

引文格式: 左之良, 彭治桃, 田璐, 等. 不同介质、温度对中华鳖胚胎发育与幼鳖形态特征及运动机能的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2024, 39(4): 38–44. DOI: [10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).202311036](https://doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).202311036)

## 不同介质、温度对中华鳖胚胎发育与幼鳖形态特征及运动机能的影响\*

左之良<sup>1,2</sup>, 彭治桃<sup>1</sup>, 田璐<sup>1,2</sup>, 吴启藩<sup>1,2</sup>, 李成<sup>1</sup>, 高峰<sup>1</sup>, 肖何威<sup>1,2</sup>, 向劲<sup>1\*\*</sup>  
(1. 湖南省水产原种场, 湖南长沙 410153; 2. 湖南省水产科学研究所, 湖南长沙 410153)

**摘要:**【目的】探究介质和温度对中华鳖胚胎发育、初生幼鳖形态特征及运动机能的影响, 优化孵化环境参数, 为人工繁育和种质资源保护工作提供理论依据与技术参考。【方法】通过正交试验设置了 3 组温度 (28、30、32 °C) 和 3 种介质 (蛭石、沙子、无介质), 采用双因素方差分析温度和介质对中华鳖孵化率、孵化期、幼鳖质量、背甲长、背甲宽、背甲高和游泳速度的影响。【结果】随着温度的升高, 孵化率显著升高 ( $P<0.05$ ), 孵化期显著缩短 ( $P<0.05$ ); 幼鳖质量、背甲长和游泳速度均显著提升 ( $P<0.05$ )。孵化介质对孵化率、幼鳖质量、背甲长、背甲宽、背甲高和游泳速度均产生显著影响 ( $P<0.05$ ), 且蛭石组的上述指标均显著高于其他组 ( $P<0.05$ )。介质和温度的交互作用对幼鳖质量和游泳速度有显著影响 ( $P<0.05$ )。【结论】温度为 32 °C、蛭石作为孵化介质时, 中华鳖孵化率最高, 孵化期最短, 孵出的幼鳖个体相对较大, 并表现出较强的运动机能。

**关键词:** 中华鳖; 温度; 介质; 胚胎发育; 交互作用

中图分类号: S917.4

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X (2024) 04-0038-07

## Effects of Different Mediums and Temperatures on Embryonic Development, Morphological Characteristics and Motor Function of Larval *Pelodiscus sinensis*

ZUO Zhiliang<sup>1,2</sup>, PENG Zhitao<sup>1</sup>, TIAN Lu<sup>1,2</sup>, WU Qifan<sup>1,2</sup>, LI Cheng<sup>1</sup>,  
GAO Feng<sup>1</sup>, XIAO Hewei<sup>1,2</sup>, XIANG Jin<sup>1</sup>

(1. Aquatic Products Seed Stock Station in Hunan Province, Changsha 410153, China;

2. Hunan Fisheries Science Institute, Changsha 410153, China)

**Abstract:** [Purpose] To explore the effects of different mediums and temperatures on the embryonic development, morphological characteristics and motor function of larval *Pelodiscus sinensis*, and to optimize incubation environment parameters, providing theoretical basis and technical reference for artificial breeding and germplasm resources protection. [Methods] Three groups of temperatures (28, 30, 32 °C) and three medium environments (vermiculite, sand and no medium) were set up by orthogonal test, and the effects of temperatures and mediums on incubation rate, incubation

收稿日期: 2023-11-30

修回日期: 2024-08-05

网络首发日期: 2024-09-03

\*基金项目: 湖南省科技厅重点研发项目 (2021NK2013)。

作者简介: 左之良 (1989—), 男, 湖南株洲人, 硕士, 工程师, 主要从事水产动物遗传育种研究。

E-mail: [1198824880@qq.com](mailto:1198824880@qq.com)

\*\*通信作者 Corresponding author: 向劲 (1986—), 男, 湖南常德人, 硕士, 高级工程师, 主要从事水产养殖与渔业环境研究。E-mail: [xiangjin1023@163.com](mailto:xiangjin1023@163.com)

