

人工饲养条件下扬子鳄的行为体温调节

王 华^① 王正寰^① 王震伟^② 巩晋楠^① 王小明^{①*}

(^①华东师范大学生命科学学院 上海 200062; ^②浙江长兴扬子鳄自然繁育中心 湖州 303100)

摘要: 2005年6~9月,采用扫描取样法在浙江省长兴扬子鳄自然繁育中心,对人工繁殖的成年扬子鳄(*Alligator sinensis*)行为的发生频率和活动规律进行了研究,并对其行为体温调节进行了分析。结果表明,扬子鳄日常活动行为主要包括巡游、头出水、头背出水、贴地闭嘴趴伏、张嘴趴伏和抬头闭嘴趴伏6种行为。扬子鳄在水中活动更多,占62.1%,头出水是最主要的行为状态,占52.3%,而张嘴的频次最少,占1.8%。扬子鳄表现出有规律的水陆活动,6:00~8:00和18:00~20:00时分别是一天中扬子鳄大量入水和上岸的时段。水温和气温的差异是影响扬子鳄水陆活动的最重要因素。根据扬子鳄的水陆活动规律,发现扬子鳄主动选择不超过(31±1)℃的热环境。

关键词: 扬子鳄; 温度调节; 行为

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2006)06-60-07

Study on Behavioral Thermoregulation of Chinese Alligator under Artificial Feeding Condition

WANG Hua^① WANG Zheng-Huan^① WANG Zhen-Wei^② GONG Jin-Nan^① WANG Xiao-Ming^①

(^① Department of Biology, East China Normal University, Shanghai 200062;

^② Zhejiang Changxing Natural Breeding Research Center for Chinese Alligator, Huzhou Zhejiang 303100, China)

Abstract: The behavioral thermoregulation of adult Chinese Alligators (*Alligator sinensis*), in Zhejiang Changxing Natural Breeding Research Center for Chinese Alligator, was studied from June to September 2005, recorded by instantaneous and scan sampling methods. We established a behavior coding based on its daily activity, including swimming, head out of the water, head and back out of the water, creeping and lowering its head with mouth closed, gaping, creeping and raising its head with mouth closed. Alligators spent more time in water (62.1%), head out of the water was the most behavior (52.3%), and gaping was the least behavior (1.8%). The alligators performed regular activities between water and land, most of them entered water in 6:00~8:00 and out in 18:00~20:00, the most important factor influencing the activities between in water and on the land might be the temperature difference between water and air. Chinese Alligator chose the environmental temperature not exceed 31±1℃.

Key words: Chinese Alligator; Thermoregulation; Behavior

爬行动物主要依靠外界环境来调节自身的体温。保持适度而稳定的体温对于爬行动物维持正常的生理机能起着十分重要的作用^[1]。鳄类作为爬行动物中体型较大的物种,通常利用水陆之间的活动行为来实现有效的体温调节^[2]。研究已表明,这种体温的行为调节方式是鳄类能够成功生存至今的重要生态学特

征^[3~6]。

扬子鳄(*Alligator sinensis*)是我国特有的濒

基金项目 教育部跨世纪优秀人才培养计划;

* 通讯作者, E-mail: xmwang@ecnu.edu.cn;

第一作者介绍 王华,男,硕士研究生,主要从事动物生态学研究, E-mail: xinmayi@yahoo.com.cn.

收稿日期 2006-06-22, 修回日期 2006-09-04

危物种。其野外种群数量过少和栖息地的极度丧失,导致了该物种处于濒危状态,长此以往,野生种群将难以逃脱灭绝的危险^[7]。野生栖息地的恢复以及通过野放人工饲养扬子鳄的方法,已经成为野生鳄种群复壮、扬子鳄物种保护的关键措施和研究热点^[8,9]。由于扬子鳄对水环境有高度的依赖性,并能够通过水环境来进行体温调节^[10,11],因此,充分了解扬子鳄对水环境的行为适应方式,对于扬子鳄物种保护和栖息地重建都有非常重要的指导意义。遗憾的是,到目前为止,对扬子鳄的行为生态学研究,特别是其行为与体温调节的关系的研究相当匮乏^[12]。因此,为了深入了解扬子鳄利用水环境进行行为体温调节的机制,我们对半圈养条件下扬子鳄的活动行为规律进行了研究,对其体温调节模式与水环境的关系进行了分析,为进一步探讨扬子鳄的进化适应机制以及栖息地重建中环境要素的配置提供基础资料。

