

红耳龟与中华条颈龟初生幼体剩余卵黄、表型特征及运动能力的比较研究

盛成^① 洪美玲^{①*} 史海涛^{①②}

① 海南师范大学生命科学学院 海口 571158; ② 中国科学院成都生物研究所 成都 610041

摘要: 为研究红耳龟 (*Trachemys scripta elegans*) 生理入侵机制, 本研究选用本土中华条颈龟 (*Mauremys sinensis*) 为参照, 对孵卵温度在 $(29 \pm 0.3)^\circ\text{C}$ 、湿度为 -220 kPa 条件下孵出的初生幼体进行表型特征及运动能力的测量, 禁食条件下分别在孵出第 0 h、24 h、48 h、72 h、96 h、240 h 时随机取 10 只个体解剖, 分离出剩余卵黄并测量干重, 比较研究两种龟初生幼体剩余卵黄的消耗、表型特征及运动能力。结果, (1) 两种龟初生幼体剩余卵黄的消耗: 刚孵出的红耳龟剩余卵黄含量 (20.5%) 显著高于中华条颈龟 (5.2%); 中华条颈龟经禁食 72 h 后剩余卵黄量仅占 3.4%, 至 96 h 已基本吸收完全, 而红耳龟经禁食 96 h 后剩余卵黄量仍可达到 11.9%, 全部被吸收所用时间约为 31 d。这说明红耳龟幼体孵出后剩余卵黄较多, 耐饥力强。(2) 两种龟初生幼体表型特征: 中华条颈龟孵出 1 h 内体重为 $(7.07 \pm 1.21)\text{ g}$ ($n=30$), 红耳龟为 $(9.45 \pm 1.04)\text{ g}$ ($n=42$), 二者存在极显著差异 ($t=8.933$, $df=70$, $P<0.001$)。以初始体重为协变量的方差分析结果表明, 红耳龟初生幼体背甲长和头高显著大于中华条颈龟初生幼体, 尾长却显著小于中华条颈龟, 而体高、背甲宽、腹甲长、头长和头宽差异不显著。(3) 室温条件下 (约 28°C) 运动能力: 中华条颈龟初生幼体的最大持续运动距离为 $(80.3 \pm 14.4)\text{ cm}$, 运动过程中停顿次数为 $(5.6 \pm 0.3)\text{ 次/min}$; 红耳龟初生幼体的最大持续运动距离为 $(29.8 \pm 11.7)\text{ cm}$, 停顿次数为 $(4.0 \pm 0.2)\text{ 次/min}$; 中华条颈龟和红耳龟初生幼体游完 1 m 泳道所用时间分别为 $(32.8 \pm 4.3)\text{ s}$ 和 $(61.2 \pm 7.2)\text{ s}$ 。因此, 与本土中华条颈龟相比, 红耳龟初生幼体个体较大, 剩余卵黄较多, 运动能力欠佳。研究结果为红耳龟外来入侵的生理适应机制研究提供了参考, 并为龟类的卵内繁殖投入研究提供了基础数据。

关键词: 红耳龟; 中华条颈龟; 剩余卵黄; 表型特征; 运动能力

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2017) 01-57-07

A Comparison Study on Residual Yolk, Morphological Change and Locomotion Performance Between Hatchlings of the Red-eared Slider Turtle (*Trachemys scripta elegans*) and the Chinese Stripe-necked Turtle (*Mauremys sinensis*)

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31360642, 31372228), 校级大学生创新项目 (No. 081165803);

* 通讯作者, E-mail: meilinghong_ecnu@aliyun.com;

第一作者介绍 盛成, 女, 硕士研究生; 研究方向: 生物学; E-mail: sngcng@foxmail.com.

收稿日期: 2016-03-15, 修回日期: 2016-08-14 DOI: 10.13859/j.cjz.201701007

SHENG Cheng^① HONG Mei-Ling^{①*} SHI Hai-Tao^{①②}

① College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou 571158; ② Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