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/53.1044.S.20240903.0933.002>



period, larval weight, carapace length, carapace width, carapace height, and swimming speed of *P. sinensis* were analyzed by two-way ANOVA. [Results] As the temperature increased, the incubation rate significantly increased ( $P<0.05$ ), the incubation period significantly shortened ( $P<0.05$ ), and the larval weight, carapace length, and swimming speed all significantly increased ( $P<0.05$ ). The incubation medium had significant effects on incubation rate, larval weight, carapace length, carapace width, carapace height and swimming speed ( $P<0.05$ ); among them, the above indexes of the vermiculite group were significantly higher than other groups ( $P<0.05$ ). The interaction between temperature and medium had significant effects on the larval weight and swimming speed of *P. sinensis* ( $P<0.05$ ). [Conclusion] When incubating *P. sinensis*, the temperature sets at 32 °C, and vermiculite is used as the incubation medium, the incubation rate is the highest, the incubation period is the shortest, and the incubating individual is relatively larger and shows stronger motor function.

**Keywords:** *Pelodiscus sinensis*; temperature; medium; embryonic development; interaction

中华鳖 (*Pelodiscus sinensis*) 隶属于爬行纲 (Reptilia) 龟鳖目 (Chelononia) 鳖科 (Trionychidae) 鳖属 (*Pelodiscus*), 俗称甲鱼、团鱼等, 主要分布于东亚地区, 在中国广泛分布于青海、西藏和新疆以外的地区<sup>[1]</sup>。中华鳖具有丰富的食用价值、药用价值和研究价值, 深受市场欢迎, 是中国重要的特种水产养殖品种之一。20 世纪 90 年代以来, 中华鳖养殖产业在中国得到了长足发展, 养殖规模与产量随着养殖技术的提升而不断扩大和增长。2023 年, 国内中华鳖养殖产量达到  $4.98 \times 10^5$  t, 较上一年增长 33.13%<sup>[2]</sup>。由于野生中华鳖资源有限且繁殖稳定性较低, 种苗来源完全依靠人工孵化, 对鳖苗需求量的与日俱增和优质鳖苗短缺造成的供需矛盾严重制约着中华鳖产业的进一步发展, 因此, 通过改善孵化条件提升孵化率与鳖苗质量, 已成为中华鳖养殖业的重要研究方向<sup>[3]</sup>。

目前, 科研人员围绕介质和温度对中华鳖胚胎发育的影响开展了一系列研究, 主要集中于不同孵化温度影响鳖卵发育<sup>[4-5]</sup>、初生幼鳖形态特征<sup>[6]</sup>、运动能力<sup>[7]</sup>和早期生长<sup>[8]</sup>及免疫机能<sup>[9-10]</sup>, 以及不同孵化介质影响鳖卵孵化性比<sup>[11]</sup>、孵化率<sup>[12]</sup>和孵化期<sup>[13]</sup>等研究。研究发现: 鳖卵发育的适宜温度为 22~36 °C<sup>[14]</sup>, 但有待进一步确定更小的温度范围; 现有研究对孵化环境的介质种类设置不够全面, 同时缺乏介质环境对中华鳖幼体表型特征、运动机能等影响的研究; 介质与温度对中华鳖孵化的交互、协同作用研究也鲜有报道。系统研究不同介质与温度对中华鳖胚胎发育的影响, 有助于进一步揭示中华鳖对孵化环境的响应规

律。基于此, 本研究设置了不同孵化介质和温度, 分析其对中华鳖胚胎发育和初生幼鳖形态特征及运动机能的影响, 旨在探索中华鳖适宜的孵化环境条件, 为其人工繁育与种质资源保护工作提供理论依据与技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2022 年 6—8 月在湖南中华鳖国家级原种场进行, 试验所用中华鳖受精卵来自该场。鳖卵产出后约 15~30 h, 胚胎开始固定, 若卵壳一端出现 1 个边缘清晰、光滑的圆形白色亮区, 即动物极, 则判断为正常受精卵, 试验留用。在同一天收集产出的鳖卵中, 随机挑选 810 枚受精卵作为试验材料。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 受精卵孵化

