报, 2012, 32(21): 6836-6841.

Cao M J, Zhu S, Cai R R, Mao F, Lin L H. Effect of incubation temperature on behavior and metabolism in the Chinese cornsnake, *Elaphe bimaculata*. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(21): 6836-6841.

孵化温度对双斑锦蛇初生幼体行为和呼吸代谢的影响

曹梦洁, 祝 思, 蔡若茹, 毛 飞, 林隆慧*

(杭州师范大学生科院杭州市动物适应与进化重点实验室, 杭州 310036)

摘要:以双斑锦蛇(*Elaphe bimaculata*)为对象,在 24、27 和 30 °C 下孵化双斑锦蛇卵,研究孵化温度对孵出幼蛇吐信频次、选择体温、二氧化碳代谢量、生长过程中的呼吸代谢、初次摄食个体数和初次摄食量的影响。结果显示:孵化温度对双斑锦蛇孵出幼蛇的各项行为指标均没有显著影响。自幼蛇孵出至体内剩余卵黄消耗完这一时间段内,呼吸代谢产生的二氧化碳量逐步减少到最低值。24、27 和 30 °C 孵化温度下孵出幼体呼吸每分钟所产生的 CO₂ 量分别为 10.58、12.06 和 10.88 μL;初次摄食量分别为 4.92、4.34 和 3.60 g,各温度下摄食个体的数目分别约占该温度下孵出幼体总数的 46.2%、56.3% 和 40%。鉴于 3 个温度处理下孵出幼体的各项指标均无显著差异,24—30 °C 是双斑锦蛇适宜生存的温度区间。

关键词:游蛇科;双斑锦蛇;代谢率;选择体温;孵化温度;吐信频次

Effect of incubation temperature on behavior and metabolism in the Chinese cornsnake, *Elaphe bimaculata*

CAO Mengjie, ZHU Si, CAI Ruoru, MAO Fei, LIN Longhui*

Hangzhou Key Laboratory of Animal Adaptation and Evolution, School of Life Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China

Abstract: *Elaphe bimaculata* (Colubridae) is a small rat snake (60—80 cm) found in China. We collected adult *E. bimaculata* from a population in Jiangsu, Eastern China, to study the effect of incubation temperature on hatchlings' metabolism and behavior. We incubated the eggs at their constant temperatures (24, 27 and 30 °C). All hatchlings were used to evaluate the response to chemical cues, respiration metabolism and sex determination. Because physiological and behavioral performances are highly sensitive to variation in body temperature in reptiles, we conducted all trials at the body temperature of 28 °C. This was achieved by placing hatchlings in an incubator at the test temperature for approximately 1h prior to the test. We presented a cotton-tipped applicator soaked with cologne water to the lip of hatchlings and recorded tongue flicks for 1 min. Tongue flicking was measured because many reptiles flick their tongues frequently to detect both predators and prey and to gather information about other members of their own species. This behavioral character is therefore a potentially important indicator of fitness.

Selected body temperature was examined in a 100 cm × 60 cm × 60 cm terrarium covered with sand, sward and pieces of clay tiles. The terrarium was placed in constant temperature rooms where the temperature was set at 24 °C. One light bulb (200 W) suspended above one end created a thermal gradient ranging from room temperature to 50 °C for 12h daily, and lights were switched on at 07:00 h. Snakes were moved from the cool side into the terrarium at 10:00 h and, 24 h later, they were measured for body temperature (cloacal temperature, T_b) at 13:00 h using a UT-325 electronic thermometer (made in Taiwan) individually, which had an external thermal probe and was previously calibrated with a

基金项目:国家自然科学基金项目(31070339)和浙江省重点科技创新团队项目(2010R50039)

收稿日期:2011-09-18; **修订日期:**2012-02-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: linlh@yahoo.cn

standard thermometer. Great care was taken to avoid heat transfer occurring between hands and the measuring snake. Hereafter, we continuously measured the temperature of hatchling snakes for three days.