Abstract: The Red-eared Slider Turtle (*Trachemys scripta elegans*) is ranked as one of the 100 world's worst invasive species. Our previous study found out that hatchlings of Red-eared Slider Turtle was able to survive for more than 30 days without eating any food. In order to reveal the underlying mechanism of this physiological phenomenon, we compared the morphological change between the Red-eared Slider Turtle and native Chinese Stripe-necked Turtle (*Mauremys sinensis*). We measured their body weight, body height, length and width of carapace, plastron length, head length, head width, head height and tail length and their locomotion performance, including maximum distance of continuous movement, stop times of 60 s running, and of 1 000 mm swimming within 1 h after hatched, and the dry weight of the residual yolk at 0 h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 240 h post hatching without providing any food. We got following results: (1) the dry weight of residual yolk in the Red-eared Slider Turtle was significantly higher than that in the Chinese Stripe-necked Turtle (20.5% vs. 5.2%, $t = 7.93$, $df = 18$, $P < 0.001$) hatched at the optimum temperature for yolk utilization (about 29°C). Without providing any food, the residual yolk in the Chinese Stripe-necked Turtles was 3.4% after 72 h, and was totally absorbed within 96 h. While the dry weight of residual yolk in the Red-eared Slider Turtle were 11.9% after 96 h hatched, and it took 31 days being totally absorbed (Table 2). That indicated the Red-eared Slider Turtle can suffered longer time of starvation with the heavier of residual yolk. (2) The initial body weight (measured within 1 h after hatched) of Red-eared Slider Turtle (9.45 ± 1.04 g, $n = 42$) is significantly greater than Chinese Stripe-necked Turtle (7.07 ± 1.21 g, $n = 30$) ($t = 8.933$, $df = 70$, $P < 0.001$). Analysis of covariance (ANCOVA) for testing body traits difference between these two species showed that only two values, carapace length and head height, were significantly greater in the Red-eared Slider Turtle than those in native turtle ($F_{(1, 69)} = 9.899$, $P = 0.002$; $F_{(1, 69)} = 7.102$, $P = 0.010$) while showed a shorter tail length ($F_{(1, 69)} = 526.93$, $P < 0.001$) and bigger body size in the Red-eared Slider Turtle than native turtle (Table 1). (3) The Chinese Stripe-necked Turtle made a continually moving 80.3 ± 14.4 cm maximally by stopping 5.6 ± 0.3 times/min. In contrast, the Red-eared Slider Turtle only moved 29.8 ± 11.7 cm by stopping 4.0 ± 0.2 times/min. It took 32.8 ± 4.3 s and 61.2 ± 7.2 s to swim 1 m for the Chinese Stripe-necked Turtle and the Red-eared Slider Turtle, respectively. These findings suggested that in contrast with the Chinese Stripe-necked Turtle, the Red-eared Slider Turtle hatchling had larger body size with more residual yolk, but had lower locomotion performance. All these biological characteristics helped the slider tolerance of starved. Our results could provide basic information on the invasive mechanism in Red-eared Slider Turtle.

Key words: Red-eared Slider Turtle, *Trachemys scripta elegans*; Chinese Stripe-necked Turtle, *Mauremys sinensis*; Residual yolk; Morphological change; Locomotion performance

红耳龟 (*Trachemys scripta elegans*), 又称巴西龟、红耳彩龟等, 原产于美国密西西比河至墨西哥湾周围地区, 已在欧洲、非洲、澳洲、亚洲和美国原产地以外的美洲等世界范围内成

功入侵, 被列为世界最危险的 100 个外来入侵物种之一 (ISSG/SSC 2001)。因此, 有关该种在世界范围内成功入侵的相关机理研究备受关注。野外研究已表明, 红耳龟可在我国海南、

广东等地成功入侵（李闯 2013）。在与本地物种的竞争对比研究方面，已发现红耳龟性成熟年龄早，繁殖力强，成体体型大，国内养殖实验已证明其繁殖力是乌龟（*Chinemys reevesii*）、黄喉拟水龟（*Mauremys mutica*）等本地种的数倍（吴建军 2003）；与其他龟混养时，在争夺食物和栖息场所方面占显著优势，而且还可能干扰其他龟的繁殖行为（Cadi et al. 2004）；红耳龟的适应能力及环境耐受能力（如缺氧、低温、污染等）极强（Jackson 2000, 詹球 2010, 张杰等 2011）。

