

华北地区扬子鳄室内控温冬眠的初步研究

张艳珍^{①②} 刘学锋^{①②} 乔轶伦^① 王峰^① 张轶卓^{①②} 张成林^{①②*}

① 北京动物园 北京 100044; ② 圈养野生动物技术北京市重点实验室 北京 100044

摘要: 扬子鳄 (*Alligator sinensis*), 属于我国 I 级重点保护野生动物, 华北地区养殖条件下未见降温冬眠报道。本次于 2020 年 11 月至 2021 年 5 月对北京动物园饲养的 5 尾扬子鳄开展人工降温冬眠实验, 观察冬眠各期个体的环境选择和行为变化, 建立冬眠期间的行为谱, 分析冬眠前后行为指标和形态指标 (全长、体重和围度) 变化, 监测深眠期体温, 了解室内冬眠特点与需求, 建立适宜的控温冬眠技术, 为扬子鳄在华北地区安全越冬及饲养管理提供参考。结果显示: 1) 人工饲养条件下平均室温 (13.00 ± 3.10) °C (范围 9.4 ~ 20.0 °C), 扬子鳄处于初眠期; 平均室温 (11.35 ± 2.60) °C (范围 7.0 ~ 13.0 °C)、水温 (9.60 ± 2.09) °C (范围 6.0 ~ 11.0 °C) 时扬子鳄处于深眠期; 在室温 (12.17 ± 1.95) °C 时扬子鳄进入深眠期, 在 (10.54 ± 3.01) °C 时对外界干扰几乎无反应; 平均室温 (15.50 ± 1.77) °C (范围 12.0 ~ 18.4 °C), 扬子鳄进入苏醒期; 整个冬眠期近 7 个月。2) 冬眠期间不活动行为主要包括蛰伏、堆积和隐藏; 活动性行为包括爬行、潜水、抬头、摆尾、睁眼、抖动头部、警戒呼吸和张口嘶吼等。不活动行为类型在初眠期总占比 46.5%, 在深眠期占比达 76.0%, 苏醒期仅占不足 10%。初眠期、深眠期和苏醒期的各行为频次占比均有显著性变化 ($P < 0.05$); 3) 冬眠各期生境选择存在个体差异, 初眠期多在岸上活动 (占比 89.4%), 深眠期多数个体主要选择在水中 (占比 75.8%), 而在苏醒期则所有个体均主要在水中活动 (占比 90.4%); 岸上主要选择植物周边洼地形成的树洞内, 冬眠各期表现一致; 水中主要选择干扰少且水池边沿有低位石头处, 分布超过 95%; 4) 冬眠前后形态指标无显著变化 ($P > 0.05$), 深眠期扬子鳄平均体温 (10.9 ± 0.55) °C, 个体间无差异 ($P > 0.05$), 室温在 26.0 ~ 28.0 °C 时恢复进食。本研究结果表明, 在华北地区通过人工控温, 保持平均室温和水温分别介于 7.0 ~ 13.0 °C 和 6.0 ~ 11.0 °C, 并丰富冬眠环境的生境类型, 可实现扬子鳄的安全冬眠, 而环境温湿度因子和环境稳定性是影响冬眠的重要因素。

关键词: 扬子鳄; 华北地区; 冬眠; 环境; 行为

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2022) 01-029-11

The Preliminary Study on the Hibernation of *Alligator sinensis* in North China

ZHANG Yan-Zhen^{①②} LIU Xue-Feng^{①②} QIAO Yi-Lun^①
WANG Feng^① ZHANG Yi-Zhuo^{①②} ZHANG Cheng-Lin^{①②*}

基金项目 公园专项基金项目 (No.202011);

* 通讯作者, E-mail: zhch6465@263.net;

第一作者介绍 张艳珍, 女, 副研究员; 研究方向: 濒危物种保护及生理生态学; E-mail: zhyanzh1985@163.com。

收稿日期: 2021-05-06, 修回日期: 2021-10-07 DOI: 10.13859/j.cjz.202201004

① *Beijing Zoo, Beijing, Beijing 100044;*

② *Beijing Key Laboratory of Captive Wildlife Technologies, Beijing 100044, China*

Abstract: [Objectives] Chinese Alligator, *Alligator sinensis*, listed as the first level protected animals in China, is an ancient and rare reptile which is endemic to China. There is no report on the cooling treatment for hibernation in North China. In this study, the 5 Chinese Alligators reared in Beijing Zoo were artificially cooled for hibernation during November 2020 to May 2021, in order to understand the characteristics and environmental needs of hibernation and the relationship between the environmental temperature and the behavior, also to explore the behavior ethogram during hibernation and establish a suitable way of controlling temperature for hibernation, which will provide a reference for safe overwintering and feeding management in North China. **[Methods]** The simple planar graph of the environment shows in Fig. 1. During the study, the environmental selection and behaviors of the Chinese Alligators were observed in each hibernation periods, the body temperatures were monitored during deep hibernation period, and the changes of behavioral indicators and biological indexes before and after hibernation were analyzed. ANOVA was used to analyze the variance between different distribution areas. Paired-Samples *T* Test was conducted to analyze the difference before and after hibernation and the difference periods. **[Results]** The animals were in primary hibernation when the average room temperature were 13.00 ± 3.10 °C (range 9.4 - 20.0 °C) (Table 1, Fig. 2). The animals were in deep hibernation when the average room temperature and water temperature were 11.35 ± 2.60 °C (range 7.0 - 13.0 °C) and 9.60 ± 2.09 °C (range 6.0 - 11.0 °C) respectively, when the average room temperature was 12.17 ± 1.95 °C, the animals were in deep hibernation, and when 10.54 ± 3.01 °C the minor reaction to human and external interference. The animals were in recovery period when temperature were 15.50 ± 1.77 °C (range 12.0 - 18.4 °C). The body temperature of the animals was 10.9 ± 0.55 °C during the deep hibernation, and the whole hibernation period was nearly 7 months. During hibernation period, the inactivity behaviors mainly includes hibernating, piling up and hiding, the activity behaviors mainly includes crawling, diving, swing tail, open eyes, shaking head, rising head in water, putting head on something, warning exhalation and roaring. The percents of the inactivity behaviors frequency were 46.5% in the primary period, 76.0% in deep period, and less than 10% in the recovery period (Table 2). Most of the behaviors have significant differences between each hibernation periods ($P < 0.05$). There were individual differences in habitat selection in each hibernation stage. In the primary hibernation period, most individuals were on the land (89.4%). In the deep hibernation period, most individuals mainly hibernated in water and occasionally on land (75.8% in water), while all individuals were prefer to the pool during recovery period (90.4% in water) (Fig. 3). The distribution sites of the Chinese Alligators in land-area were mainly in the depressions area around the plants, which were consistent in each hibernation period (Fig. 4). In the water, they were mainly in the area where was less interference and with the low stones on the edge of the pool, the distribute percent was more than 95% (Fig. 5). There was no significant difference in of the biological indexes before and after hibernation ($P > 0.05$, Table 3). After hibernation, they began to eat at 26.0 - 28.0 °C. **[Conclusion]** The results showed that, the Chinese Alligators were in hibernation when the average room temperature and water temperature were kept at 7.0 - 13.0 °C and 6.0 - 11.0 °C respectively in North China. By artificial cooling and enriching the habitat types of hibernation environment, the animals could be safe overwintering in hibernation, and the environmental