1 研究地点与方法

1.1 研究地点 观察区域位于浙江省长兴县中国扬子鳄自然繁育中心,面积约 0.6 hm² 的

池塘。池中共有 60 条扬子鳄,均为 13~14 龄的成年个体,根据环境温度人工投食,食物为鱼,每周约 1~2 次。池塘模拟自然环境营造,周围被围栏围住,中心有小岛。水边设有泥土坡岸,完全能够保证扬子鳄打洞和上岸晒阳等活动的需要。整个池塘的观察视野良好,可以保证观察者对整个池塘情况的把握。

1.2 研究方法 2005 年 6 月 16~20 日为预观察期,熟悉和掌握扬子鳄的行为和活动规律,并构建了扬子鳄的行为谱(表 1)。在 2005 年 7 月 20 日~9 月 30 日之间,采用扫描取样法^[13],记录可见的扬子鳄数量(包括上岸个体数量和水面个体数量),每个体的行为,同时记录水温 and 气温。研究期间日出发生在 4:30~5:30 时之间,日落发生在 18:30~19:30 时之间。每个工作日 6:00~20:00 时作为昼间数据,20:00 至次日 6:00 时作为夜间数据,每隔 2 h 对池塘进行观察,每次观察约需 30~40 min。当有游客时取消观察以避免人为干扰。昼间观察使用 8×42 双筒望远镜,夜间观察使用主动红外夜视仪记录数量及辨别行为状态。

表 1 扬子鳄的日常活动行为谱

Table 1 Daily activity behavior coding of Chinese Alligator

行为名称 Behavior	定义描述 Description
巡游 Swimming	在水中慢速游动,四肢靠近身体,不做运动,靠摆动尾部向前,头部及背部露出水面,尾部随着摆动时隐时现,全身姿势呈流线型。
头出水 Head out of the water	只有头部露出水面,身体其他部分浸入水中。
头背出水 Head and back out of the water	身体笔直浮于水上,只有头部和背部露出水面。
贴地闭嘴趴伏 Creeping and lowering its head with closed mouth	趴在陆地上,紧贴地面,双颞紧闭,眼或张或闭,四肢放松,掌心通常朝天。
张嘴趴伏 Gaping	全身贴地,头部一般抬起,双颞打开,下颞打开约数十秒或更长时间后合上,再张开,如此重复。
抬头闭嘴趴伏 Creeping and rising its head with closed mouth	全身贴地,但头部抬起,做观望状。

1.3 数据分析 首先统计各种行为的总频次,计算整个观察期间各个行为的频次百分比,然后对每 2 h 的数据进行统计,计算个别行为的昼夜频次百分比。数据分析使用 SPSS 10.0。参数统计方法为配对样本的 *t*-检验法(Kolmogorov-Smirnov 检验相关数据符合正态分

布);用于检验相邻时间段可见扬子鳄个体数或上岸个体数是否差异显著;单因素方差分析:用于检验夜间各时段间可见扬子鳄数量是否差异显著; Spearman 非参数相关分析:用于检验环境温度与可见扬子鳄数量的相关性。

2 结果

2.1 扬子鳄的行为谱 根据预观察的结果,结合 Fish^[14]对密河鳄(*A. mississippiensis*)的行为分类方法,构建了扬子鳄的行为谱(表1),此行为谱不包括取食、吼叫等行为。

2.2 扬子鳄6种行为的时间分配 186次的观察结果表明(图1),在整个观察期间,头出水(52.3%)是扬子鳄最主要的行为状态,其次是在岸上的贴地闭嘴趴伏行为(16.1%)和抬头闭嘴趴伏行为(19.1%),巡游行为更少,占8.1%,头背出水(2.7%)和张嘴行为(1.8%)频次最少。由于在岸上的行为发生频次(贴地闭嘴趴伏频次+抬头闭嘴趴伏频次+张嘴趴伏频次)只占37.9%,很显然,扬子鳄在水中活动更多。