Our results reveal that there were no significant differences in the effects of incubation temperature (24—30 °C) on hatchlings' tongue flicks, selected body temperature, respiration metabolism and the initial feeding in *E. bimaculata*. The amount of carbon dioxide was decreased with the increase of age from nativity to residual yolk, and the amount of carbon dioxide decreased to minimum value when the hatchlings' residual yolk was absolutely exhausted. The amount of carbon dioxide breathed out by hatchlings incubated at 24, 27 and 30 °C was 10.58、12.06 and 10.88 $\mu\text{L}/\text{min}$ respectively. Influences of incubation temperatures on hatchling initial feeding was negligible; the weight of preys were 4.92, 4.34 and 3.60 g and the proportion of predation was 46.2%, 56.3% and 40% by hatchlings incubated at 24, 27 and 30 °C respectively. Our results reveal that the effects of incubation temperature (24—30 °C) on hatchlings behavior and feeding are not significant in *E. bimaculata*. *E. bimaculata* fit to live in this temperature range.

Key Words: Colubridae; *Elaphe bimaculata*; metabolic rate; selected body temperature; incubation temperature; tongue flicking

环境温度的异质性对陆生爬行动物的生存和地理分布起到了重要作用,因为温度对爬行动物生理和运动等各项机能起到关键作用^[1-2]。在野外环境中,爬行动物可以通过调整运动时间、改变姿势和阴阳穿梭等方式使自身体温调节到较高或较稳定的水平,才能有效进行各项生理和行为活动,如捕食、运动、能量代谢和生长繁殖等^[3-4]。当然,爬行动物的行为调温也会受到环境和自身生理特征的影响,如前期的热驯化和繁殖状态等^[5-6]。

生活史某一时期所经历的环境温度对爬行动物可能产生深远的影响,这些时间点的爬行动物无法通过行为调温的方式调节自身的体温,如卵的孵化过程完全取决于母体的巢址选择等。部分研究证实胚胎时期的温度选择会对爬行动物后代的体长、运动和性别等特征产生影响^[7]。目前,有关孵化温度对后代行为影响的研究主要集中在温度对后代运动、吐信和选择体温上,关于温度对后代初次摄食的研究鲜有报道。孵化温度对后代行为表现影响的研究结果在物种间有较大差异,有些物种在较低和适中的孵化温度孵出的幼体有较好的行为表现,而另一些物种则在较高的温度下有较好的行为表现^[8]。孵化温度对孵出幼体选择体温的影响具有较高的物种特异性,如北美拟鳄龟(*Chelydra serpentina*)^[9-10]和高原棱蜥(*Sceloporus virgatus*)^[11]在较低温度下孵出的幼体的选择体温较高,而在沙龟(*Gopherus agassizii*)^[12]和鼠蛇(*Elaphe obsoleta*)^[13]中不同孵化温度孵出的幼体选择体温无显著差异,北美水蛇(*Nerodia sipedon*)^[13]和暹罗鳄(*Crododylus siamensis*)^[14]中较低孵化温度孵出的幼体选择体温也较低。

双斑锦蛇(*Elaphe bimaculata*)隶属于游蛇科(Colubridae)锦蛇属(*Elaphe*),主要分布于我国的华东、华北和华中等地^[15]。本研究以双斑锦蛇为研究对象,利用3个不同的恒定的温度孵化双斑锦蛇卵,通过对不同温度孵出的幼蛇在行为和呼吸代谢方面的差异,解释孵化温度对双斑锦蛇的后期生长和行为表现是否有影响,以及结果本身的生态学意义。

1 材料和方法

1.1 双斑锦蛇幼蛇的收集

实验所用9条双斑锦蛇(体长70.2—91.8 cm)母体于2010年7月初采自江苏常州(31°54'N, 119°99'E)。动物运至杭州师范大学动物中心实验室,经简单消毒后饲养在室内60 cm × 45 cm × 50 cm(长×宽×高)的铁丝笼内,室内温度控制在(28±2) °C^[16]。期间提供充足的食物中国石龙子(*Eumeces chinensis*)和富含维生素和矿物质的饮用水。

实验室内双斑锦蛇的产卵时间为7月16至7月31日。从产第一窝卵开始每天至少检查蛇笼两次以便及时收集和测量新生卵。测量产后母体的体长、尾长和体重;卵的大小(精确到0.01 mm)和质量(精确到

1 mg)。9 条母体共产卵 66 枚,在本研究的实验样本中双斑锦蛇每窝产卵 4—11 枚。取其中的 57 枚进行本研究,其余数据将在其他文章报道。这些卵被随机平均分配到 3 个孵化温度(24、27 和 30 °C)进行孵化,这些卵置于加盖的 250 mL 塑料孵化盒中,以已知重量的蛭石和水(质量比为 1/1)作孵化基质^[17]。卵长径的 1/3 埋于孵化基质中。为保证孵化盒湿度均衡,孵化盒每 5 d 称重 1 次并补充因卵吸收和空气蒸发而损失的水分。孵化盒置于 3 个不同温度的恒温室进行孵化,室内温度分别设置为 24、27 和 30 °C。为降低恒温室不同的热梯度所造成的影响,孵化盒在恒温室中的位置按照事先设置好的程序移动。3 个温度下共孵出幼体 49 只,其中一只在孵出后 3 h 死亡。