我们前期研究发现，红耳龟孵出后剩余卵黄多，在不喂食条件下可存活一个月左右（待发表）。由于龟类无孵卵和喂食幼体行为，孵出幼体的发育状况、功能表现和适应性与其亲代卵内繁殖投入密切相关，而亲代抚育的繁殖投入作为卵内繁殖投入的一部分，主要以剩余卵黄形式存在于初生幼体内，用于早期的活动、维持和生长（Congdon et al. 1990, 杜卫国等 2001）。因此，对于缺乏亲代抚育的爬行动物而言，剩余卵黄是母体投入到卵内用于超过胚胎发育所需的物质和能量，是初生幼体出壳后最初几天甚至几个月的重要能源。如新生赤蠵龟（*Caretta caretta*）游到海洋前必须先从很深的巢穴中爬出，完成这些活动的能量由剩余卵黄供给（Kraemer et al. 1981）；极北蝾（*Vipera berus*）和某些淡水龟通常在活动季节的晚期孵出，其幼仔必须依赖剩余卵黄提供越冬能源（Bellairs et al. 1955）。红耳龟初生幼体较多的剩余卵黄可为其提供多长时间的营养供给？如果较多的剩余卵黄可以满足自身生长发育的需要，那么幼体的运动能力又将如何呢？为此，本研究以本土物种中华条颈龟（*M. sinensis*）为参照，比较两种龟初生幼体的表型特征、运动能力及剩余卵黄的消耗，为红耳龟外来物种入侵的生理适应机制研究提供参考依据，并为龟类的卵内繁殖投入提供基础数据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

实验用红耳龟和中华条颈龟卵各 100 枚，来自文昌龟鳖养殖场。所有卵均于产出当日收集，经可孵性鉴别和编号后，半埋于孵卵基质（由干蛭石与水以 1:1 比例配合而成，湿度设置为 -220 kPa）中，白斑朝上，然后置于带孔的塑料孵卵盒内，并用带孔的塑料薄膜覆盖，放置在温度为（29 ± 0.3）℃ 孵卵箱内，该温度为两种龟类卵黄最大利用的最佳温度。每日加水，以保持孵化盒内基质湿度恒定；并按预先设定的顺序调整孵卵盒在孵卵箱中的位置，以减少箱内温度梯度的影响。

幼龟孵出后在室温条件下（约 28℃）立即对其形态学指标及运动能力进行测量。之后在不投食的情况下，分别在孵出第 0 h、24 h、48 h、72 h、96 h、240 h 时随机分别取两物种各 10 只个体称重并解剖，在脐带和空肠结合处剪断，取出卵黄囊，将卵黄囊 65℃ 恒温干燥至恒重，比较两种龟的剩余卵黄量。余下的龟用于观察剩余卵黄被完全吸收所用时间。

1.2 方 法

1.2.1 表型特征的测量 幼体孵出后即被收集，用 JJ100 型精密电子天平（常熟双杰测试仪器厂，精度 0.01 g）称体重，用电子游标卡尺（上海台海工量具有限公司，精度 0.01 mm）测量体高、背甲长、背甲宽、腹甲长、头长、头宽、头高和尾长。

1.2.2 运动能力的测量 预先将幼龟置于室温水体中适应 0.5 h，然后放入总长度为 1 m、宽度 10 mm 玻璃直泳道内，泳道内摆放刻度 1 m 塑料直尺，水深 50 mm 左右。测定由专人用毛刷轻触幼体尾尖驱赶幼体，另一人用数码摄像机（SONY DSCT 100）记录幼体运动过程，之后用 Media Player Classic 软件分析行为录像。用静止不动个体数和游完全程 1 m 所用时间这两项指标衡量幼龟的游泳能力（杜卫国等 2004）。

运动表现在室温条件下的 200 cm × 10 cm

× 15 cm 直形木质跑道中测定, 跑道底面画有间隔 5 cm 标记线, 并模拟外界环境铺有一薄层细沙。实验中由专人驱赶 (但不触碰) 幼体, 另一人用数码摄像机 (SONY DSCT 100) 记录, 之后用 Media Player Classic 软件分析行为录像。用 60 s 内停顿次数和最大持续运动距离两项指标衡量幼体的跑步能力 (陈慧丽等 2002)。

1.3 数据处理

所得数据采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 统计软件处理。所有数据在进一步统计分析前, 用 Kolmogorov-Smirnov 和 F-max 分别检验正态性和方差的同质性。若初始体重与各检测指标之间显著相关, 则用初始体重为协变量, 采用一般线性模型 (General Linear Model) 中单变量方差分析 (Univariate) 检验两种龟之间指标的差异显著性; 否则采用独立样本 *t* 检验比较两种龟所检测指标的差异显著性。采用卡方 (χ^2) 检验统计两种幼龟游泳能力测定中静止不动个体数的差异显著性。所有实验数据统计值均用平均值 ± 标准差表示, 如果采用协方差分析, 校正后的结果采用平均值 ± 标准误表示, 比较校正平均值前, 检验斜率的均一性。显著