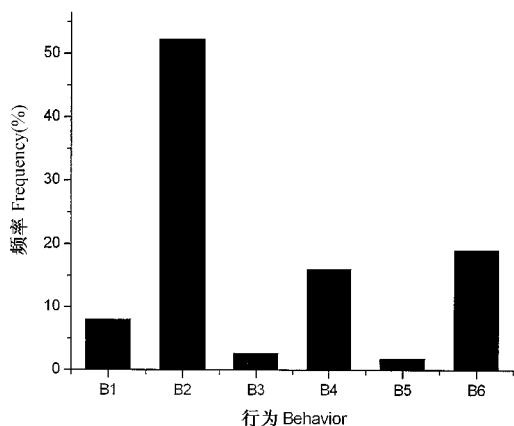


图1 扬子鳄的6种行为频率

Fig.1 Frequency of six behaviors of Chinese Alligator

B1 巡游; B2 头出水; B3 头背出水; B4 贴地闭嘴趴伏;

B5 张嘴趴伏; B6 抬头闭嘴趴伏。

B1 Swimming; B2 Head out of the water;

B3 Head and back out of the water;

B4 Creeping and lowering its head with closed mouth;

B5 Gaping; B6 Creeping and rising its head with closed mouth.

对扬子鳄6种昼夜行为频率观察显示(图2),扬子鳄白天(50.2%±10.3%)巡游并不比夜间少,在白天巡游行为发生频次中,6:00~8:00和18:00~20:00时约占一半(52.5%±7.8%),18:00~20:00时是一天中扬子鳄巡游最多的时段,占16.0%±2.2%。扬子鳄巡游时,多是寻找适合的小生境,游动十几米后停

下。一天中,扬子鳄12:00~18:00时头出水较少,仅占12.5%±2.7%,该时段扬子鳄一般已潜入水中,18:00~20:00时扬子鳄头出水也较少(4.0%±0.3%),该时段扬子鳄大量上岸活动。头背出水行为昼夜均能观察到,6:00~8:00时段观察到头背出水频次最多,占23.8%±6.7%。贴地闭嘴趴伏和抬头闭嘴趴伏的行为频率基本相似,一天中做出该行为最多的都出现在18:00~20:00时段,分别占19.2%±2.4%和18.3%±2.3%。张嘴趴伏行为只在白天(8:00~20:00时)能观察到,一天中最倾向于张嘴趴伏的时段是16:00~20:00时,占一天中总张嘴趴伏频次的81.1%±46.1%。

2.3 扬子鳄的昼夜活动规律 对环境温度与可见扬子鳄个体数的相关性检验显示,可见扬子鳄个体数与水温($r = -0.369, P < 0.01$)和气温($r = -0.587, P < 0.01$)都呈负相关。

昼间的可见扬子鳄数量变化曲线呈现明显的凹形(图3),扬子鳄一般白天潜入水中,日落后才大量浮出水面或上岸活动。日出后,随着日照的加强,温度升高,6:00时后,扬子鳄一般开始大量入水,可见扬子鳄数量也开始下降。到8:00~10:00时段,绝大部分(85.7%±2.9%)扬子鳄已入水,至12:00~14:00时段可见扬子鳄数量最少(由于大部分个体在潜水而未观察到),一天中气温最高(35.6±0.67)°C的12:00~14:00时段往往只能看到1~2个个体,且都是浮出换气的个体。随后,气温下降,水温则在16:00~18:00时最高,从16:00开始可见扬子鳄大量增加。扬子鳄一般在16:00~18:00时之间开始上岸,而大部分扬子鳄上岸发生在18:00后,18:00~20:00时段,上岸的个体数占可见个体数67.8%±6.2%。夜间20:00~22:00时是一天中可见扬子鳄数量最多的时段,此后,尽管水温、气温进一步下降,但可见扬子鳄数量变化不大。对18:00至次日6:00时各个时段(18:00~20:00,20:00~22:00,22:00~0:00,0:00~2:00,2:00~4:00,4:00~6:00)观察到可见扬子鳄的数量变化进行单因素方差分析(test of homogeneity of variances)检验样

