

实验围栏内越冬眼镜蛇体温调节和低温耐受性的无线电遥测

计翔 陈慧丽 杜卫国 朱炳全

(杭州师范学院生命科学学院, 杭州 310036) (浙江大学动物科学学院, 杭州 310029)

摘要 用 SB-2T 内置热敏无线电发射器、HOBO 和 TIN Y TAL K 数据记录块等电子设备研究实验室围栏内越冬眼镜蛇 (*Naja atra*) 的体温调节和低温耐受性。围栏内总平均气温 (10.6 °C) 与总平均巢温 (10.9 °C) 无显著差异, 但气温变化幅度 (-2.0~37.4 °C) 大于巢温变化幅度 (6.5~14.5 °C)。眼镜蛇体温变化幅度 (3.4~34.1 °C) 介于气温和巢温的变化幅度之间, 平均体温的个体间差异显著, 总平均体温 (15.0 °C) 大于平均气温和平均巢温。最低体温的平均值为 8.9 °C, 与经验估测的眼镜蛇低温耐受极限 (9.0 °C) 相近。白天气温高于 15 °C 时能见到巢外调温个体, 其体温记录次数约占处于此条件下的个体总体温记录次数的 29%。巢外调温个体的体温高于处于晚间和白天 15 °C 以下气温个体的体温, 亦高于处于白天 15 °C 以上气温但不进行巢外调温个体的体温。处于白天 15 °C 以下气温个体的体温低于晚间个体的体温。处于白天 15 °C 以上气温但不进行巢外调温个体的体温与处于晚间和白天 15 °C 以下气温个体的体温无显著差异。处于晚间和白天 15 °C 以下气温个体的体温与气温呈显著的正相关, 表明眼镜蛇在低温和缺乏热斑块的环境中是体温调节的顺应者。气温高于 15 °C 时, 进行巢外调温和不进行巢外调温个体的体温均与气温无关, 表明眼镜蛇在气温相对较高且具有热斑块的环境中是体温调节的调节者。将眼镜蛇持续暴露在 9 °C 以下能导致其死亡, 但短期将眼镜蛇暴露在耐受低温以下的热环境中对其无直接的致死影响。

关键词 眼镜蛇 无线电遥测 体温调节 低温耐受性

自 Cowles *et al.* (1944) 关于沙漠爬行动物热需求的开创性工作以来, 热生物学研究一直是爬行动物生态学研究的重要内容。爬行动物的体温影响其行为表现和生理功能, 极端体温对动物有害甚至能导致其死亡; 在一定范围内, 相对较高且稳定的体温有利于动物较好地表达其行为和生理功能 (Huey, 1982; Huey *et al.*, 1989; Ji *et al.*, 1993, 1996, 1997; 计翔等, 1995; Xu *et al.*, 1999; Du *et al.*, 2000)。爬行动物主要利用外热源, 通过行为调温辅以不同程度的生理调温进行体温调节。缺乏外热源, 爬行动物无法持续维持相对较高且稳定的体温。当环境温度低于一定水平时, 动物进入越冬巢穴。许多爬行动物的活动具有高度的隐蔽性, 用速读温度计测定动物泄殖腔体温等传统方法无法持续追踪研究它们的体温调节和热耐受性, 也无法准确评估体温的个体间差异 (Peterson, 1987)。最新应用电子技术的发展, 特别是热敏无线电发射器和数据记录块 (Datalogger) 技术的发展和广泛应用, 克服了传统研究方法的缺陷, 使人们能够以较少的

时间和精力投入, 获得更多、更准确的爬行动物热生物学研究数据 (Avery, 1982; Reinert, 1992; Vitt *et al.*, 1999; Plummer, 2000)。

眼镜蛇 (*Naja atra*) 隶属有鳞目眼镜蛇科, 是华东和华南习见的大型毒蛇, 分布北限约在北纬 30° (Zhao *et al.*, 1993; Wüster, 1996; Wüster *et al.*, 1997), 在浙江中部和南部为常见种, 浙北则没有野外分布记录 (Ji *et al.*, 2001), 冬季低温是阻止眼镜蛇向偏北地区分布的主要原因。本文主要探讨在实验室围栏内越冬的眼镜蛇的体温调节和低温耐受性。

1 材料和方法

研究用 11 条眼镜蛇 (♂/♀ = 8/3) 体长 (SVL, snout-vent length) 1.07 ± 0.09 (0.96 ~ 1.24) m, 于 2000 年 3 月下旬收购自浙江舟山本岛 (定海白泉), 饲养在杭州师范学院两栖爬行动物实验室。实验始于 2000 年 12 月 12 日, 至 2001 年 2 月 6 日最后一条眼镜蛇低温死亡结束。