temperature, humidity and environmental stability were the important factors to hibernation.

Key words: Chinese Alligator, *Alligator sinensis*; North China; Hibernation; Environment; Behavior

扬子鳄 (*Alligator sinensis*) 属于爬行纲鳄目 (Crocodylia) 短吻鳄科 (Alligatoridae) 短吻鳄属, 是我国特有的古老而珍稀的爬行动物, 被列为国家 I 级保护野生动物, 世界自然保护联盟 (IUCN) 极危级 (CR) 物种, CITES 附录 I 物种 (Thorbjarnarson et al. 1999), 具有较高的饲养展示、保护和宣传教育意义。由于栖息地破坏、人为捕杀、环境污染、自然灾害和繁殖率低等因素, 种群数量大幅下降。调查显示, 野生种群数量仅约 150 尾 (吴荣等 2015), 人工养殖数量过万尾, 该物种野生种群处于濒危现状 (丁由中等 2004, 周永康等 2012)。扬子鳄自然分布在长江中下游的安徽以及江苏和浙江等地, 华北乃至整个北方地区有较少养殖群体。有关扬子鳄行为方面的研究主要包括人工饲养条件下扬子鳄的行为观察研究 (张方等 2005), 扬子鳄发情期昼夜行为观察研究 (鲁庆彬等 2006), 人工饲养条件下扬子鳄的营巢和产卵行为 (张方等 2006), 行为和空间利用的研究 (张藐等 2019)。关于扬子鳄冬眠的报道认为, 在野外经过长期的生存适应, 扬子鳄进化出在堤坝或水中岛屿四周打洞进入洞穴冬眠的方式过冬 (陈壁辉等 1984); 在人工饲养条件下桂林动物园的扬子鳄使用岩洞越冬 (韦华等 2014), 而其他采用的越冬方式主要有控温室内冬眠过冬和不冬眠过冬等 (卜庆新 2005, 汪仁平等 2005); 华北地区仅张国良等 (2003) 认为, 在无法模拟自然条件时人工控温不冬眠是扬子鳄越冬的首选方式。对人工饲养条件下冬眠效果以及冬眠过程中行为的研究鲜见报道。扬子鳄为变温动物, 温度是影响扬子鳄的季节和昼夜周期性生命活动的最主要因子, 没有经历正常冬眠越冬的生理活动过程, 就不能为性腺的正常发育提供条件, 对其生理和免疫机能均有一定的影响 (吴海龙等 2004, 夏同胜等 2006a)。本次对北京

动物园饲养展示的扬子鳄开展室内控温冬眠研究, 了解冬眠过程中的关键温度范围、冬眠期间扬子鳄对环境的选择及行为变化规律, 以及冬眠后摄食恢复效果等。摸清扬子鳄的行为机制可以为其生境保护提供依据, 对扬子鳄的保育工作提供直接参考, 同时为扬子鳄在北方饲养积累实践与技术经验。

1 材料与方法

1.1 研究对象

北京动物园饲养展示的扬子鳄 5 尾 (4♀1♂, 均为成体), 为 2019 年 10 月从南京引进, 年龄 11 或 12 岁, 入园前每年均冬眠, 2019 年入园后持续进食不稳定, 体质偏瘦弱, 当年未冬眠。2020 年 11 月至 2021 年 5 月开展冬眠实验。个体识别采用外挂易识别标识牌, 在尾部末端固定, 清晰可辨, 编号分别为 S、R、G、B 和 Y, 其中 S 为雄性, 其他为雌性。

冬眠各期的划分方式依据报道 (吴海龙等 2004) 并根据本研究情况调整。初眠期 (primary hibernation period): 扬子鳄完全停止摄食, 行动迟缓, 活动性减少或不活动; 深眠期 (hibernation period): 扬子鳄在水中或岸上平趴贴底或堆积, 双目紧闭, 蛰伏不动, 连续两周以上即进入深眠期, 偶有活动仅限于短距离移动或抬头摆尾等, 活动后仍恢复蛰伏状态, 认定为仍处于深眠期; 苏醒期 (recovery period): 活动性开始增加, 连续蛰伏不动状态不足两周即认定进入苏醒期, 但未开始进食。

1.2 饲养条件

扬子鳄展馆总面积 150 m², 水陆面积比约 1:1.5, 配置 10.0 m × 3.0 m 的展示观察窗, 屋顶为透明玻璃, 冬眠期间采用帆布遮盖挡光, 墙侧有通风窗和通风管道。陆地最外围为水泥地面, 靠近岸边种植物有散尾葵 (*Chrysalidocarpus lutescens*)、印度榕 (*Ficus elastica*) 和菜豆树