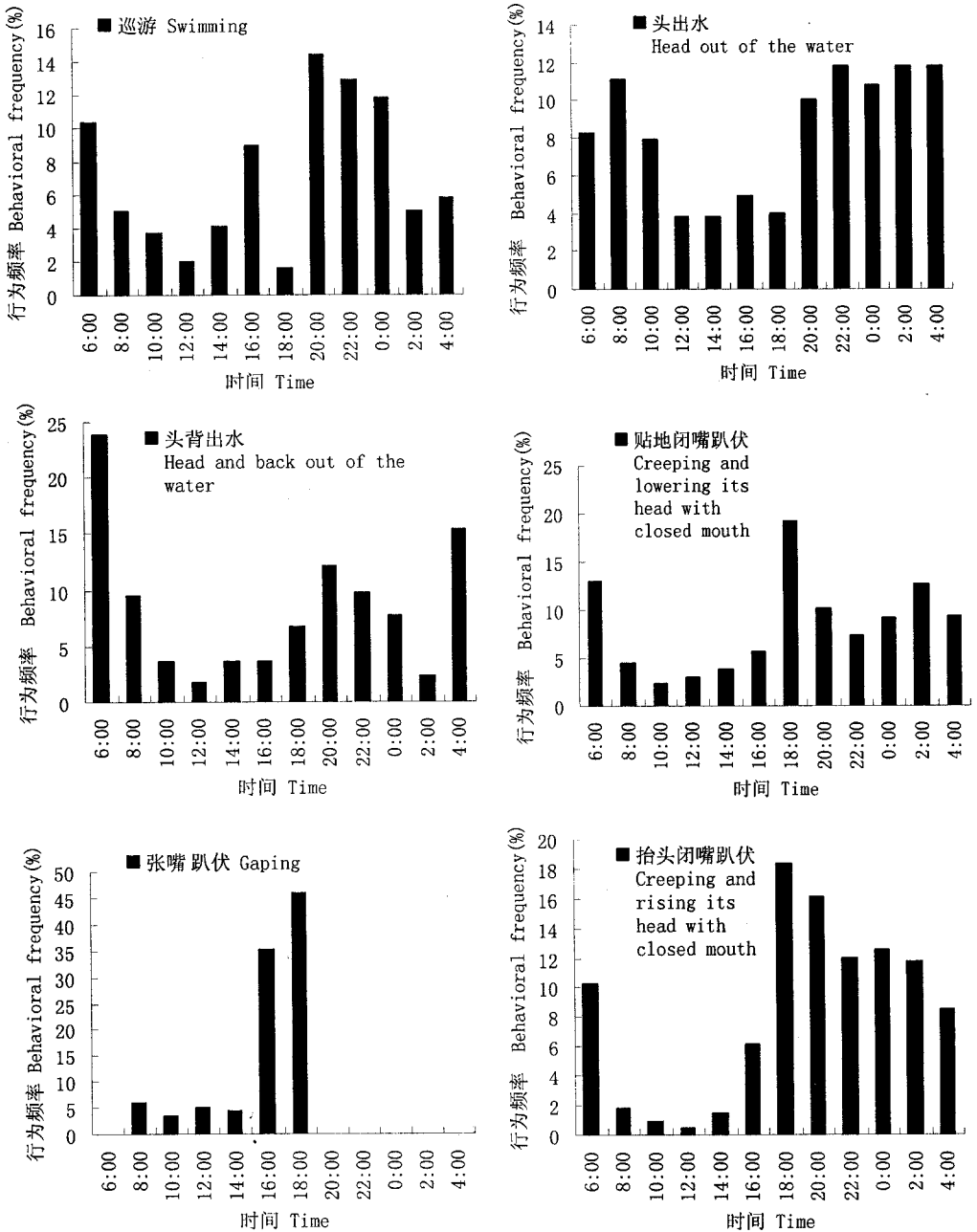


图2 扬子鳄的6种昼夜行为频率

Fig. 2 Daily frequency of six behaviors of Chinese Alligator

本群方差齐次性, Levene statistic = 1.619, $P > 0.05$ 表明样本群方差相等; 多重比较方法为 LSD) 表明, 18:00 时至次日 4:00 时之间的可见扬子鳄数量变化无显著差异 ($F = 0.848$, $df = 5$, $P > 0.05$).