性水平 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 两种龟初生幼体表型特征的比较

中华条颈龟孵出 1 h 内初始体重为 (7.07 ± 1.21) g ($n = 30$), 显著低于红耳龟 (9.45 ± 1.04) g ($n = 42$) ($t = 8.933$, $df = 70$, $P < 0.001$)。两种龟孵出 1 h 表型特征指标的测量结果见表 1。经相关性分析, 各表型指标与体重存在显著的相关性, 故以体重为协变量, 对其他各表型指标进行协方差分析。红耳龟背甲长和头高显著大于中华条颈龟, 尾长却显著小于中华条颈龟, 其余各指标差异不显著。

2.2 运动能力的比较

2.2.1 跑步能力 在本研究中, 分别测定了 30 只红耳龟和中华条颈龟的跑步能力。大部分红耳龟个体卵黄囊过大, 在跑道上拒绝运动或运动距离极短又折回起点, 所以对应个体列为不跑动个体, 其相关数据不计入以下分析当中。由于各运动指标与初始体重相关性不显著, 故采用独立样本 *t* 检验比较差异显著性。

最大持续运动距离红耳龟为 (29.8 ±

表 1 中华条颈龟和红耳龟初生幼体表型特征的比较 (单位: mm)

Table 1 A comparison on body traits between the hatchlings of Chinese Stripe-necked Turtle and Red-eared Slider Turtle (Unit: mm)

	中华条颈龟 ($n = 30$) Chinese Stripe-necked Turtle	红耳龟 ($n = 42$) Red-eared Slider Turtle	$F_{(1, 69)}$	P
背甲长 Carapace length	30.04 ± 0.51	33.01 ± 0.64	9.899	$P < 0.01$
背甲宽 Carapace width	27.50 ± 0.61	27.74 ± 0.49	0.066	$P > 0.05$
腹甲长 Plastron length	28.27 ± 0.60	28.32 ± 0.48	0.003	$P > 0.05$
体高 Body height	15.48 ± 0.44	16.13 ± 0.35	0.994	$P > 0.05$
头长 Head length	11.11 ± 0.29	11.31 ± 0.23	0.227	$P > 0.05$
头宽 Head width	8.28 ± 0.13	8.57 ± 0.10	2.341	$P > 0.05$
头高 Head height	6.65 ± 0.17	7.33 ± 0.14	7.102	$P < 0.01$
尾长 Tail length	25.33 ± 0.46	9.65 ± 0.37	526.930	$P < 0.01$

数据用校正平均值 ± 标准误表示, 龟的初始体重为协变量。进行协方差分析时, 模型中出现的协变量以初始体重 8.4592 g 进行相应处理。

Data are expressed as adjusted Mean ± SE, with initial body weight as the covariate. Covariates appearing in the model are evaluated at the following values: initial body weight = 8.4592 g.

11.7) cm ($n = 12$), 而中华条颈龟为 (80.3 ± 14.4) cm ($n = 30$), 两者相差约 50 cm, 且差异显著 ($t = 2.23$, $df = 40$, $P < 0.05$)。在整个运动过程中, 红耳龟停顿 (4.0 ± 0.2) 次/min, 中华条颈龟停顿 (5.6 ± 0.4) 次/min, 二者差异显著 ($t = 2.66$, $df = 40$, $P < 0.01$)。综合两项指标分析, 与中华条颈龟初生幼体相比, 红耳龟最大运动距离短但每分钟停顿次数少。

2.2.2 游泳能力 在直泳道上, 红耳龟静止不动个体数所占比例为 21.6% (8/37), 而中华条颈龟仅为 7.4% (2/27), 但两者之间差异不显著 ($\chi^2 = 2.392$, $P > 0.05$)。在随后的运动表现统计分析中未包含这些不运动的个体。经相关性检验分析, 两种幼龟游完 1 m 所用时间与体重不相关性, 因此, 采用独立样本 t 检验对两种龟游完全程的时间进行检验, 红耳龟共耗时 (61.2 ± 7.2) s ($n = 29$), 中华条颈龟 (32.8 ± 4.3) s ($n = 25$), 前者显著长于后者 ($t = 3.08$, $df = 52$, $P < 0.01$)。

2.3 中华条颈龟和红耳龟初生幼体剩余卵黄量比较

刚孵出红耳龟的剩余卵黄量占总体重 20.5% 左右, 是中华条颈龟初生幼体剩余卵黄量 (约 5.21%) 4 倍左右 (表 2)。随着孵出时间的延长, 剩余卵黄量逐渐减少。在不投食情况下, 中华条颈龟经 72 h 后剩余卵黄量仅占体重 3.36%, 至 96 h 已基本吸收完全; 而红耳龟经 72 h 后剩余卵黄量还是体重的 11.96%, 经 240 h 后剩余卵黄量占体重比仍高达 6.81% (表