1.2 幼体的行为、呼吸代谢和选择体温

幼体孵出后立即测量体长、尾长和体重等数据,并通过挤压泄殖腔的方式辨别性别,有半阴茎的为雄性。所有的个体都被用于行为的测定,由于生理和行为表现在爬行动物中的热敏感性,作者在测定幼体行为前一小时将幼体置于 28 °C 恒温室进行驯化。通过测量后代吐信频次和游泳速度来评估其运动表现。由于许多爬行动物都是通过吐信的方式收集周围环境中的信息,吐信行为可能是适合度的重要标志,而且它随着爬行动物体温的变化而变化^[18-19]。具体测量方法:用蘸有花露水的棉签置于幼体吻前 1 cm 处,记录 1 min 内幼体的吐信次数。

在上述实验结束后的 6—12 h 内测定新生幼蛇的呼吸代谢。将幼蛇直接放入呼吸室内静置后进行测量,此后每 5 d 对幼蛇进行 1 次呼吸代谢的测量,直至幼蛇生长到第 15 天进行初次投食时结束。测量仪器采用加拿大 Qubit 公司生产的呼吸仪(RP1LP-FCM Low Range Respiration Package)。操作方法完全按照产品使用说明书,实验数据由计算机软件 Logger Pro 3.7 采集并加以分析。代谢率的测定以卵在呼吸过程中平均每分钟所产生的二氧化碳毫升数为标准进行计算。

测量新生幼蛇的初次呼吸代谢之后,将幼蛇饲养在 100 cm × 60 cm × 60 cm 的饲养箱内,箱内放置草皮、瓦片等遮蔽物,并提供富含矿物质和维生素的饮用水。将箱子置于 22 °C 恒温室,箱子的一侧吊一个 200 W 的白炽灯,使箱内形成一个 24—50 °C 的温度梯度。白炽灯和恒温室照明灯调节光周期为 12 h,每天 07:00—19:00 将灯泡开启。幼蛇放入箱内后于翌日 13:00 用 UT-325 电子温度计测量其泄殖腔温度作为选择体温,之后在同一时间段连续测量 3 d,测量时尽量避免用手直接接触幼蛇,以免由于人体温度传导使幼蛇体温上升。

1.3 统计分析

用 Statistica 8 软件包进行统计分析,由于性别对数据结果没有影响,因此合并两种不同性别的数据。数据作参数统计分析前,分别检验其正态性(Kolmogorov-Smirnov test)和方差同质性(F -max test)。用单因子方差分析(one-way ANOVA)、单因子协方差分析(one-way ANCOVA)和重复测量方差分析(repeated measures ANOVA)检验相关数据;线性回归分析生长时间和体重与呼吸代谢率的关系。用 Tukey 多重比较检验多样本各处理彼此间的差异。文中所有描述性统计值均用平均值 ± 标准误表示,显著性水平设置为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 孵化温度对初生幼体行为的影响

双斑锦蛇母体 7 月 16 日至 7 月 31 日产 9 窝卵,窝卵数范围为 4—11 枚(平均 7.56 ± 0.84 枚),窝平均卵重范围为 8.12—14.74 g(平均 (11.016 ± 0.66) g)。窝卵数与体长具有显著的相关性($r^2=0.51$, $t=2.50$, $df=7$, $P=0.046$),而窝平均卵重不随体长的变化而变化($r^2=0.08$, $t=0.74$, $df=7$, $P=0.48$)。24、27 °C 和 30 °C 孵化温度下所孵卵的卵重分别为 10.2、10.9 g 和 10.7 g,3 个孵化温度下的初始卵重没有差异(one-way ANOVA; $F_{1,46}=0.94$, $P=0.40$)。3 个恒定温度下共孵出幼体 49 只,24 ($n=15$)、27 ($n=19$) 和 30 °C ($n=15$) 孵化温度下孵出幼体的体重分别为 8.1、8.6 g 和 8.3 g,孵出幼体的体长分别为 23.9、25.1 和 24.2 cm。以初生卵重为协变量、孵化温度为因子的 ANCOVA 分析显示:孵出幼体体重($F_{2,45}=0.48$, $P=0.62$)和体长($F_{2,45}=3.13$, $P=0.05$)均无显著差异。