分别设置蛭石、沙子和无介质 3 种介质以及高温  $[(32.0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}]$ 、中温  $[(30.0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}]$  和低温  $[(28.0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}]$  3 种温度, 于 3 台恒温孵化柜 (F-168S, 中山市优盛电器有限公司) 中进行孵化试验。蛭石选用粒径 3.0~6.0 mm 的龟鳖孵化专用白蛭石, 沙子选用粒径 0.3~0.5 mm 的细河沙, 无介质选用“井”字形塑料鳖卵架。以双因子正交试验对介质与温度进行组合, 共 9 种孵化环境开展试验。在每一种介质和温度环境下设置 3 个平行组, 每组 30 枚卵, 共 810 枚卵随机分配到 27 个尺寸为 34 cm×22 cm×13 cm 的塑料孵化盒中, 根据介质类型将孵化盒平均分配到 3 台恒温孵化

柜中。

鳖卵摆放时，孵化盒底部铺 1 层厚约 5 cm 的蛭石或沙子，受精卵动物极朝上摆放，依次间隔摆好，再在卵上覆盖 1 层厚 2~3 cm 的蛭石或沙子，喷雾操作至含水量约 8%；无介质孵化盒底部加注深 2 cm 的水，将鳖卵整齐排列在鳖卵架“井”字形的小方孔上<sup>[6]</sup>。孵化期间孵化柜内空气湿度保持在 85%~90%，每台孵化柜配备温湿度监测仪，用于实时监测并确保孵化环境的稳定性。

### 1.2.2 指标测定

鳖卵入箱前用 Meilen 精密电子天平称量卵质量，各组环境中受精卵质量无显著差异 ( $P\geq0.05$ )。受精卵入孵日期与幼鳖出壳日期的差值即为孵化期，记录鳖卵的孵化期并统计孵化率。幼鳖出壳后即被收集，分别放入水深 5 cm 的暂养箱中，并逐个称量幼鳖质量，以游标卡尺测量背甲的长、宽、高 (精确到 0.01 mm)。

参考 WEI 等<sup>[15]</sup>的方法测量幼鳖的游泳速度。首先，将幼鳖置于室温水体中适应 2 h 以上，以减少体温差异对幼鳖运动机能的影响；然后，在长 120 cm、宽 10 cm、高 8 cm 的直行水槽内测量游泳速度，水深设置为 5 cm，在水槽两端各 10 cm 处设置起点线和终点线，水槽边摆放带刻度的塑料软尺。测量时将幼鳖轻轻放于起点线后方，用

毛笔轻轻触碰臀盾位置 (但不推动) 驱使其向前游动，直至幼鳖通过终点线即完成 1 次测量，每只幼鳖重复测量 3 次。使用 QuickTimePlayer 软件分析游泳时间，以单次持续游过 1 m 所用最短时间作为衡量运动机能的标准。

### 1.3 数据处理与统计分析

试验数据采用 SPSS 21 进行统计与分析，采用 Origin 2021 作图。在参数分析前，分别使用 Kolmogorov-Smirnov 和 Levene 检验其正态性和方差的同质性，使用双因素方差分析 (two way-ANOVA) 评估介质和温度对孵化率、幼鳖表型特征及游泳速度的交互作用，并对孵化温度和孵化期的线性相关性进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 介质和温度对鳖卵胚胎发育的影响

由表 1 可知：鳖受精卵孵化率随温度升高而提高，高温组的孵化率显著高于中、低温度组 ( $P<0.05$ )；对不同介质进行比较，蛭石组的孵化率在不同温度处理下均最高且相近，显著高于同温度 (28 和 30 ℃) 下的沙子和无介质处理 ( $P<0.05$ )。随着温度的升高，沙子组的孵化率先降低后升高，最佳孵化率为 32 ℃ 下的 80.39%；而无介质组的孵化率先升高后降低，最佳孵化率为 30 ℃ 下的 77.32%。