3 讨论

鳄类的体温调节是靠身体与水陆环境的热交换来实现的^[3]。Fish 等^[14]指出, 鳄类入水后能够表现出不同的行为姿势来进行体温调节, 相对陆生环境, 水环境作为一种高效而稳定的

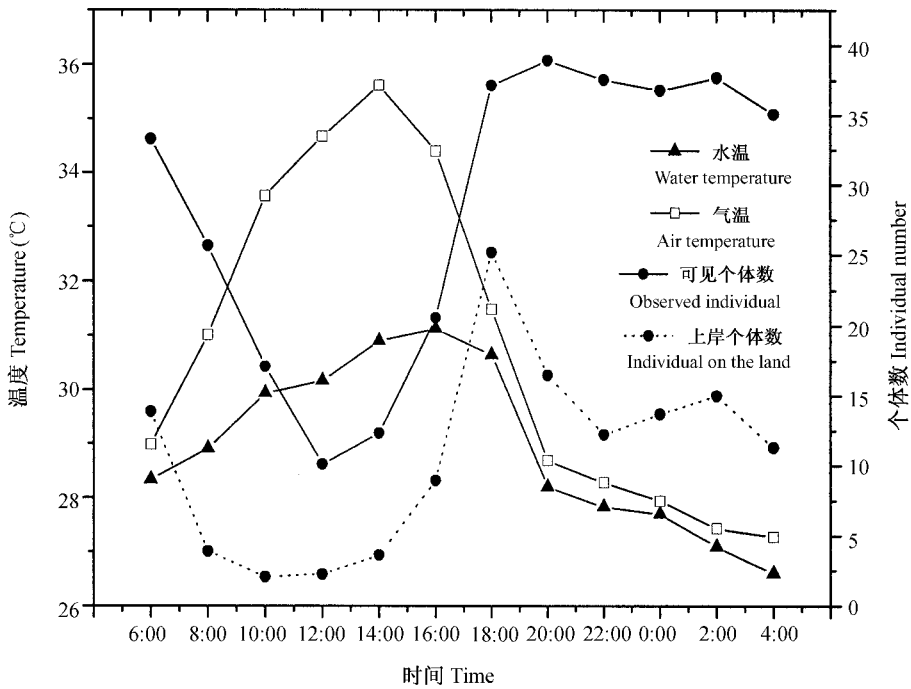


图 3 扬子鳄的昼夜平均数量变化和平均温度变化

Fig.3 Quantitative change of observed Chinese Alligator and average temperatures

表 2 特定时间观察到扬子鳄的昼夜平均数量变化和平均温度变化

Table 2 Quantitative change of observed Chinese Alligator and average temperatures in special time

时间 Time	水温 (± SD) Water temperature (°C)	气温 (± SD) Air temperature (°C)	可见个体数量 (± SD) Observed alligator (n)	上岸个体数量 (± SD) Alligator on the land (n)	上岸个体数/ 可见个体数 (± SD)% Observed alligator/ Alligator on the land (n)	样本大小 Sample size (n)
6:00~8:00	28.3±0.5	29.0±0.6	33.3±1.3	13.9±2.1	39.7±5.4	17
8:00~10:00	28.9±0.6	31.0±0.7	25.7±1.2	3.9±1.0	14.3±2.9	17
<i>t</i>			5.210**	3.972**		
16:00~18:00	31.1±0.5	34.4±0.8	20.6±2.6	8.9±1.8	42.3±5.5	
18:00~20:00	30.6±0.6	31.5±0.7	37.1±0.9	25.2±2.5	67.8±6.2	17
<i>t</i>			-0.561**	-4.349**		