(*Radermachera sinica*) 等, 岸边分布不规则岩石, 部分岩石形成缝隙可容扬子鳄钻入, 水岸连接处留有坡度供扬子鳄水岸间移动。水体不规则, 靠近观察窗侧, 水中心有岩石岛, 可供攀爬, 冬眠期间水深 0.3 ~ 0.5 m, 水池在使用前彻底消毒, 冬眠期间不做彻底换水清洁, 水位不足时及时补水。每日对岸上区域喷水保湿。温度控制: 冬季采用暖气管道供暖, 其他时间为自然温度。冬眠期间采用调整通风口及门窗通道的幅度至冬眠各期目标温度, 深眠期设置了两个温度阶段, 分别为 8 ~ 10 °C 和 10 ~ 12 °C。投喂方式: 冬眠期间不投喂, 冬眠后 5 月中旬开始投喂, 每周投喂 3 或 4 次, 单次 1 kg, 饵料种类主要为鲜牛肉、活饵泥鳅和冰鲜鲫鱼。

1.3 区域划分

本次实验中, 依据位置和环境条件设施不同, 将饲养场馆划分为陆地和水域两个区域(图 1), 岸上分为水泥地、植物区和岩石区三类区域, 水域按在观察窗面对场馆分左、中、右和前四个区域。水泥地主要分布在岸上最外围, 平均宽度约 1.5 m; 植物区主要底质为泥土, 树周围有圆形低洼形成的深约 20 ~ 30 cm 的树

洞; 岩石区主要分布在岸边及右侧靠近墙边。水池左侧靠近安全门; 中部为上岸通道; 右侧较安静, 边沿有低矮岩石; 前部靠近观察窗。

1.4 形态指标及体温数据采集

形态指标包括全长、体重和围度, 围度测量身体最大围度处, 每个指标连续测量 3 次后取均值。形态指标冬眠前后各测量一次。体温为肛温, 采用水银温度计插入泄殖孔内深度 15 cm 停留 5 min 记录数值, 为减小对动物的影响, 仅在深眠期测定, 所有个体每月测定 1 次共 3 次, 测量时动物捕捞出水。室内温湿度为展馆内不同位点布设 3 个温湿度的日均值, 水温使用常规水温计(米特尔 TP677 温度计)测量。

1.5 行为观察和环境数据采集

实验观察者隔着观察窗逐尾观察, 详细记录每尾个体出现的行为类别及次数。每日于 8:00 ~ 18:00 时期间每隔 2 h 记录一次, 每次观察时间 10 ~ 20 min, 记录内容包括环境温湿度(水温、室温和湿度)以及动物行为。动物行为包括区域、身体姿势与方向变化、头部或鼻孔出水与否、眼睛睁闭情况、口部张合情况、

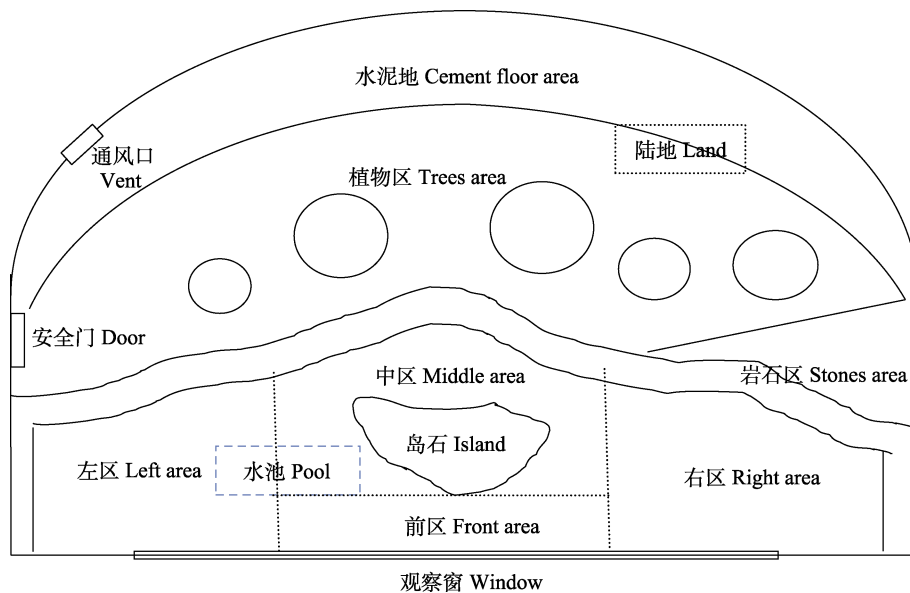


图 1 场馆简易平面图

Fig. 1 The simple planar graph of environment

尾部摆动、移动方向和距离, 其他特殊行为为文字描述。冬眠后开展摄食行为观察, 以评估冬眠恢复效果, 记录动物对不同饲料的反应情况, 是否开口、咬食、找食、追逐捕食以及吞咽等行为, 投喂时在岸上或展区观察不少于 1 h。

1.6 数据统计

数据采集时间为 2020 年 11 月 20 日至 2021 年 5 月 31 日。结果以平均值 \pm 标准差表示。采用 SPSS 分析软件对数据进行分析处理, 用单因素方差分析 (ANOVA) 检验不同个体区域选择等指标的差异, 用双尾 t 检验分析冬眠前后行为指标、生物学指标数据的差异, 以 $P < 0.05$ 为显著水平。

区域选择占比即个体在某位点的出现频次占此个体在所有位点出现总频次的百分比, 某行为频次即个体出现该行为次数占此个体所有行为总次数的百分比。

2 结果与分析

2.1 冬眠各期温湿度变化

整个冬眠期间室温和水温结果详见表 1, 场馆内日平均温湿度和水温波动情况见图 2。初眠期温度由 20 °C 缓慢下降至 10~12 °C。深眠期平均室温和水温分别为 (11.35 \pm 2.60) °C 和 (9.60 \pm 2.09) °C, 深眠期第一个月平均室温主要集中在 7~12 °C, 水温集中在 6~10 °C