2001-07-29 收稿, 2001-12-04 修回

* 国家自然科学基金资助项目 (No. 30070121)。

第一作者简介 计翔, 男, 38 岁, 博士, 教授。研究方向: 生理生态学与进化生物学。E-mail: xji@mail.hz.zj.cn

实验在室外围栏(长×宽×高=3.8 m×2.9 m×1.8 m)内进行。围栏周边用塑料薄膜包围,顶盖的2/3用5 mm玻璃覆盖,其余1/3用塑料瓦覆盖,使得围栏在白天光照期间具有一定的聚热性能。围栏中央有1个人工巢穴(长×宽×深=1.5 m×1.4 m×1.2 m),用水平放置的木板将其平均分隔为10层,眼镜蛇在其中能够自行选择停留的层面。

围栏顶端正中安置1只能记录温度、湿度和光照的HOBO数据记录块(Onset Computer Corp., USA)、2只250 W灯泡。灯泡光照周期为12L:12D,07:00 h开启,19:00 h关闭。用BOXCAR软件设置HOBO每间隔1.2 h记录1次数据;实验结束后,再用BOXCAR软件读出数据。人工巢穴的底部正中安置1个TINYTAL K温度数据记录块(Gemini Pty, Australia)。用GLM软件设置TINYTAL K每间隔1.2 h记录1次数据;实验结束后,再用GLM软件读出数据。

将SB-2T型内置热敏无线电信号发射器(Holohil, Canada)手术植入眼镜蛇腹腔内,植入部位在体长后1/3之体左侧,天线纵向包埋于皮下、端点指向体前端,常规缝合(Reinert, 1992)。手术前用无水乙醚将动物麻醉;手术后剪腹鳞标记动物,以便日后辨认。动物携带的发射器频率最后3位数为其代码。经5 d愈伤后,将眼镜蛇放入围栏。每日至少7次目测或根据发射器信号强弱观测巢外调温个体数,并用RAYTEK非接触红外温度计(Raynger ST™, USA)监测气温,以判定眼

镜蛇出巢调温的最低温度。

10个发射器的频率在150.020~150.135 MHz范围内,1个发射器的频率为160.013 MHz。发射器产生的脉冲信号用两台接收频率分别在150.000~150.999和160.000~160.999 MHz范围内的LA12-Q便携式接受器(AVM Instrument, USA)接收,信号间隔与动物温度呈负相关。按Holohil公司提供的各发射器脉冲间隔与标准温度之间的关系,用计算机作5次方程非线性拟合获得各发射器标准曲线(方程从略)。每日7次(06、09、12、15、18、21和24 h)用电子秒表记录各发射器80次脉冲所需要的时间,根据标准曲线,用计算机运算出动物的体温。

所有数据在作进一步统计分析前,用Kolmogorov-Smirnov和Bartlett(Statistica统计软件包)分别检验数据正态性和方差同质性,部分原始数据须经Log_e转化才能用于参数统计。用线性回归、单因子方差分析(ANOVA)、单因子协方差分析(ANCOVA)和Tukey's多重比较等处理相应的数据。描述性统计值用平均值±标准误表示,显著性水平设置为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 气温、巢底温度和体温的变化