孵化温度对后代吐信频次 (one-way ANOVA, $F_{2,46}=0.10$, $P=0.91$)、呼吸代谢 (每秒产生的二氧化碳量) (one-way ANOVA, $F_{2,46}=0.53$, $P=0.59$) 和选择体温 (one-way ANOVA, $F_{2,45}=1.51$, $P=0.23$) 无显著影响 (图 1)。

2.2 孵化温度对后代生长初期呼吸代谢和初次摄食的影响

孵出幼体随着出生时间的延长体重不断下降,线性回归显示代谢 (每分钟呼吸产生 CO_2 的微升数) 与体重和孵化时间呈显著正相关 ($P < 0.0001$)。3 个孵化温度下孵出幼体的体重没有差异,随着出生时间的延长幼体因剩余卵黄的消耗体重迅速减轻。以初生时的体重为协变量,孵化温度为因子的协方差分析显示消耗完剩余卵黄时 (孵出 15d 后) 的体重差异显著 (one-way ANCOVA, $F_{2,44}=5.54$, $P=0.007$), 27 °C (7.52 g) 和 30 °C (7.01 g) 孵化温度下幼体生长至剩余卵黄被吸收完之后的体重显著大于 24 °C 孵化温度下幼体生长至剩余卵黄被吸收完之后的体重 (6.22 g)。

孵化温度对幼体代谢率没有影响 (one-way ANCOVA, $P > 0.05$), 但随着时间的延续代谢率减小 (图 2)。24、27 °C 和 30 °C 孵化温度下孵出幼体呼吸每分钟所产生的 CO_2 量在分别为 10.58、12.06 μL 和 10.88 μL 。

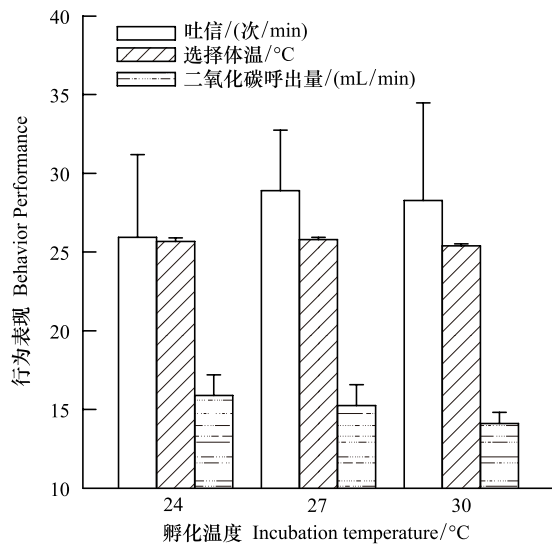


图 1 3 个不同的恒定孵化温度下孵出的双斑锦蛇幼体的吐信频次 (次/min)、选择体温 (°C) 和呼吸代谢 (CO_2 产生量)

Fig. 1 Tongue flicking, selected body temperature and CO_2 production of *E. bimaculata* hatchlings incubated at three constant temperatures

数据用平均值 $\pm$ 标准误差表示

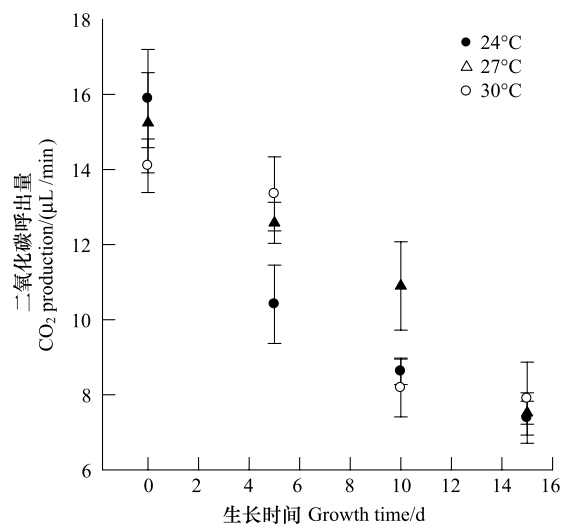


图 2 3 个恒定孵化温度下孵出的双斑锦蛇幼体随着生长时间延长二氧化碳呼出量的变化

Fig. 2 Temporal changes in CO_2 production of hatchlings incubated at three constant temperatures