**P < 0.01

热环境对于鳄类保持稳定的体温意义重大,因此水环境对扬子鳄的体温调节至关重要。在研究期间,平均气温高达(31.1±0.3)°C,极端气温高达39.8°C,而水温波动范围在(26.6±0.7)~(31.1±0.5)°C之间(图3),水环境温度相对低而稳定。由于任何动物对温度都有一个耐受范围,当温度超过临界(上限)温度时,将对动物产生有害作用^[14],因此,扬子鳄必然产生

对高温环境的适应对策,这种适应的行为表现为主要的行为状态是头出水,花更多的时间在水中,并表现出明显的昼伏夜出的特性(图3)。作为扬子鳄躲避高温的有效行为适应,头出水的行为是身体大部分浸入水中,这样有利于扬子鳄维持稳定的体温,同时也保持对环境的警惕功能。

与其他鳄类一样,扬子鳄通过有规律选择

不同的热环境进行行为体温调节^[2]。图 3 表明,扬子鳄表现出有规律的水陆活动(6:00~8:00 时大量入水和 18:00~20:00 时大量上岸),即选择更有利于保持体温的热环境来进行体温调节,当陆生环境不利于扬子鳄维持适度的体温时,将导致其选择水环境,反之亦然。这种水陆活动规律也是扬子鳄对栖息地热环境的行为适应。Lang^[16]提出光周期在调控密河鳄的水陆活动中是不可忽视的,但 Diefenbach^[5]认为,这种规律性是环境温度作为主要信号进行调控的。在我们的研究中,6:00~8:00 和 18:00~20:00 时段都是白天水温和气温最接近的时刻,因此,水温和气温的温差应是决定水陆活动规律的极为重要的因素。此外,上岸还有更多的好处,上岸时鳄类可以蒸发其体表水分,散失大量白天积累于体内的热量^[17]。事实上,我们也发现有扬子鳄在 16:00 时上岸体表干燥后重新入水的现象。扬子鳄选择 16:00 时上岸应是一种主动的体温调节行为。

当气温升高到约 $(31.0 \pm 0.7)^\circ\text{C}$ 时,扬子鳄大量离开陆地进入水中;相反,当气温降至约 $(31.5 \pm 0.7)^\circ\text{C}$ 时离开水体进入陆地环境(图 3,表 2)。扬子鳄一般躲避高于 $(31 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的热环境而进入相对低而稳定的热环境中。Colbert 等^[18]曾报道密河鳄的最适温度区间为 $32 \sim 35^\circ\text{C}$,密河鳄在这个温度区间保持着最好的生理状态。我们认为,扬子鳄在 $(31 \pm 1)^\circ\text{C}$ 发生的水陆行为上的变化是扬子鳄对于周围热环境选择的结果,其目的正是在于保持合适的体温以维持正常的生理功能。因此 $(31 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的温度区间可以作为扬子鳄研究重要的生理指标,建议在扬子鳄的保护和栖息地的重建过程中予以充分考虑,一方面,为扬子鳄野放地点的选择提供支持,当扬子鳄所栖息的环境温度(特别是水温)大大高于 $(31 \pm 1)^\circ\text{C}$ 时,将不利于扬子鳄保持合适的体温,该地点也就不适合作为野放地点;另一方面,一旦选择了合适的野放地点,也能为未来扬子鳄栖息地的环境监测提供参考信息。当然,这是将整个观察区域的 60 条扬子鳄作为一个整体,而且估计该温度上限的数据来

源于对野外环境温度和扬子鳄数量变化监测的间接数据,大量相关实验研究表明:个体大小、性别和取食状态都可能影响到鳄类对温度的选择^[4,5,19]。因此,通过直接测量扬子鳄体温,在实验室阶段进一步研究扬子鳄对温度的选择将是非常有意义的。