图1显示实验期间围栏内气温和人工巢穴温度变化,图2显示11条眼镜蛇体温变化及对应的巢温变化。围栏内总平均气温为 10.6 ± 0.2 ($n =$

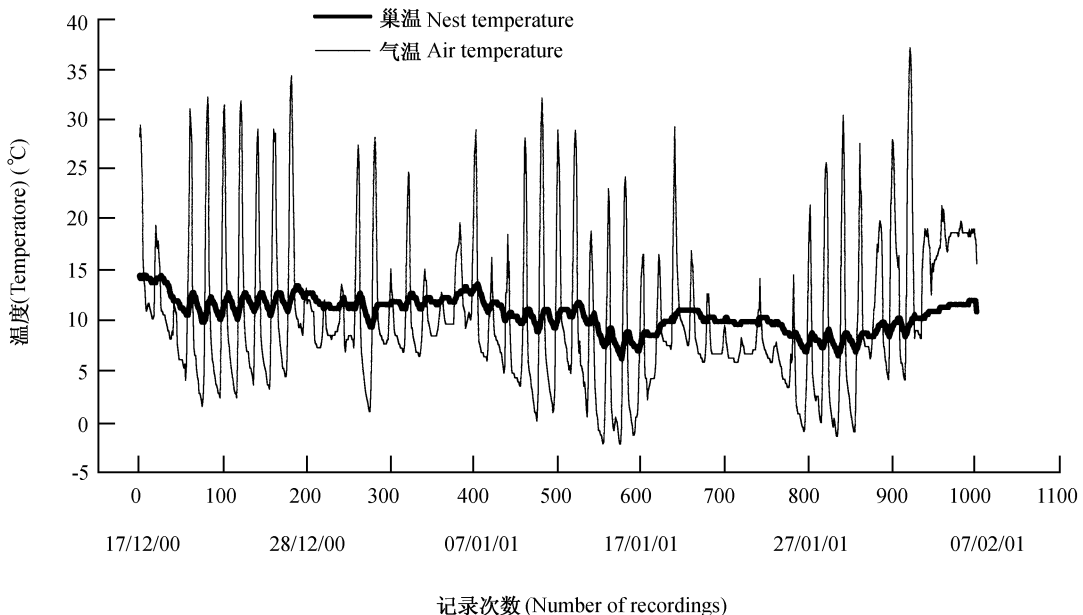


图1 气温和眼镜蛇巢温的时间变化

Fig. 1 Temporal changes in air and nest temperatures for Chinese cobras

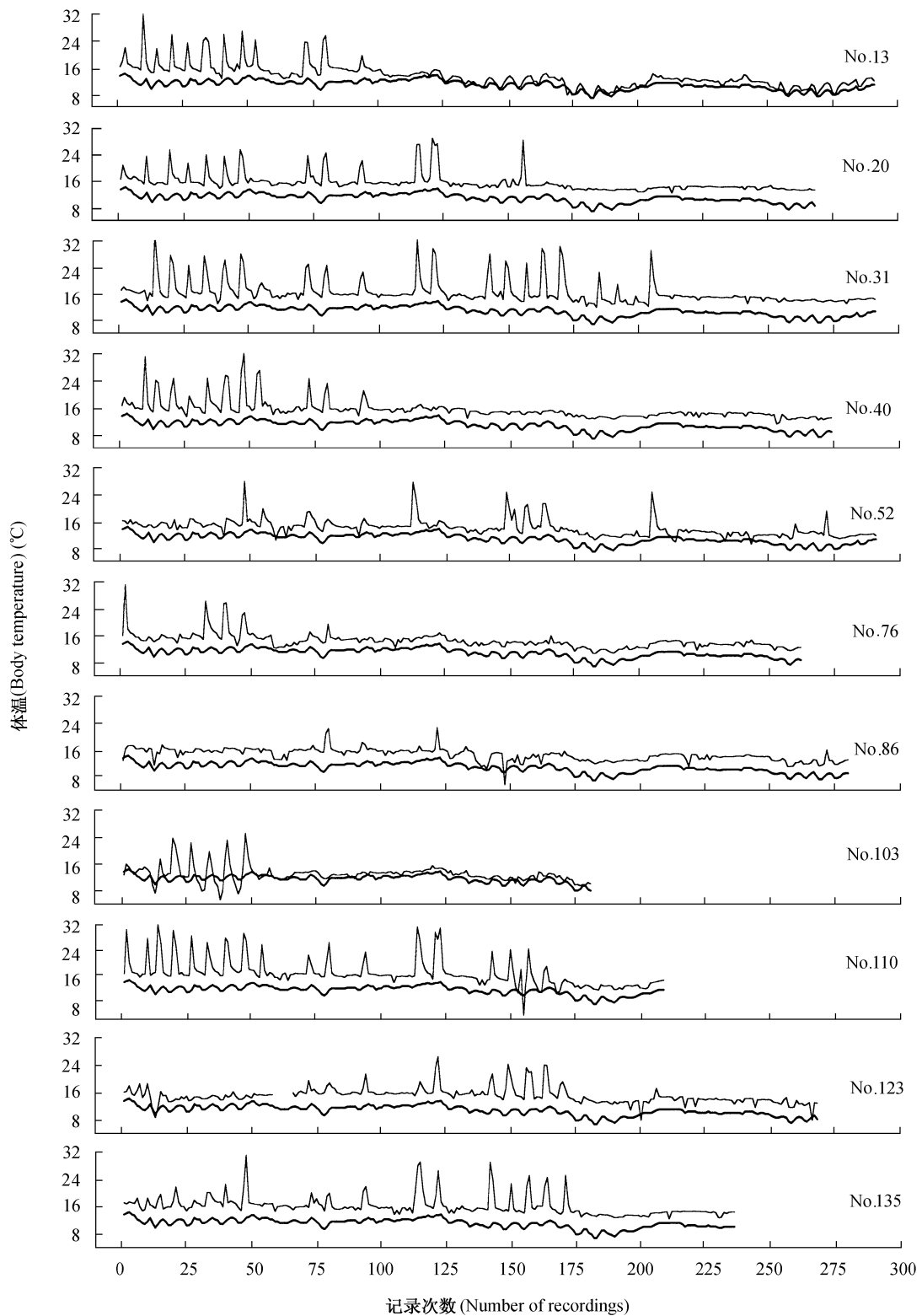


图 2 眼镜蛇体温的时间变化, 巢温的时间变化 (粗线) 为参照线
 Fig. 2 Temporal changes in body temperature of *Naja atra*, with temporal changes in nest temperature (bold lines) as a reference

1 002), 气温差为 39.4 (- 2.0 ~ 37.4)。总平均巢温为 10.9 ± 0.05 (n = 1 002), 巢温差为 8.0 (6.5 ~ 14.5)。气温变化的幅度大于巢温 (图 1), 但气温和巢温的总平均值无显著的差

异 ($F_{1,2002} = 1.28, P = 0.257$)。平均体温的个体间差异显著 ($F_{10,2833} = 38.61, P < 0.0001$)，变化幅度在 12.9 ~ 16.6 之间，总平均体温为 15.0 ± 0.4 ($n = 11$)，记录到的最高和最低体温分别为 34.1 和 3.4。就单个个体而言，110 号个体体温变化幅度 (3.4 ~ 31.8) 最大，020 号个体体温变化幅度 (12.3 ~ 28.5) 最小。最低体温的平均值为 8.9 ± 0.9 ($n = 11, 3.4 \sim 12.5$)。

2.2 调温行为及体温与气温之间的关系

晚间和白天气温低于 15 时未见巢外调温个体。白天气温高于 15 时能见到巢外调温个体，其体温记录次数 (159 次) 约占处于此条件下总体温记录次数 (551 次) 的 29%，巢外调温个体通常利用围栏内阳光辐射到的局部热斑块。巢外调温个体的最高体温为 29.4 ± 1.1 ($n = 11, 22.6 \sim 34.1$)。