2)。240 h 以后, 仅观察了剩余的 8 只红耳龟剩余卵黄全部被吸收所用的时间, 平均约为 31 d。

3 讨论

对爬行类的研究表明, 较小的幼体在运动、捕食、避敌能力和社群地位等方面处于相对劣势, 因而具有较低的适应度, 而对外界环境适应度较低的幼体, 其生存能力和生长速率都相对较低, 能够存活生长成为性成熟个体的几率亦较低 (Avery et al. 1982, Garland et al. 1990)。在本研究中, 红耳龟幼体表型特征指标 (除尾长外) 均高于中华条颈龟, 这说明红耳龟幼体表型要大于中华条颈龟。较大的幼体表型再结合较快的生长速度 (吴建军 2003), 使红耳龟成体与其他龟的各种资源竞争中均占有较大的优势, 魏朝军等 (2012) 针对红耳龟和中华条颈龟成体摄食、晒壳场所等的竞争试验发现, 红耳龟摄食竞争能力及争抢晒壳场所能力均强于中华条颈龟。因此, 红耳龟较大的幼体表型特征是其适应能力及入侵能力强的一个方面。

通常, 运动表现较好的个体, 最大持续运动距离应较大而单位时间停顿次数应较少, 运动能力越好, 则可以更好地躲避外界捕食者的侵袭和捕食, 有利于其生存 (赵伟华等 2009), 而且最大持续运动距离代表动物运动的耐力 (张永普等 2003)。因此, 作为适应能力及入侵能力强的红耳龟, 其运动能力在理论上应很强, 但本研究对刚孵出的红耳龟初生幼体的运

表 2 中华条颈龟与红耳龟剩余卵黄占体重比例比较 (%)

Table 2 A comparison on residual yolk content between the hatchlings of Chinese Stripe-necked Turtle and Red-eared Slider Turtle

	0 h ($n = 10$)	24 h ($n = 10$)	48 h ($n = 10$)	72 h ($n = 10$)	96 h ($n = 10$)	240 h ($n = 10$)
红耳龟 Red-eared Slider Turtle	20.50 ± 4.98	13.72 ± 1.52	12.95 ± 2.63	11.96 ± 2.38	11.87 ± 1.82	6.81 ± 2.04
中华条颈龟 Chinese Stripe-necked Turtle	5.21 ± 2.86	4.16 ± 1.40	3.74 ± 1.88	3.36 ± 1.19	0	0
P (t 检验 t -test)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001		

动力测试结果表明, 本土中华条颈龟初生幼体的最大持续运动距离显著高于红耳龟, 而且红耳龟游泳能力和游泳速度均不如中华条颈龟, 这说明刚孵出的红耳龟运动耐力及运动速度均弱于中华条颈龟。红耳龟较大的剩余卵黄积存于腹部, 使它的运动受限。Bellairs 等 (1955) 野外调查表明, 红耳龟孵出后一般在原地不动, 在寒冷地区有些幼龟可在孵化地过冬, 等第二年春天来临再出来活动。这一方面说明红耳龟刚孵出时运动能力并不强, 另一方面也说明红耳龟孵出后不需觅食也可存活一段时间, 而这种存活所需的物质基础主要为剩余卵黄。

研究表明, 剩余卵黄的功能主要是提供早期活动的能量以及支持早期生长。在某些爬行动物中, 剩余卵黄是其出壳后最初几天甚至几个月的重要能源。Kraemer 等 (1981) 研究发现, 新生赤蠵龟从很深的巢穴中爬出到达养鱼场过程中所需能量均由剩余卵黄供给。此外, 剩余卵黄内蛋白质、矿物质含量均较高, 可供新生幼仔身体组织的构建 (Troyer 1987)。在本研究中, 红耳龟剩余卵黄占体重的比例显著高于中华条颈龟, 在孵出 96 h 后中华条颈龟剩余卵黄已被完全吸收, 而红耳龟的剩余卵黄可维持机体一个月左右的能量供应, 说明红耳龟孵出后较多的剩余卵黄可使机体在较长一段时间内无需外界食物供给, 耐饥力强。因此可以推断, 如果野外的红耳龟孵出后可以依赖自身的剩余卵黄提供营养需要, 不需要四处觅食, 这将在很大程度上减少幼体饿死或在觅食过程中被捕食的风险, 提高其生存适应性。但有关于野外红耳龟幼体剩余卵黄的消耗及生存适应方式还有待于进一步研究。