表 1 阶段性温度情况

Table 1 The temperature results of each stage

阶段 Stage	时间段 (年-月-日) Date (Year-month-date)	室温 Room temperature (°C)		水温 Water temperature (°C)	
		平均值 \pm 标准差 Mean \pm SD	极值 Extremum	平均值 \pm 标准差 Mean \pm SD	极值 Extremum
初眠期 Primary hibernation period	2020-12-14 - 2020-12-28	13.00 \pm 3.10*	9.4, 20.0	12.17 \pm 2.63*	9.0, 18.0
深眠期 Hibernation period	2020-12-29 - 2021-01-28	10.54 \pm 3.01*	5.1, 15.7	8.33 \pm 2.03*	4.0, 13.0
	2021-01-29 - 2021-03-10	12.17 \pm 1.95*	8.8, 16.7	10.70 \pm 1.77*	4.0, 12.5
苏醒期 Recovery period	2021-03-11 - 2021-04-30	15.50 \pm 1.77*	12.0, 18.4	13.55 \pm 1.30*	12.0, 15.5

“*”表示同列数据之间有显著性差异, $P < 0.05$ 。“**” means significant difference in the same column, $P < 0.05$.

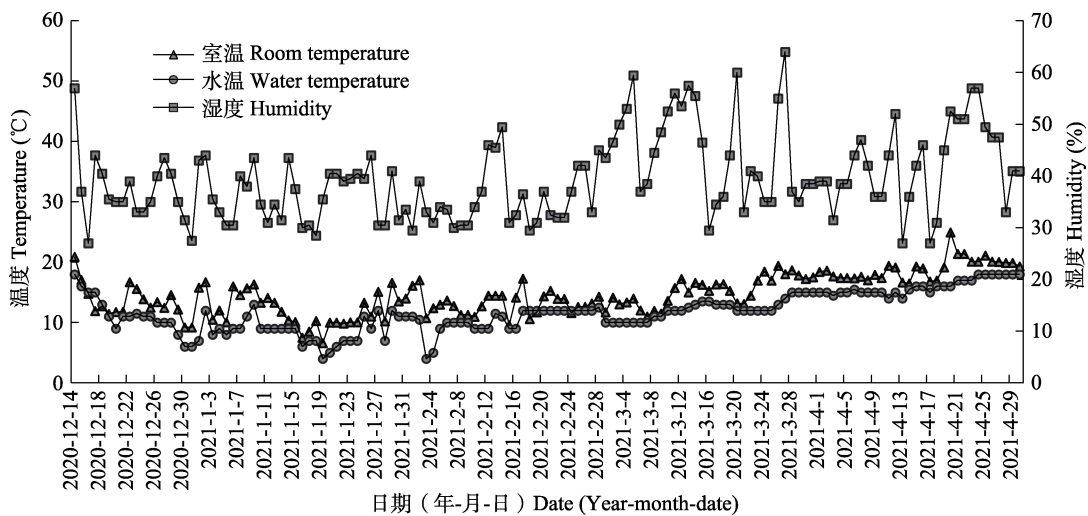


图 2 扬子鳄场馆内平均温湿度和水温变化

Fig. 2 The temperatures and humidity in the environment

(比例 94.6%); 后两个月平均室温主要集中在 9~13 °C (比例 92.7%), 水温集中在 8~11 °C (比例 96.5%)。苏醒期温度逐步上升。整个冬眠期间室内平均相对湿度为 39.27% ± 7.91%, 主要集中在 25%~45%, 波动较大, 但冬眠各期无显著性差异, 苏醒期湿度略有升高。

2.2 冬眠各期动物行为

2.2.1 区域选择

扬子鳄在冬眠期间的水陆选择情况见图 3, 整体表现为初眠期多选择在岸上, 深眠期和苏醒期多在水中, 个体间表现有差异性。初眠期有 3 尾岸上度过, 其中 B 和 Y 这 2 尾完全在岸上 (100%), 1 尾 G 在岸上占比 69.1%, 另 2 尾 S 和 R 主要在水中, 占比 77.0%。深眠期间有 4 尾主要在水中, 平均占比 75.8%, 其中个体 R 在水中的比例高达 97.4%; 仅 1 尾 Y 主要在岸上度过, 占比 98.7%。而在苏醒期则 5 尾表现较一致, 主要选择水中度过, 平均占比 90.4%。水陆选择占比的检验结果显示, 其中 2 尾 G 和 B 在其冬眠各期之间均有显著差异 ($P < 0.05$), 1 尾 Y 初眠期与深眠期间无显著差异, 与苏醒期有显著性差异 ($P < 0.05$),

另 2 尾 S 和 R 在各期无显著差异 ($P > 0.05$)。

生境位点选择情况详见图 4 和图 5, 岸上活动位点主要为植物区, 冬眠各期表现一致; 深眠期间在岩石缝中有分布, 比例为 11.5%, 初眠期和苏醒期则无分布。水中位点选择主要集中在“中”和“右”区域, 初眠期总占比 100%, 深眠期占比分别为 31.8%和 63.0%, 苏醒期分别为 58.0%和 38.7%, “左”和“前”区域少有分布。

2.2.2 冬眠期间行为谱

人工饲养条件下冬眠期间扬子鳄的行为谱, 按行为类别可分为活动性行为和不活动行为。不活动行为包括蛰伏、堆积和隐藏, 即冬眠行为的主要表现形式, 其他行为均为活动性行为。按活动区域可分为水中行为和岸上行为, 其中爬行、摆尾、蛰伏和堆积行为在水中和陆上均有出现; 抬高头部或鼻孔出水仅在水中时出现; 警戒呼气、张口嘶吼出现在岸上人为干扰时。