数据用平均值 $\pm$ 标准误差表示,二氧化碳呼出量每 5 d 称量 1 次

孵化温度对幼体摄食行为无显著影响 (one-way ANOVA, $F_{2,18}=2.37$, $P=0.12$), (表 1)。24、27 和 30 °C 孵化温度下孵出幼体初次摄食量分别为 4.92、4.34 和 3.60 g,各温度下摄食个体的数目分别约占该温度下孵出幼体总数的 46.2%、56.3% 和 40% (表 1)。

表 1 3 个不同的恒定孵化温度下孵出的双斑锦蛇幼体的摄食个体数和初次摄食量

Table 1 Number of ingestion individual and initial mass of ingestion of *E. bimaculata* hatchlings incubated at three constant temperatures

孵化温度 Thermal treatment /°C	后代数量 Number of hatchling	摄食个体数 Number of ingestion individual	初次摄食量(范围) Initial mass of ingestion/g
24	13	6	4.92±0.43* (3.4—6.66)
27	16	9	4.34±0.41 (2.6—5.85)
30	15	6	3.60±0.28 (2.87—4.84)

* 平均值 $\pm$ 标准误差

3 讨论

孵化温度对爬行动物孵出幼体的行为表现有一定的影响,银环蛇(*Bungarus multicinctus*)在较高温度(30℃)下孵出幼体的行为表现较其他低的孵化温度(24 和 27℃)要好^[8]。而对于双斑锦蛇同域分布短尾蝮(*Gloydius brevicaudus*)进行相关研究发现,温和温度(27℃)下孵出幼体行为表现优于极端温度(32 和 22℃)下孵出幼体行为表现^[20]。与这两种蛇类的研究结果不同,本研究显示孵化温度对双斑锦蛇孵出幼体的二氧化碳代谢率和吐信频次无显著影响(图 1)。这一结果说明双斑锦蛇的温度耐受范围较大,24—30℃的孵化温度均在其耐受范围内。

本研究显示孵化温度对双斑锦蛇孵出幼体的选择体温(图 1)无显著影响。目前,有关孵化温度对爬行动物孵出幼体选择体温的影响的研究较少,主要停留在蜥蜴类的 6 个种、蛇类的 3 个种、鳄类的 1 种和龟类的 2 种,按照其研究结果可以分为以下几种类型:(1)孵化温度对孵出幼体的选择体温无显著差异,如沙龟^[12]、卡罗莱纳州变色龙(*Anolis carolinensis*)^[21]、三线石龙子(*Bassiana duperreyi*)^[22]、变色龙(*Chamaeleo calyptratus*)^[23]、古巴岩蜥(*Cyclura nubila*)^[24]、西部篱蜥(*S. occidentalis*)^[25]、鼠蛇^[13]和束带蛇(*Thamnophis elegans*)^[26];(2)较低的孵化温度下孵出的幼体有较高的选择体温,如北美拟鳄龟^[9-10]、高原棱蜥^[11];(3)较低的孵化温度下孵出的幼体选择较低的选择体温,如暹罗鳄^[14]和北美水蛇^[13]。本项研究显示不同孵化温度下孵出的双斑锦蛇选择体温无显著差异(图 1)。

爬行动物的代谢与其体重、体温、年龄和个体状态有密切的关系^[27-28]。本项研究中,孵化温度对双斑锦蛇孵出幼体代谢率没有影响(图 1)。在出生到体内剩余卵黄消耗完毕的时间内代谢产生的 CO₂ 量随着生长而逐渐减少,这一过程中 24、27℃和 30℃孵化温度下孵出幼体呼吸每分钟所产生的 CO₂ 量在分别为 10.58、12.06 和 10.88 μL(图 2)。这说明双斑锦蛇幼蛇在体内剩余卵黄被消耗完毕时,可以通过逐步降低代谢率的方式适应猎物无法预见的未来。

孵化温度对双斑锦蛇幼蛇的摄食个体数和初次摄食量均无显著影响(表 1)。结合上述实验结果可以发现在 24—30℃温度范围内孵化温度对双斑锦蛇幼蛇的各项行为和生理指标没有影响,双斑锦蛇在这一温度范围的热敏感性较低,也比较适合其生存和分布。因此,未来需要更进一步的对双斑锦蛇孵化温度的临界点进行研究,以阐明其生态适应意义。