综上所述, 在最适温度孵化条件下, 外来物种红耳龟初生幼体体型显著大于本土物种中华条颈龟, 二者均具有一定量的剩余卵黄, 且红耳龟的剩余卵黄量显著高于中华条颈龟。在不投食情况下, 红耳龟剩余卵黄在 31 日龄才被完全吸收, 而中华条颈龟仅在孵出 96 h 后已基

本被吸收, 这在一定程度上也使红耳龟幼体不需大量运动取食而依靠剩余卵黄就可以获得生长所需的能量, 同时腹下较大的剩余卵黄也阻止了它自身的运动从而使其运动能力显著不如中华条颈龟。实验结果可以为红耳龟生态入侵提供基础数据, 并丰富龟类卵内繁殖投入的基础研究。

致谢 感谢课题组傅丽容老师在龟卵孵化过程中的技术指导, 以及本科生欧静、张莉、高茜、周思宇等同学在龟体型指标测定、剩余卵黄的解剖烘干等方面的辛苦付出!

参 考 文 献

- Avery R A, Bedford J D, Newcombe C P. 1982. The role of thermoregulation in lizard biology: Predatory efficiency in a temperate diurnal basker. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 11(4): 261–267.
- Bellairs R, Griffiths A D, Bellairs A. 1955. Placentation in the adder, *Viper berus*. *Nature*, 176(4483): 657–658.
- Cadi A, Joly P. 2004. Impact of the introduction of the red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*) on survival rates of the European pond turtle (*Emys orbicularis*). *Biodiversity and Conservation*, 13(13): 2511–2518.
- Congdon J D, Gibbons J W. 1990. Turtle eggs: their ecology and evolution // Gibbons J W. *Life History and Ecology of the Slider Turtle*. Washington D C: Smithsonian Institution Press, 109–123.
- Garland T, Bennett A F, Daniels C B. 1990. Heritability of locomotor performance and its correlates in a natural population. *Experientia*, 46(5): 530–533.
- ISSG/SSC. 2001. 100 of the world's worst invasive species. *Species*, 35: 5.
- Jackson D C. 2000. Living without oxygen: lessons from the freshwater turtle. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 125(3): 299–315.
- Kraemer J E, Bennett S H. 1981. Utilization of posthatching yolk in loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*. *Copeia*, 1981(2): 406–411.
- Troyer K. 1987. Posthatching yolk in a lizard: internalization and

- contribution to growth. *Journal of Herpetology*, 21(2): 102–106.
- 陈慧丽, 计翔. 2002. 热环境对虎斑颈槽蛇卵孵化期、孵化成功率和孵出幼体特征的影响. *生态学报*, 22(11): 1850–1858.
- 杜卫国, 计翔, 徐卿. 2001. 中华鳖孵化过程中物质和能量的动态. *动物学报*, 47(4): 371–375.
- 杜卫国, 郑荣泉. 2004. 不同孵化湿度下的乌龟卵孵化成功率及新生幼体特征. *动物学报*, 50(1): 133–136.
- 李闯. 2013. 海南万泉河红耳龟 (*Trachemys scripta elegans*) 野外繁殖研究. 海南: 海南师范大学硕士学位论文, 5–6.
- 魏朝军, 杨志兵, 洪美玲, 等. 2012. 外来种红耳龟和本地种中华条颈龟耐饥饿能力比较研究. *四川动物*, 31(3): 430–434.
- 吴建军. 2003. 巴西彩龟繁殖生物学、孵化环境及稚龟生长的研究. 湖南: 湖南农业大学硕士学位论文, 6–7.
- 詹球. 2010. 巴西红耳龟抗逆条件下生理生化变化及其研究成果的应用. 湖南: 湖南师范大学硕士学位论文, 6–8.
- 张杰, 洪美玲, 廖广桥, 等. 2011. 亚硝酸盐暴露对红耳龟与中华条颈龟幼体的慢性毒性效应. *四川动物*, 30(2): 173–177.
- 张永普, 潘志崇, 计翔. 2003. 红耳滑龟幼体的热耐受性、体温和运动表现热依赖性. *生态学报*, 23(6): 1048–1056.
- 赵伟华, 朱新平, 郭捡红, 等. 2009. 湿度对黄喉拟水龟胚胎发育与新生幼体特征的影响. *生态学报*, 29(4): 1704–1709.