晚间、白天气温低于 15 和白天气温高于 15 有巢外调温和无巢外调温个体四种情况下的平均气温有显著的差异 ($F_{3,40} = 3116.38, P < 0.0001$)，数值依次由低到高 (表 1)。处于晚间、白天气温低于 15、白天气温高于 15 进行巢外调温和不进行调温个体的平均体温有显著的差异 ($F_{3,40} = 167.69, P < 0.0001$)：巢外调温眼镜蛇的平均体温显著高于处于晚间、白天气温低于 15 和白天气温高于 15 但不进行巢外调温的个体，其余三种情况下眼镜蛇的平均体温无显著的差异 (表 1)。

晚间 ($r^2 = 0.20, F_{1,1616} = 401.00, P < 0.0001$)

和处于白天 15 以下气温 ($r^2 = 0.05, F_{1,645} = 34.22, P < 0.0001$) 眼镜蛇的体温与气温呈显著正相关，前者体温与气温的线性回归斜率显著大于后者 (ANCOVA, $F_{1,2261} = 4.93, P = 0.026$) (图 3)。气温高于 15 时，巢外调温 ($r^2 = 0.005, F_{1,157} = 0.82, P = 0.367$) 和不进行巢外调温 ($r^2 = 0.006, F_{1,390} = 2.45, P = 0.118$) 个体的体温与气温无关。

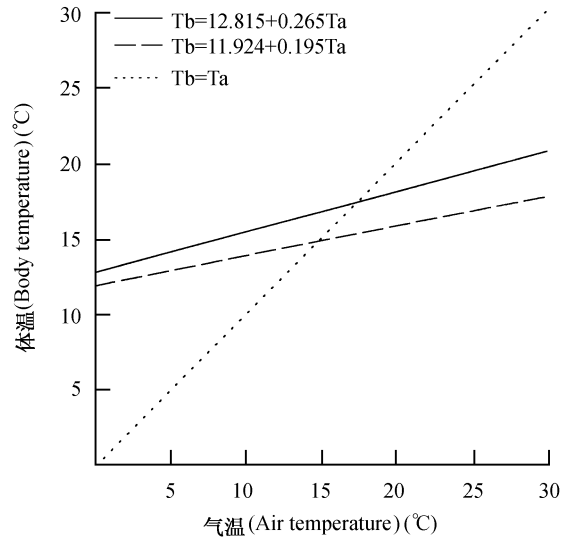


图 3 眼镜蛇体温与气温之间的线性回归

Fig.3 Linear regression of Chinese cobra body temperature and air temperature

实线代表晚间眼镜蛇,虚线代表处于白天 15 以下气温眼镜蛇
The solid line indicates body temperature recorded at night, and the dashed line temperatures recorded in daytime when the air temperatures was lower than 15