蛰伏 (hibernating): 水中或岸上, 身体平趴或尾部弯曲, 岸上会将身体卷曲至树干周围低洼内, 头尾均贴地, 闭眼不动, 四肢自然抓

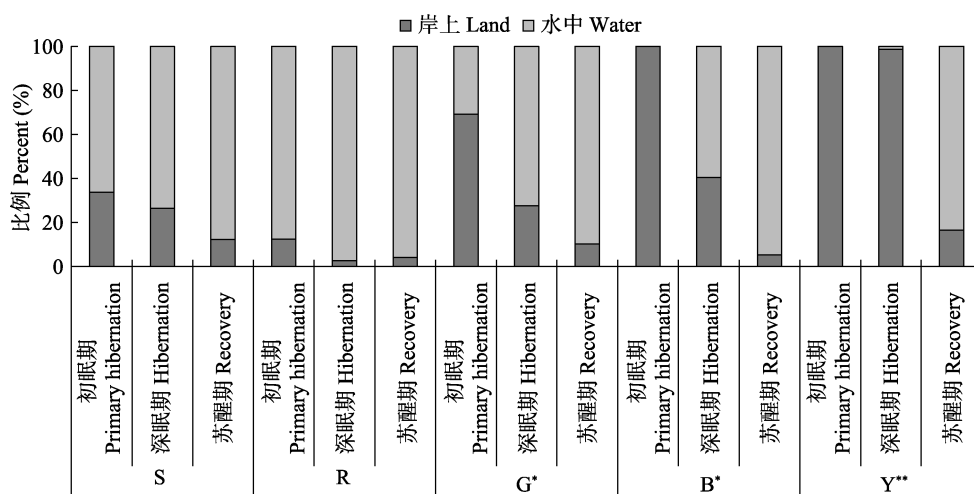


图 3 冬眠各时期个体分布区域比例

Fig. 3 The distribution area of the Chinese alligator individuals

动物编号后 “*” 表示冬眠各时期间差异显著 ($P < 0.05$); “**” 表示苏醒期与其他期的差异显著 ($P < 0.05$)

“*”after animal tag means significant difference between the hibernation periods ($P < 0.05$), “**”after animal tag means significant difference between the recovery period and the other two periods ($P < 0.05$).

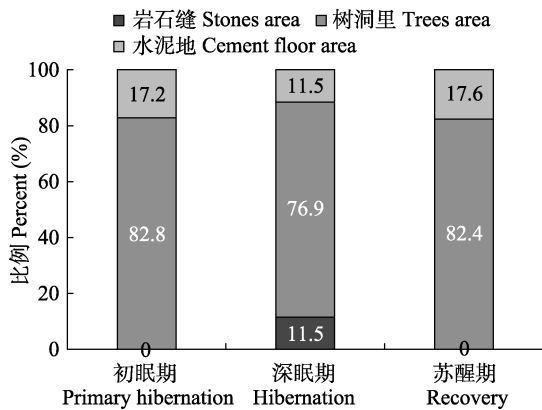


图 4 冬眠各期岸上位点分布比例

Fig. 4 The distribution results of the Chinese alligators in land-area

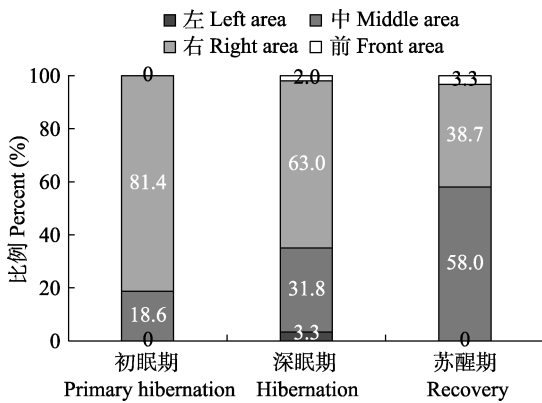


图 5 冬眠期间水中位点分布比例

Fig. 5 The distribution results of the Chinese alligators in water-area

地或侧翻松弛状态。

堆积 (piling up): 水中或岸上, 两尾或多尾并排或堆叠聚拢, 头尾或躯干部分叠靠在一起, 闭眼蛰伏。

隐藏 (hiding): 用植物覆盖身体, 钻至树枝叶片下或将枯叶堆至头部以及身体前半部分; 或钻入造景石缝中, 身体依据缝隙情况呈侧或倒的状态。

睁眼 (open eyes): 水中或岸上, 身体未动呈蛰伏或堆积状态, 眼睛睁开。

爬行 (crawling): 岸上和水中, 或岸上和

水中转换位置时, 身体抬离地面, 四肢爬行, 通常在水中爬行时移动距离较小, 四肢缓慢移动, 头出水, 眼睛睁开。

潜水 (diving): 水中游动或爬行, 头部不出水, 移动距离较小。

摆尾 (swing tail): 水中或岸上, 身体未动, 仅尾巴有摆动改变方向。

抖动头部 (shaking head): 水中发生, 身体平趴, 抬起头部左右抖动 10~20 s, 通常伴随着潜水或水中爬行后头部抬出水面抖落水珠时发生。

水中抬头 (rising head in water): 水中平直趴卧或尾部弯曲, 抬起头部出水呼吸, 或只鼻孔和眼睛出水, 睁眼或闭眼, 持续几分钟至几十分钟; 或抬高头部搭至低矮石头上, 头部或只鼻孔和眼睛出水, 持续时间长。

警戒呼气 (warning exhalation): 多在岸上人员靠近时呼气, 身体不动, 睁眼或张口警惕。

张口嘶吼 (roaring): 岸上平趴, 有较大干扰时发怒, 张大口部发出声音, 强烈时抬起头部。

2.2.3 冬眠各期行为频次 各期主要行为及平均占比详见表 2。初眠期占比最高的行为依次为蛰伏(26.5%)、抬头(22.9%)、堆积(17.1%)和睁眼(16.3%), 其他活动行为占 16.5%。其中, 不活动行为总占比 46.5%, 活动性行为占 53.5%。