致谢:南京师范大学屈彦福博士和杭州师范大学高建芳博士对本文写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Cadena V, Tattersall G J. The effect of thermal quality on the thermoregulatory behavior of the bearded dragon *Pogona vitticeps*: influences of methodological assessment. *Physiological and Biochemical Zoology*, 2009, 82(3): 203-217.
- [2] Shu L, Zhang Q L, Qu Y F, Ji X. Thermal tolerance, selected body temperature and thermal dependence of food assimilation and locomotor performance in the Qinghai toad headed lizard, *Phrynocephalus tlangalii*. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8): 2036-2042.
- [3] Avery R A, Bedford J D, Newcombe C P. The role of thermoregulation in lizard biology: predatory efficiency in a temperate diurnal basker. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 1982, 11(4): 261-267.
- [4] Huey R B. Temperature, physiology, and the ecology of reptiles // Gans C, Pough F H, eds. *Biology of the Reptilia Vol. 12, Physiology (C)*. London: Academic Press, 1982: 25-91.
- [5] Li H, Qu Y F, Hu R B, Ji X. Evolution of viviparity in cold-climate lizards: testing the maternal manipulation hypothesis. *Evolutionary Ecology*, 2009, 23(5): 777-790.
- [6] Yang J, Sun Y Y, An H, Ji X. Northern grass lizards (*Takydromus septentrionalis*) from different populations do not differ in thermal preference and thermal tolerance when acclimated under identical thermal conditions. *Journal of Comparative Physiology B*, 2007, 178(3): 343-349.
- [7] Lin L H, Ma X M, Li H, Ji X. Phenotypic variation in hatchling Chinese ratsnakes (*Zaocys dhumnades*) from eggs incubated at constant temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 2010, 35(1): 28-33.
- [8] Ji X, Gao J F, Han J. Phenotypic responses of hatchlings to constant versus fluctuating incubation temperatures in the multi-banded krait, *Bungarus multicinctus* (Elapidae). *Zoological Science*, 2007, 24(4): 384-390.
- [9] O'Steen S. Embryonic temperature influences juvenile temperature choice and growth rate in snapping turtles *Chelydra serpentina*. *Journal of*