表 1 眼镜蛇体温 (n = 11) 和围栏内平均气温
Table 1 Mean body temperatures of cobras (n = 11) and mean air temperatures in the enclosure

	体温 () Body temperature	气温 () Air temperature
夜间温度 (Night temperature)	14.5 ^b ± 0.3 (12.6 ~ 15.5)	6.5 ^d ± 0.06 (6.3 ~ 6.9)
白天低于 15 (Daytime temperature lower than 15)	14.0 ^b ± 0.3 (12.2 ~ 15.3)	10.9 ^c ± 0.1 (10.7 ~ 11.8)
白天高于 15 不进行巢外调温 (Daytime temperature higher than 15 , without out-nest thermoregulation)	14.4 ^b ± 0.2 (12.9 ~ 15.3)	20.8 ^b ± 0.3 (19.6 ~ 22.7)
白天高于 15 进行巢外调温 (Daytime temperature higher than 15 , with out-nest thermoregulation)	24.0 ^a ± 0.4 (22.0 ~ 26.0)	23.5 ^a ± 0.2 (22.3 ~ 24.9)

上标不同的平均值差异显著 (Tukey's test, = 0.05) [Means with different superscripts differ significantly (Tukey's test, = 0.05)]

2.3 低温耐受性

眼镜蛇最低体温为 8.9 ± 0.9 ($n = 11, 3.4 \sim 12.5$), 低于巢温平均值 (10.9)。除 086 号、103 号和 110 号眼镜蛇的最低体温曾经低于最低巢温 (6.5) 外, 其它个体的最低体温均高于最低巢温。所有个体均曾经历平均最低体温以下的巢内外热环境 (图 2), 但短期将眼镜蛇暴露在耐受低温以下的温度不会导致其死亡。持续将眼镜蛇暴露在 9 以下的热环境中能导致其死亡。

3 讨 论

围栏内气温变化幅度较大主要与 3 个因素有关: (1) 围栏内缺乏有效的隔热装置; (2) 白天阳光辐射导致围栏内聚热而大幅度升温; (3) 缺乏阳光的晚上和阴雨天围栏外环境温度较低导致围栏迅速失热。巢温能够维持相对稳定, 与巢内水平铺放的 10 层木板具有一定的隔热和保温作用有关。气温平均值 (10.6) 与巢温平均值 (10.9) 十分相近, 表明实验室人工巢穴的平均温度最终将与气温平均值吻合, 气温平均值持续下降或升高时, 巢温平均值也将缓慢地递减或递增。由实验室研究结果可以推论: (1) 野外越冬的眼镜蛇须在具有一定深度、隔热性能较好或较少受气温影响的巢穴内才能安全越冬; (2) 眼镜蛇不能分布到冬季平均气温较低且足以导致越冬巢内温度低于该种耐受温度下限的地区。

围栏内气温低于 15 时无眼镜蛇出巢活动记录, 这与低温环境中缺乏温暖的热斑块有关。白天围栏内气温高于 15 并具有体温调节所必需的外热源 (阳光) 条件下, 眼镜蛇会出巢进行体温调节, 使平均体温达到 24.0 、平均最高体温高达 29.4 。实验室围栏内越冬眼镜蛇出巢活动的最低温度高于野外眼镜蛇出巢活动的最低温度 (12) (黄美华, 1990), 这一差异的决定因素待进一步研究。出巢眼镜蛇的体温记录次数约占白天 15 以上气温下个体的总体温记录次数的 29% , 表明不到 $1/3$ 的个体在此热环境下出巢活动并进行体温调节。这一结果可能与眼镜蛇处于接近 15 的热环境中出巢率较低, 以及阴雨天围栏内缺乏热斑块等因素有关。根据实验室观察, 冬季围栏内眼镜蛇出巢活动和体温调节有聚群习性, 这种习性可能与动物冬季体温调节所需的外热源呈斑块状分布有关。此外, 这种聚群习性还有利于减少出巢眼镜蛇的热量散失。