深眠期不活动行为总比例 76.0%, 其中, 蛰伏和堆积占比较初眠期显著增加, 分别为 63.3%和 12.4%, 隐藏比例 0.3%; 活动性行为包括抬头占 10.1%, 潜水、爬行和摆尾等总比例 12.0%, 其他行为占 1.9%。

苏醒期各行为占比发生显著变化, 蛰伏比例降至 6.4%, 堆积比例降至 3.3%, 未见隐藏行为, 不活动行为总占比 9.7%; 活动性行为中抬头占比增加至 29.0%, 潜水、爬行和摆尾总比例增加至 55.6%。

t 检验结果显示, 苏醒期与深眠期相比, 多种行为显著变化, 表现为苏醒期蛰伏、堆积、

隐藏占比显著减少 ($P < 0.05$)，活动性行为包括睁眼、潜水、爬行、抬头以及摆尾行为比例显著增加 ($P < 0.05$)。而初眠期蛰伏、爬行、抬头和抖动头部的行为比例介于深眠期和苏醒期之间，与深眠期和苏醒期均有显著差异 ($P < 0.05$)，行为活动更趋向于深眠期。

2.3 形态参数及冬眠体温

冬眠前后对所有个体的全长、体重和围度指标测量结果见表 3。冬眠后与冬眠前相比，全长增长率 0%~3.2%；体重均下降，其中，1

尾 Y 降低 10.7%，其他介于 0.1%~4.5%；围度有 2 尾 R 和 Y 下降，2 尾 S 和 B 小幅增加。各指标冬眠前后无显著差异 ($P > 0.05$)。

深眠期 5 尾个体的平均肛温 (10.9 ± 0.55) °C (范围 10.0~11.5 °C)，个体间无显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.4 摄食行为恢复

5 月中旬温度上升至约 25 °C，开始投食，饲料包括泥鳅、鲫鱼和牛肉块，5 尾扬子鳄陆续出现捕食动作和进食行为，积极的捕食行为

表 2 冬眠各期各行为指标平均占比

Table 2 The behavioral index in hibernation periods

行为指标 Behavior index	初眠期 Primary hibernation period (%)	深眠期 Hibernation period (%)	苏醒期 Recovery period (%)
蛰伏 Hibernating	26.5 ± 8.6*	63.3 ± 9.7*	6.4 ± 1.4*
堆积 Piling up	17.1 ± 2.7*	12.4 ± 4.8*	3.3 ± 1.9*
隐藏 Hiding	2.9 ± 3.2*	0.3 ± 0.3*	0.0 ± 0.1*
趴底睁眼 Open eyes	16.3 ± 3.9*	1.8 ± 0.9*	4.7 ± 1.1*
潜水 Diving	2.3 ± 1.8	2.4 ± 0.6	9.9 ± 2.8*
爬行 Crawling	1.9 ± 1.0*	1.1 ± 1.0*	4.4 ± 2.1*
水中抬头 Rising head in water	22.9 ± 8.5*	10.1 ± 2.7*	29.0 ± 9.2*
摆尾 Swing tail	7.7 ± 7.4	8.7 ± 2.8*	38.3 ± 10.4*
抖动头部 Shaking head	0.8 ± 0.2*	0.0 ± 0.0*	3.0 ± 3.2*
警戒呼气 Warning exhalation	0.8 ± 0.5	0.1 ± 0.0*	0.6 ± 0.4*
张口嘶吼 Roaring	0.8 ± 0.3	0.0 ± 0.0*	0.6 ± 0.2

“*”表示与同行数据之间有显著性差异， $P < 0.05$ 。“*” means significant difference in the same row, $P < 0.05$.

表 3 冬眠前后形态指标比较

Table 3 The biological index of the Chinese Alligators

时期 Stage	指标 Index	S	R	G	B	Y
冬眠前 Pre-hibernation	全长 Total length (cm)	170.0	156.0	154.0	154.0	159.0
	体重 Body weight (kg)	20.38	16.85	13.24	14.36	18.46
	围度 Circumference (cm)	54.0	55.0	51.0	53.0	57.0
冬眠后 After-hibernation	全长 Total length (cm)	170.0	157.0	159.0	156.0	160.0
	体重 Body weight (kg)	19.95	16.10	12.79	14.34	16.49
	围度 Circumference (cm)	55.0	53.0	51.0	54.0	55.0
增长率 Growth rate	全长 Total length (%)	0.0	0.6	3.2	1.3	0.6
	体重 Body weight (%)	-2.1	-4.5	-3.4	-0.1	-10.7
	围度 Circumference (%)	1.9	-3.6	0.0	1.9	-3.5

出现在室温 26.0~28.0 °C, 冬眠后全部个体恢复进食。捕食行为主要表现为 2 种, 一种为偷食行为, 头部出水睁眼, 静伏不动, 或缓慢游向食物方向, 当食物在其头部侧前方约 10~30 cm 时, 快速跃向食物, 同时张开口部吞食; 另一种为贪食行为, 即扬子鳄潜入水下, 瞬膜闭合, 口部张开, 潜水爬行寻找食物, 咬食路线上所有障碍, 咬到食物后会抬起头部吞食。

3 讨论

3.1 冬眠与温度的关系

在自然状态下, 冬眠是扬子鳄唯一的越冬方式, 扬子鳄在越冬期间, 机体代谢率降至最低点, 停止活动和摄食(汪仁平等 2005)。北方地区无法在自然条件下养殖扬子鳄, 冬季需要人工控制温湿度满足其生理需求, 而采用降温冬眠的越冬方式未见有成功报道。研究表明, 环境温度与密河鳄(*A. mississippiensis*)的生理活动密切相关, 在 5~15 °C 代谢率几乎恒定, 25 °C 时代谢率缓慢升高, 超过 25 °C 代谢率直线上升(Coulson et al. 1983)。本次结果显示, 冬眠期间扬子鳄的活动性低, 深眠期体温介于 10.0~11.5 °C 之间, 能耗降到最低状态(Coulson et al. 1983, 陈壁辉等 2003)。本次以肛温结果代替体温, 仅监测深眠期间体温, 针对体温变化可进一步研究, 以了解其随环境温度变化的规律及其能耗变化。关于扬子鳄体温调节的生理机能的研究尚不完善, 有研究认为, 当环境温度降低时从外界吸收的太阳热能减少而散热增多, 导致体温下降, 代谢率降低, 这是冬眠的主要诱因(陈壁辉等 1985)。本研究中, 扬子鳄冬眠前后全长、体重和围度指标无显著差异, 表明其机体代谢率和能耗低。