- Evolutionary Biology, 1998, 201 (Pt 3): 439-449.
- [10] Rhen T, Lang J W. Temperature during embryonic and juvenile development influences growth in hatchling snapping turtles, *Chelydra serpentina*. Journal of Thermal Biology, 1999, 24(1): 33-41.
- [11] Qualls C P, Andrews R M. Cold climates and the evolution of viviparity in reptiles: cold incubation temperatures produce poor-quality offspring in the lizard, *Sceloporus virgatus*. Biological Journal of the Linnean Society, 1999, 67(3): 353-376.
- [12] Spotila J R, Zimmerman L C, Binckley C A, Grumbles J S, Rostal D C, List A Jr, Beyer E C, Phillips K M, Kemp S J. Effects of incubation conditions on sex determination, hatching success, and growth of hatchling desert tortoises, *Gopherus agassizii*. Herpetological Monographs, 1994, 8: 103-116.
- [13] Blouin-Demers G, Kissner K J, Weatherhead P J. Plasticity in preferred body temperature of young snakes in response to temperature during development. Copeia, 2000, 2000(3): 841-845.
- [14] Lang J W. Crocodilian thermal selection // Webb G J W, Manolis S C, Whitehead P J, eds. Wildlife Management: Crocodiles and Alligators. Sydney: Surrey Beatty and Sons Ltd, 1987: 301-306.
- [15] Zhao E M. Elaphe Fitzinger // Zhao E M, Huang M H, Zong Y, eds. Fauna Sinica, Reptilia (Squamata: Serpentes), Vol. 3. Beijing: Science Press, 1998: 130-173.
- [16] Ji X, Du W G. Effects of thermal and hydric environments on incubating eggs and hatchling traits in the cobra, *Naja naja atra*. Journal of Herpetology, 2001, 35(2): 186-194.
- [17] Ji X, Braña F. The influence of thermal and hydric environments on embryonic use of energy and nutrients, and hatchling traits, in the wall lizards (*Podarcis muralis*). Comparative Biochemistry and Physiology - part A: Molecular and Integrative Physiology, 1999, 124(2): 205-213.
- [18] Stevenson R D, Peterson C R, Tsuji J S. The thermal dependence of locomotion, tongue flicking, digestion, and oxygen consumption in the wandering garter snake. Physiological Zoology, 1985, 58(1): 46-57.
- [19] Ayers D Y, Shine R. Thermal influences on foraging ability: body size, posture and cooling rate of an ambush predator, the python *Morelia spilota*. Functional Ecology, 1997, 11(3): 342-347.
- [20] Gao J F, Qu Y F, Zhang X Q, Ji X. Within-clutch variation in venoms from hatchlings of *Deinagkistrodon acutus* (Viperidae). Toxicon, 2011, 57(7/8): 970-977.
- [21] Goodman R M, Walguemery J W. Incubation temperature modifies neonatal thermoregulation in the lizard *Anolis carolinensis*. Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology, 2007, 307(8): 439-448.
- [22] Du W G, Elphick M, Shine R. Thermal regimes during incubation do not affect mean selected temperatures of hatchling lizards (*Bassiana duperreyi*, Scincidae). Journal of Thermal Biology, 2010, 35(1): 47-51.
- [23] Andrews R M. Effects of incubation temperature on growth and performance of the veiled chameleon (*Chamaeleo calytratus*). Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology, 2008, 309A(8): 435-446.
- [24] Alberts A C, Perry A M, Lemm J M, Philips J A. Effects of incubation temperature and water potential on growth and thermoregulatory behavior of hatchling Cuban rock iguanas (*Cyclura nubila*). Copeia, 1997, 1997(4): 766-776.
- [25] Buckley C R, Jackson M, Youssef M, Irschick D J, Adolph S C. Testing the persistence of phenotypic plasticity after incubation in the western fence lizard, *Sceloporus occidentalis*. Evolutionary Ecology Research, 2007, 9(1): 169-183.
- [26] Arnold S J, Peterson C R, Gladstone J. Behavioural variation in natural populations 7. Maternal body temperature does not affect juvenile thermoregulation in a Garter snake. Animal Behaviour, 1995, 50(3): 623-633.
- [27] Andrews R M, Pough F H. Metabolism of squamate reptiles: allometric and ecological relationships. Physiological Zoology, 1985, 58(2): 214-231.
- [28] Phillips J A. Ontogeny of metabolic processes in blue-tongued skinks, *Tiliqua scincoides*. Herpetologica, 1986, 42(4): 405-412.

参考文献:

- [15] 赵尔宓, 锦蛇属 // 赵尔宓, 黄美华, 宗愉. 中国动物志, 爬行纲 (有鳞目: 蛇亚目) 第三卷. 北京: 科学出版社, 1998: 130-173.