另外,扬子鳄张嘴行为主要发生在 16:00~20:00 时(图 2)。张嘴是鳄类特有的行为,能够帮助鳄类精确调节体温,通过张嘴可以进一步增加体表的散热面积,降低头部的温度,并可能具有某种社会功能^[20,21]。但是,在我们研究期间,扬子鳄张嘴行为仅占其总行为的 1.8%,这样低的频率如何对体温调节发生生物学意义应给予进一步的深入研究。

致谢 野外工作得到了浙江长兴扬子鳄自然繁育中心黄明水、郝赞斐、任大斌、朱培、詹燕、程明娟、邹火全和陈宝山等工作人员的大力支持和帮助,特此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Smith E N. Behavioral and physiological thermoregulation of crocodilians. *American Zoologist*, 1979, **19**: 239~247.
- [2] Grenard S. Handbook of Alligators and Crocodiles. Malabar: Krieger Publishing Company, 1991, 50~51.
- [3] Zug G. Thermoregulation. In: Charles A R. Ed. Crocodiles and Alligators. New York: Fact on File, Inc, 1989, 48~49.
- [4] Johnson C R. Thermoregulation in crocodilians-1: head-body temperature control in the Papuan-new guinean crocodiles, crocodylus novaeguineae and crocodylus porosus. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 1974, **49**: 3~28.
- [5] Diefenbach C. Thermal preferences and thermoregulation in caiman crocodilus. *Copeia*, 1975(3): 530~540.
- [6] Lang J W. Crocodilian Behaviour: Implications for Management. In: Webb G J W, Manolis S C, Whitehead P J ed. Wildlife Management: Crocodiles and Alligators. Chipping Norton-Australia: Surrey Beatty and Sons Pty Ltd, 1987, 273~294.
- [7] 丁由中,王小明.野生扬子鳄种群动态变化及致危因素.生物多样性, 2004, **12**(3): 324~332.
- [8] 陈壁辉.扬子鳄.见:汪松,赵尔宓编.中国濒危动物红皮书——两栖类和爬行类.北京:科学出版社, 1998, 311~319.

- [9] 王小明,丁由中,何利军等.野生扬子鳄种群现状研究.见:国家林业局野生动植物保护司编.中国扬子鳄及世界鳄类的保护现状与未来.北京:中国林业出版社,2002,55~72.
- [10] 丁由中,王小明,王正寰等.人工养殖扬子鳄野放初期的活动观察.动物学研究,2003,25(1):27~31.
- [11] 吴陆生,吴孝兵,江红星等.野生扬子鳄生境特征分析.生物多样性,2005,13(2):156~161.
- [12] 汪仁平,周应健,王朝林等.扬子鳄生活习性与环境温度度的关系.动物学杂志,1998,33(2):32~35.
- [13] 蒋志刚.自然保护野外研究技术.北京:中国林业出版社,2002,147~174.
- [14] Fish F E, Cosgrove L A. Behavioral thermoregulation of small American Alligators in water: postural changes in relation to the thermal environment. *Copeia*, 1987, (3): 804~807.
- [15] 孙儒泳.动物生态学原理(第三版).北京:北京师范大学出版社,2001,30~65.
- [16] Lang J W. Amphibious behavior of *Alligator mississippiensis*: roles of a circadian rhythm and light. *Science*, 1976, 191: 575~577.
- [17] Davis J E, Spotila J R, Scheffler W C. Evaporative water loss from the American Alligator: the relative importance of respiration and cutaneous components and the regulatory role of the skin. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 1980, 67: 439~446.
- [18] Colbert E H, Cowles R B, Rogert C M. Temperature tolerances in the American Alligator and their bearing on the habits, evolution, and extinction of the dinosaurs. *Bull Am Mus Nat Hist*, 1946, 87: 327~374.
- [19] Lang J W. Thermophilic response of the American Alligator and the American crocodile to feeding. *Copeia*, 1979, (1): 48~59.
- [20] Dodson P. Mouth gaping as an effective thermoregulatory device in Alligators. *Nature*, 1977, 265: 235~236.
- [21] Lang J W. Incubation temperature affects thermal selection of hatchling crocodiles. *Am Zool*, 1985, 25(4): 18A.