本次结果显示, 室内温度范围 9.4~20.0 °C, 水温 9.0~18.0 °C 时, 扬子鳄进入初眠期, 与报道中初眠温度范围接近(汪仁平等 1998); 当室温介于 7.0~13.0 °C, 水温 6.0~11.0 °C, 扬子鳄处于深眠期, 此温度范围高于报道中深眠温度范围(气温 3.4~6.6 °C, 水温 3.2~7.0 °C)

(汪仁平等 1998); 当室温升高至 12.0~18.4 °C, 水温 12.0~15.5 °C, 扬子鳄进入苏醒期, 略高于报道中温度范围(气温 8.6~16.4 °C、水温 8.8~15.8 °C)(华荣贵等 1995, 汪仁平等 2005)。本次在人工养殖条件下降温调节扬子鳄冬眠, 环境控制相对于自然条件更为稳定。因场馆展示环境的特殊性以及动物个体体质原因, 未将温度降至报道中最低范围, 本次最低温度为 4.0 °C, 仅出现在个别情况下, 是否可长期保持, 有待进一步研究。扬子鳄冬眠后在 26.0~28.0 °C 出现积极的捕食行为, 其捕食行为和捕食量受环境温度影响极为明显。捕食行为与温度的关系可进一步研究。捕食行为的出现也表明冬眠的结束。

本次结论认为, 环境温度保持 6.0~13.0 °C, 利于扬子鳄冬眠, 而目标温度保持一定的稳定性有助于扬子鳄较快进入深眠状态。根据北京自然气温变化, 扬子鳄的整个冬眠期历时近 7 个月, 深眠期相较其自然冬眠延长 1 个月(吴海龙等 2004)。华北地区气温于 10 月中旬开始夜间温度较低, 昼夜温差大, 人工饲养条件下可供暖将环境保温在 25 °C 以上, 延长进食时间, 至冬季气温相对稳定再降低饲养环境温度, 控制扬子鳄逐步进入冬眠。

3.2 冬眠环境需求

野生扬子鳄现主要分布在长江中下游的安徽及江浙地区, 常栖息于丘陵溪壑或在湖河的浅滩挖穴而居(丁由中等 2001), 其分布范围的大小完全取决于该区域自然气候和生境条件是否能满足其生命活动和繁育的需求(吴海龙等 2004, 汪仁平等 2005)。本研究设置不同的生境区域, 结果显示多数扬子鳄更偏好于水池中越冬, 可能与整个冬眠期间岸上的相对湿度较低(25%~45%)有关。有报道认为, 越冬期间鳄体内水分的补充主要依靠皮肤和泄殖腔的吸收而不是饮水, 野外扬子鳄越冬的洞穴中相对湿度达 85%~95%(张正东等 1990)。夏同胜等(2006a) 研究报道, 当养殖区四周的洞穴较少时, 80%扬子鳄在水中越冬。另外,

水中环境相对更稳定, 扬子鳄冬眠前后都选择远离安全门和通风口更为安静受干扰少的区域, 人工饲养条件下, 过多的干扰会严重影响扬子鳄的安全越冬(周永康等 2000)。本研究结果认为, 扬子鳄室内越冬水池, 可根据个体大小, 保证水位没过动物体背 5~10 cm 即可。

本研究中扬子鳄冬眠期间均有在陆地分布, 总占比较低, 位点主要为植物周边的树洞区域, 泥土底质, 周围有树枝叶遮挡, 湿度高于水泥地和岩石区域, 该行为与自然条件下扬子鳄冬眠选择有水源的洞穴一致(夏同胜等 2006b)。有研究认为, 扬子鳄的正常生活离不开洞穴, 野生扬子鳄在洞穴内度过的时间约占全年的 75%(陈壁辉等 2003)。根据本研究结果, 扬子鳄在陆地上冬眠, 需要满足较高的湿度, 华北地区冬季需增加喷水频次或采用湿度控制设备, 保持环境及鳄体湿润, 同时应提供人工洞穴供躲避。

3.3 冬眠行为

有关扬子鳄行为生态学方面的研究较多, 包括对扬子鳄的筑巢行为、繁殖行为、摄食行为等进行的研究(张方 2004)。汪仁平等(1998)对扬子鳄的生活习性和环境温度关系进行研究, 总结出扬子鳄的年生活周期循环规律, 张毅成等(1999)对湾鳄(*Crocodylus porosus*)的摄食和温度之间关系进行了探讨。有关夏秋两季扬子鳄的行为谱和活动规律有过研究报道(张方等 2005), 而冬眠期间的行为研究较少, 冬眠的行为谱未见报道。本次初步建立人工饲养条件下冬眠期间扬子鳄的行为谱, 部分行为如爬行、摆尾、堆积和吼叫行为在夏秋季节有出现, 但表现不尽相同(张方等 2005)。

本研究初眠期时间相对较短, 各行为比例无明显规律性, 活动性行为表现趋于向深眠期过度; 区域选择结果显示, 各生境位点都有出现, 分析认为初眠期为扬子鳄对冬眠环境的选择时期, 在岸上和水中寻找最适宜的生境和位点。深眠期中抬头行为约占 10%, 表明其呼吸需求, 室内越冬池中冬眠扬子鳄的呼吸代谢可