白天围栏内气温高于 15 时, 进行巢外调温和不进行巢外调温的眼镜蛇体温均与气温无关。眼镜蛇的体温变化独立于气温变化, 与动物在巢内外的调温行为有关。巢外调温个体显然利用阳光辐射期间围栏内的热斑块进行体温调节, 使得这些个体的总平均体温大于巢内个体 (表 1)。巢内个体的最高平均体温大于最高巢温 (14.5), 与所记录的个体通常不在聚群的边缘位置或留置于板下局部热斑块有关。巢内个体若不聚群或处于聚群个体的边缘位置, 其体温直接受当时巢温的影响。

越冬眼镜蛇通常在白天围栏内气温较高且具有局部热斑块的时间段内出巢调温, 此时巢外温度明显高于巢内温度 (表 1)。因此, 巢外调温个体平均体温较高的结果是可以被预见的。处于夜间以及白天 15 以下或 15 以上气温但不进行巢外调温的眼镜蛇的平均体温差异较小, 仅在 0.5 ($14.0 \sim 14.5$) 范围内, 讨论这些平均值之间的细微差异并无特别重要的意义, 因为热环境的细微差异足以导致眼镜蛇体温的相应差异。然而, 巢内个体在不同时间、不同气温条件下的体温如此接近可能是一个重要的发现, 这可能暗示越冬眼镜蛇试图通过巢址选择和体温调节等恰当的行为将其越冬体温大致维持在这一水平, 以确保安全越冬。人工越冬巢穴的平均温度仅为 10.9 、最高温度不超过 14.5 (表 1), 但巢内不同层次的温度在不同的时间、气温和天气条件下有一定程度的差异。例如, 晚间和阴雨天巢浅层的温度必然受气温的显著影响, 而白天阳光辐射到的部分则具有局部温暖热斑块。因此, 聚群以减少热量散失、层间移行以利用巢内热斑块可能是巢内眼镜蛇能维持 14 以上平均体温的重要行为途径。由于冬季围栏内气温波动幅度较大, 巢内不同层次的温度亦有一定幅度的变化, 眼镜蛇通过出巢调温和层间移行分别利用巢外和巢内热斑块以及聚群保热, 对于其度过不利的低温环境并使巢内个体维持一定的体温水平具有重要作用。

晚间和白天气温低于 15 条件下, 巢内眼镜蛇体温与气温呈显著的正相关, 这一结果表明: (1) 在低温和缺乏热斑块的条件下, 眼镜蛇是体温调节的顺应者, 其体温能随环境温度的变化而发生显著的变化; (2) 将眼镜蛇暴露在温度持续递减的热环境中将导致体温的持续下降, 直至动物低温致死。晚间个体体温与气温的回归斜率大于处于白天低于 15 气温下个体体温与气温的回归斜率, 表明气温对晚间个体体温变化的影响更为显著。

实验室围栏内越冬眼镜蛇最低体温的平均值为 8.9℃, 最低体温的个体差异范围在 3.4~12.5℃ 之间。这一结果表明: (1) 眼镜蛇低温耐受性有显著的个体间差异; (2) 短期低体温对眼镜蛇无致死影响; (3) 将眼镜蛇体温持续维持在 9℃ 水平至少能导致约 1/2 个体死亡。由于爬行动物的热耐受性受许多内在和外在的因素影响 (Hutchison, 1976; Ji *et al.*, 1996, 1997; Xu *et al.*, 1999; Du *et al.*, 2000), 眼镜蛇低温耐受性存在个体差异的结果是可以被预见的。即便是处于爬行动物生活史上最脆弱阶段的胚胎也能短期耐受极限低温 (Sexton *et al.*, 1974; Andrews *et al.*, 1994, 1997; Shine *et al.*, 1996; Ji *et al.*, 2001), 但长期将眼镜蛇暴露在低温耐受极限的热环境中不能确保其越冬的安全性, 持续地将眼镜蛇暴露在各自的最低体温水平以下的热环境中必然导致动物死亡。因此, 巢内眼镜蛇将平均体温维持在 14.0~14.5℃ 具有重要的生态意义, 能够确保所有个体安全越冬。

本研究中, 最后一条眼镜蛇低温致死的时间是 2月6日。1月25日~2月6日的平均巢温为 9.0℃, 最低温度 7.3℃, 最高温度 10.6℃, 其中约

有 70% 的时间巢温在 9.0℃ 以下 (图 1)。1月25日前的平均巢温为 11.2℃, 最低温度 6.9℃, 最高温度 14.5℃, 9.0℃ 以下的温度仅在个别时间出现 (图 1)。这些结果进一步表明持续地将动物暴露在 9.0℃ 以下的低温环境中导致其死亡, 短期将动物暴露在 9.0℃ 以下的体温对其无致死影响。眼镜蛇不能长期耐受 9.0℃ 以下的温度, 与经验估测的该种动物最低耐受温度 (9℃) 相吻合 (黄美华, 1990)。