CONTENTS

Widespread of anaerobic ammonia oxidation bacteria in an eutrophic freshwater lake wetland and its impact on nitrogen cycle	WANG Shanyun, ZHU Guibing, QU Dongmei, et al (6591)
Responses of soil enzyme activities of degraded coastal saline wetlands to irrigation with treated paper mill effluent	XIA Mengjing, MIAO Ying, LU Zhaozhua, et al (6599)
Wetland ecosystem health assessment of the Tumen River downstream	ZHU Weihong, GUO Yanli, SUN Peng, et al (6609)
An index of biological integrity: developing the methodology for assessing the health of the Baiyangdian wetland	CHEN Zhan, LIN Bo, SHANG He, et al (6619)
MODIS-based analysis of wetland area responses to hydrological processes in the Dongting Lake	LIANG Jie, CAI Qing, GUO Shenglian, et al (6628)
The diversity of invasive plant <i>Spartina Alterniflora</i> rhizosphere bacteria in a tidal salt marshes at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary	ZHANG Zhengya, DING Chengli, XIAO Ming (6636)
Analyzing the azimuth distribution of tree ring $\delta^{13}\text{C}$ in subtropical regions of eastern China using the harmonic analysis	ZHAO Xingyun, LI Baohui, WANG Jian, et al (6647)
In the process of grassland degradation the spatial pattern and spatial association of dominant species	GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (6661)
Activities of soil oxidoreductase and their response to seasonal freeze-thaw in the subalpine/alpine forests of western Sichuan	TAN Bo, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (6670)
Simulating the effects of forestry classified management on forest biomass in Xiao Xing'an Mountains	DENG Huawei, BU Rencang, LIU Xiaomei, et al (6679)
The simulation of three-dimensional canopy net photosynthetic rate of apple tree	GAO Zhaoquan, ZHAO Chenxia, ZHANG Xianchuan, et al (6688)
The effect of <i>Phomopsis</i> B3 and organic fertilizer used together during continuous cropping of strawberry (<i>Fragaria ananassa</i> Duch) ...	HAO Yumin, DAI Chuanchao, DAI Zhidong, et al (6695)
Temporal and spatial variations of DOC, DON and their function group characteristics in larch plantations and possible relations with other physical-chemical properties	SU Dongxue, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (6705)
Comparisons of quantitative characteristics and spatial distribution patterns of <i>Eremosparton songoricum</i> populations in an artificial sand fixed area and a natural bare sand area in the Gurbantunggut Desert, Northwestern China	ZHANG Yongkuan, TAO Ye, LIU Huiliang, et al (6715)
Comparison study on macroinvertebrate assemblage of riffles and pools: a case study of Dong River in Kaixian County of Chongqing, China	WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong (6726)
Nekton community structure and its relationship with main environmental variables in Lidao artificial reef zones of Rongcheng	WU Zhongxin, ZHANG Lei, ZHANG Xiumei, et al (6737)
Zooplankton diversity and its variation in the Northern Yellow Sea in the autumn and winter of 1959, 1982 and 2009	YANG Qing, WANG Zhenliang, FAN Jingfeng, et al (6747)
Building ecological security pattern based on land use: a case study of Ordos, Northern China	MENG Jijun, ZHU Likai, YANG Qianet al (6755)
Additive partition of species diversity across multiple spatial scales in community culturally protected forests and non-culturally protected forests	GAO Hong, CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun (6767)
Environmental perception of farmers of different livelihood strategies: a case of Gannan Plateau	ZHAO Xueyan (6776)
Application and comparison of two prediction models for groundwater dynamics	ZHANG Xia, LI Zhanbin, ZHANG Zhenwen, et al (6788)
Pollination success of <i>Phaius delavayi</i> in Huanglong Valley, Sichuan	HUANG Baoqiang, KOU Yong, AN Dejun (6795)
Mechanism of nitrification inhibitor on nitrogen-transformation bacteria in vegetable soil	YANG Yang, MENG Denglong, QIN Hongling, et al (6803)
Archaea diversity in water of two typical brackish lakes in Xinjiang	DENG Lijuan, LOU Kai, ZENG Jun, et al (6811)
Abundance and biomass of heterotrophic flagellates in Baiyangdian Lake, as well as their relationship with environmental factors	ZHAO Yujuan, LI Fengchao, ZHANG Qiang, et al (6819)
Effects of bisphenol A on the toxicity and life history of the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LU Zhenghe, ZHAO Baokun, YANG Jiaxin (6828)
Effect of incubation temperature on behavior and metabolism in the Chinese cornsnake, <i>Elaphe bimaculata</i>	CAO Mengjie, ZHU Si, CAI Ruoru, et al (6836)
Functional and numerical responses of <i>Mallada besalis</i> feeding on <i>Coreyra cephalonica</i> eggs	LI Shuiquan, HUANG Shoushan, HAN Shichou, et al (6842)
Stability analysis of mutualistic-parasitic coupled system	GAO Lei, YANG Yan, HE Junzhou, et al (6848)
Effect of ultra-micro powder qiweibaishuan on the intestinal microbiota and enzyme activities in mice	TAN Zhoujin, WU Hai, LIU Fulin, et al (6856)
Review and Monograph	
The effects of nitrogen deposition on forest carbon sequestration: a review	CHEN Hao, MO Jiangming, ZHANG Wei, et al (6864)
Effect of enhanced CO ₂ level on the physiology and ecology of phytoplankton	ZHAO Xuhui, KONG Fanxiang, XIE Weiwei, et al (6880)
Transboundary protected areas as a means to biodiversity conservation	SHI Longyu, LI Du, CHEN Lei, et al (6892)
Scientific Note	
The energy storage and its distribution in 11-year-old chinese fir plantations in Huitong and Zhuting	KANG Wenxing, XIONG Zhengxiang, HE Jienan, et al (6901)
Spatial pattern of sexual plants and vegetative plants of <i>Stipa krylovii</i> population in alpine degraded grassland	REN Heng, ZHAO Chengzhang, GAO Fuyuan, et al (6909)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 21 期 (2012 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 21 (November, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元