进一步研究。深眠期扬子鳄的睁眼等其他活动行为频次显著降低, 表明其对外界干扰反应减小, 但室温在 10 °C 以下时, 扬子鳄处于深眠期, 仍有睁眼、摆尾和抬头的活动性行为, 这与报道中扬子鳄深眠期完全蛰伏不动有所差别(吴海龙等 2004)。夏同胜等(2006a)认为, 深眠期温度保持在 5~8 °C 时扬子鳄基本不爬动, 在 8~12 °C 时扬子鳄爬动较频繁。本研究中扬子鳄在深眠期当人员进行管理操作时, 有张口呼气警戒的反应, 夏同胜等(2006a)的报道中也出现相似行为。本研究中, 扬子鳄苏醒期各行为占比发生显著变化, 活动性行为在出现频次和表现幅度上均有显著增加, 其行为变化趋势符合自然行为规律, 同时表明冬眠后恢复效果较好。

扬子鳄室内冬眠期间, 出现多种行为与自然越冬行为接近, 如堆积行为是自然越冬中的常见行为, 隐藏行为疑似寻找洞穴(陈壁辉等 2003), 可为人工饲养管理中的环境设计和丰容工作提供直接参考。本研究中未观察到扬子鳄将植物覆盖至头部及前半部分身体这一行为的具体动作, 顾文仪等(1983)对扬子鳄筑巢行为的描述, 即用后肢向后爬扒草茎现象, 而未见用前肢或嘴咬草的筑巢现象。

本研究中扬子鳄的摄食行为表现与陈壁辉等(1985, 2003)的报道接近, 即主要为贪食性和捕食时的偷食性行为, 这表明冬眠后摄食行为恢复成功。有研究认为, 在与自然洞穴的温湿度条件相似但其他条件相差很大的人工环境中冬眠后, 扬子鳄仍具有繁殖能力, 但越冬后, 在不满足其栖息地环境特点的场地, 扬子鳄不能成功繁殖(汪仁平等 2005), 对此将进一步研究。

参 考 文 献

- Coulson R A, Hernandez T. 1983. Alligator metabolism. *Comparative Biochemistry and Physiology B*, 74(1): 15-30.
- Thorbjarnarson J, Wang X M. 1999. The conservation status of the Chinese alligator. *Oryx*, 33(2): 152-159.

- 卜庆新. 2005. 扬子鳄的饲养与管理. 渔业致富指南, 1(5): 36.
- 陈壁辉, 花兆合, 李炳华. 1985. 扬子鳄. 安徽: 安徽科学技术出版社, 216-220.
- 陈壁辉, 华田苗, 吴孝兵, 等. 2003. 扬子鳄的研究. 上海: 上海科技教育出版社.
- 陈壁辉, 王朝林. 1984. 扬子鳄的人工繁殖. 两栖爬行动物学报, 3(2): 49-54.
- 丁由中, 王小明. 2004. 野生扬子鳄种群动态变化及致危因素. 生物多样性, 12(3): 324-332.
- 丁由中, 王小明, 何利军, 等. 2001. 野生扬子鳄种群及栖息地现状研究. 生物多样性, 9(2): 102-108.
- 顾文仪, 张海生. 1983. 扬子鳄繁殖生态初探. 两栖爬行动物学报, 2(4): 72-74.
- 华荣贵, 曹树新, 蒋宣清, 等. 1995. 扬子鳄的人工养殖与气象条件的关系. 气象, 21(3): 51-54.
- 鲁庆彬, 王小明, 丁由中, 等. 2006. 扬子鳄发情期昼间行为时间分配及活动节律. 浙江林学院学报, 23(6): 608-613.
- 汪仁平, 夏同胜. 2005. 人工条件下越冬扬子鳄的繁殖. 动物学杂志, 40(4): 92-95.
- 汪仁平, 周应健, 王朝林, 等. 1998. 扬子鳄生活习性与环境温度的关系. 动物学杂志, 33(2): 32-35.
- 韦华, 文雅丽, 卢浩. 2014. 一条扬子鳄在岩洞越冬的尝试. 四川动物, 33(1): 63-66.
- 吴海龙, 吴治安. 2004. 扬子鳄(*Alligator sinensis*)生态学研究进展. 四川动物, 23(3): 267-274.
- 吴荣, 周永康. 2015. 安徽扬子鳄国家级自然保护区现状分析. 安徽林业科技, 41(5): 37-41.
- 夏同胜, 朱家龙, 邵民. 2006a. 冬眠期温度和扬子鳄疾病发生的关系. 四川动物, 25(2): 400-402.
- 夏同胜, 周奎厚, 朱家龙. 2006b. 冬眠期温度对扬子鳄繁殖的影响. 四川动物, 25(2): 398-399.
- 张方. 2004. 扬子鳄的行为和时间分配研究及其分类地位探讨. 安徽: 安徽师范大学硕士学位论文, 5-6.
- 张方, 吴孝兵, 孟维志, 等. 2006. 人工饲养条件下扬子鳄的营巢和产卵行为. 动物学研究, 27(2): 151-156.
- 张方, 吴孝兵, 朱家龙, 等. 2005. 夏秋两季饲养条件下扬子鳄的行为谱和活动节律初步研究. 水生生物学报, 29(5): 488-495.
- 张国良, 耿艳杰, 肖井贵, 等. 2003. 人工饲养条件下扬子鳄两种越冬方式的比较. 经济动物学报, 7(2): 57-59.
- 张藐, 孙杨. 2019. 夏季人工饲养扬子鳄行为和空间利用的观察. 湖北畜牧兽医, 40(3): 5-9.
- 张毅成, 李建东. 1999. 湾鳄采食量活动性季节变化与环境温度的关系. 生物学杂志, 34(3): 41-43.
- 张正东, 梁宝东, 杨群, 等. 1990. 扬子鳄幼鳄越冬时水分补充方式的探讨. 生态学杂志, 9(1): 23-27.
- 周永康, 谢万树. 2000. 扬子鳄的越冬管理. 四川动物, 19(1): 43-44.
- 周永康, 余本付, 吴孝兵, 等. 2012. 我国扬子鳄种群及栖息地保护现状. 动物学杂志, 47(1): 133-136.