根据本项研究提供的数据可以判断: (1) 眼镜蛇不能分布到纬度较高的地区与该种较低的低温耐受能力有关; (2) 高纬度 (北方) 地区冬季的平均温度低于低纬度 (南方) 地区的冬季平均温度, 北方冬季的低温环境能强烈地限制眼镜蛇在这些地区的分布。

致谢 杜珏卿帮助植入发射器, 沈刚、孙艳和周岚等同学帮助接收信号, 澳大利亚悉尼大学 Richard Shine 教授介绍部分实验细节并提供文献支持。我们对他们提供的帮助表示感谢。

参 考 文 献 (References)

- Andrews, R. M., C. P. Qualls and B. R. Rose 1997 Effects of low temperature on embryonic development of *Sceloporus* lizards. *Copeia* **1997**: 827~833.
- Andrews, R. M. and B. R. Rose 1994 Evolution of viviparity: constraints on egg retention. *Physiol. Zool.* **67**: 1 006~1 024.
- Avery, R. A. 1982 Field studies of body temperature and thermoregulation. In: Gans, C. and F. H. Pough ed. *Biology of the Reptilia* Vol. 12. New York: Academic Press, 93~116.
- Cowles, R. B. and C. M. Bogert 1944 A preliminary study of the thermal requirements of desert reptiles. *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.* **82**: 265~296.
- Du, W. G., S. J. Yan and X. Ji 2000 Selected body temperature, thermal tolerance and thermal dependence of food assimilation and locomotor performance in adult blue-tailed skinks, *Eumeces elegans*. *J. Therm. Biol.* **25**: 197~202.
- Huang, M. H. 1990 Elapidae. In: Huang, M. H., Y. L. Jin and C. M. Cai ed. *Fauna of Zhejiang: Amphibia and Reptilia*. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Publishing House, 245~257. [黄美华 1990 眼镜蛇科. 见: 黄美华, 金胎郎, 蔡春抹主编. 浙江动物志两栖爬行动物分册. 杭州: 浙江科学技术出版社, 245~257.]
- Huey, R. B. 1982 Temperature, physiology, and the ecology of reptiles. In: Gans, C. and F. H. Pough ed. *Biology of the Reptilia* Vol. 12. New York: Academic Press, 25~91.
- Huey, R. B. and J. G. Kingsolver 1989 Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance. *Trends Ecol. Evol.* **4**: 131~135.
- Hutchison, V. H. 1976 Factors influencing thermal tolerances of individual organisms. In: Esch, G. W. and R. W. McFarlane ed. *Thermal Ecology* 11. Proc. 2nd SREL Thermal Ecology Symposium. Oak Ridge: U. S. National Technical Information Service. 10~26.
- Ji, X. and W. G. Du 2001 The effects of thermal and hydric conditions on incubating eggs and hatchling traits in the cobra, *Naja naja atra*. *J. Herpetol.* **35**: 186~194.
- Ji, X., W. G. Du and P. Y. Sun 1996 Body temperature, thermal tolerance and influence of temperature on sprint speed and food assimilation in adult grass lizards, *Takydromus septentrionalis*. *J. Therm. Biol.* **21**: 155~161.
- Ji, X., P. Y. Sun and W. G. Du 1997 Selected body temperature, thermal tolerance and food assimilation in a viviparous skink, *Sphenomorphus indicus*. *Neth. J. Zool.* **47**: 103~110.
- Ji, X., X. Z. Zheng, Y. G. Xu and R. M. Sun 1995 Some aspects of thermal biology of the skink *Eumeces chinensis*. *Acta Zool. Sin.* **41**: 268~274. [计翔, 郑向忠, 徐永根, 孙如明 1995 中国石龙子热生物学的研究. *动物学报* **41**: 268~274.]

- Ji, X., W. H. Zhou, G. B. He and H. Q. Gu 1993 Food intake, assimilation efficiency and growth in juvenile lizards, *Takydromus septentrionalis*. *Comp. Biochem. Physiol.* **105A**: 283 ~ 285.
- Peterson, C. R. 1987 Daily variation in the body temperatures of free-ranging garter snakes. *Ecology* **68**: 160 ~ 169.
- Plummer, M. V. 2000 Ecological aspects of shedding in free-ranging hognose snakes (*Heterodon platirhinos*). *Herpetol. Nat. His.* **7**: 91 ~ 94.
- Reinert, H. K. 1992 Radiotelemetric field studies of pitvipers: data acquisition and analysis. In: Campbell, J. A. and E. D. Brodie, Jr ed. *Biology of the Pitvipers*. Tyler: Selva, 185 ~ 197.
- Sexton, O. J. and K. R. Marion 1974 Duration of incubation of *Sceloporus undulatus* eggs at constant temperature. *Physiol. Zool.* **47**: 91 ~ 98.
- Shine, R. and P. S. Harlow 1996 Maternal manipulation of offspring phenotypes via nest-site selection in an oviparous lizard. *Ecology* **77**: 1 808 ~ 1 817.
- Vitt, L. J. and S. S. Sartorius 1999 HOBOs, Tidbits and lizard models: the utility of electronic devices in the field studies of ectotherm thermoregulation. *Func. Ecol.* **13**: 670 ~ 674.
- Wüster, W. 1996 Taxonomic changes and toxinology: systematic revisions of the Asiatic cobras (*Naja naja* species complex). *Toxicon.* **34**: 399 ~ 406.
- Wüster, W., P. Golay and D. A. Warrell 1997 Synopsis of recent development in venomous snake systematics. *Toxicon.* **35**: 319 ~ 340.
- Xu, X. F., Q. Zhao and X. Ji 1999 Selected body temperature, thermal tolerance and influence of temperature on food assimilation in juvenile Chinese skinks, *Eumeces chinensis* (Scincidae). *Raff. Bull. Zool.* **47**: 465 ~ 471.
- Zhao, E. M. and K. Adler 1993 *Herpetology of China*. Ohio: Society of the Study of Amphibians and Reptiles, USA: 521.

外 文 摘 要 (Abstract)

RADIOTELEMETRY OF THERMOREGULATION AND THERMAL TOLERANCE ON CHINESE COBRAS (*NAJA ATRA*) OVERWINTERING IN A LABORATORY ENCLOSURE*

JI Xiang CHEN Hui-Li DU Wei-Guo ZHU Bing-Quan

(School of Life Sciences, Hangzhou Normal College, Hangzhou 310036, China)

(School of Animal Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

We used commercially available electronic temperature recording devices, temperature-sensitive radiotransmitters (Holohil, SB-2T) and HOBO and TINYTALK dataloggers with an internal temperature sensor, to study thermoregulation and thermal tolerance in adult Chinese cobras (*Naja atra*) overwintering in an enclosure built in our laboratory. After being implanted with radiotransmitters according to procedures outlined by Reinert (1992), cobras were released into the enclosure. We received signals (pulses) from each radiotransmitter at 3-hour intervals from 06:00 to 24:00 h, and visually checked the number of individuals thermoregulating outside the nest during the day. Air and nest temperatures were automatically recorded at 1.2-hour intervals over a 24-hour period, using HOBO and TINYTALK dataloggers, respectively. The overall mean air temperature in the enclosure did not differ from the overall mean nest temperature, but air temperatures varied over a much wider range (-2.0 to 37.4 °C) than nest temperatures (6.5 to 14.5 °C). Body temperatures varied from 3.4 to 34.1 °C, a wider range than that of nest temperatures but narrower than that of air temperatures. The mean body temperature differed among individuals, with the overall mean body temperature (15.0 °C) being higher than the overall mean air and nest temperatures. The mean lowest body temperature was 8.9 °C, which was similar to the empirically estimated lower limit (9 °C) of thermal tolerance for the species. Cobras could thermoregulate outside the nest using available warm spots in the enclosure during daytime when air temperatures were higher than 15 °C. Recordings of body temperature for these individuals accounted for approximately 29 %

* This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 30070121)

of the total recordings for all individuals under the same conditions. Cobras thermoregulating outside the nest maintained higher body temperatures than did individuals inside the nest both at night and during the day when air temperatures were either lower or higher than 15 °C. During the day when air temperatures were lower than 15 °C cobras maintained lower body temperatures than at night. Cobras that did not thermoregulate outside the nest when daytime air temperatures were higher than 15 °C maintained almost the same body temperatures as at night and during the day when air temperatures were lower than 15 °C. Body temperature was positively correlated with air temperature when temperatures were lower than 15 °C, but varied independently with air temperature during the day when air temperatures were higher than 15 °C. The results imply that this species can be a thermo-conformer at low temperatures without warm spots for thermoregulation but a thermo-regulator at relatively high temperatures with warm spots. A prolonged exposure of cobras to temperatures lower than 9 °C was lethal, but a brief exposure of cobras to the temperatures lower than their lower limits of thermal tolerance does not necessarily increase the mortality of animals.

Key words Chinese cobra (*Naja atra*), Radiotelemetry, Thermoregulation, Thermal tolerance