表 1 不同介质和温度下鳖的孵化率与孵化期

Tab. 1 Incubation rate and incubation period of *Pelodiscus sinensis* under different mediums and temperatures

| 孵化温度/℃<br>incubation temperature                                          | 指标<br>index             | 介质类型<br>medium type |              |                  | 同温度不同介质的平均值<br>mean value of different mediums<br>under the same temperature |                            |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|--------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
|                                                                           |                         | 蛭石<br>vermiculite   | 沙子<br>sand   | 无介质<br>no medium | 孵化率/%<br>incubation rate                                                     | 孵化期/d<br>incubation period |
| 28                                                                        | 孵化率/% incubation rate   | 83.11±1.48 a        | 66.67±1.43 b | 59.23±2.55 c     | 69.67±10.71 c                                                                | 55.73±1.84 a               |
|                                                                           | 孵化期/d incubation period | 56.31±0.98 a        | 55.55±0.80 a | 55.33±0.73 a     |                                                                              |                            |
| 30                                                                        | 孵化率/% incubation rate   | 83.14±1.07 a        | 60.52±0.74 c | 77.32±1.22 b     | 73.66±10.21 b                                                                | 41.55±1.77 b               |
|                                                                           | 孵化期/d incubation period | 41.84±1.55 a        | 41.73±2.26 a | 41.09±2.14 a     |                                                                              |                            |
| 32                                                                        | 孵化率/% incubation rate   | 83.15±1.34 a        | 80.39±2.85 a | 73.86±1.01 b     | 79.13±4.44 a                                                                 | 38.53±1.73 c               |
|                                                                           | 孵化期/d incubation period | 39.42±0.66 a        | 38.65±2.00 a | 37.53±2.18 a     |                                                                              |                            |
| 同介质不同温度的平均值<br>mean value of different temperatures<br>in the same medium | 孵化率/% incubation rate   | 83.13±1.13 a        | 69.19±8.96 c | 70.14±8.45 b     | —                                                                            | —                          |
|                                                                           | 孵化期/d incubation period | 45.85±7.97 a        | 45.31±6.52 a | 44.65±8.30 a     |                                                                              |                            |

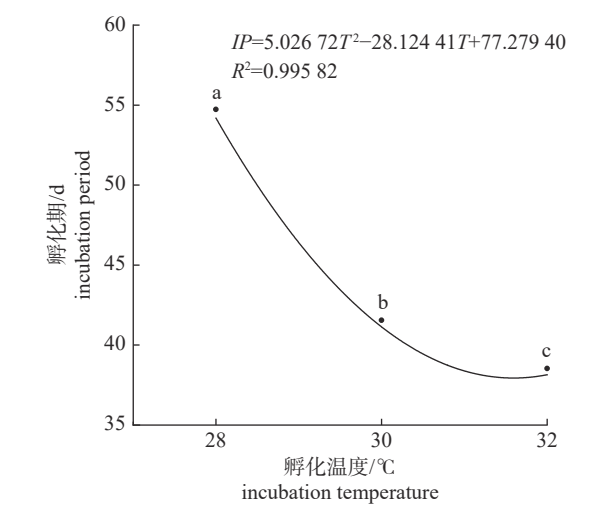
注：“\*”列数据为纵向比较，其他数据为横向比较。不同小写字母表示处理间有显著差异 ( $P<0.05$ )；下同。  
Note: The “\*” column data are compared vertically, and the other data are compared horizontally. Different lowercase letters indicate significant differences among treatments ( $P<0.05$ ); the same as below.

由表 1 还可知: 3 组介质的孵化期无显著差异 ( $P\geq 0.05$ ); 随着温度的升高, 各介质组的孵化期均显著缩短 ( $P<0.05$ )。由图 1 可知: 孵化温度与孵化期呈非线性相关 ( $R^2=0.996$ )。由于 3 种介质的孵化期较接近, 因此孵化积温无明显差异; 而 28 ℃ 环境下孵化积温为 37840.32 ℃·h, 30 ℃ 环境下孵化积温为 30124.8 ℃·h, 32 ℃ 环境下孵化积温为 30274.56 ℃·h, 可见, 30 ℃ 与 32 ℃ 环境下孵化积温较接近, 均远低于 28 ℃ 孵化环境。

2.2 介质、温度及其交互作用对初生幼鳖表型的影响

由表 2 可知: 随着温度的升高, 幼鳖质量、背甲长和背甲高逐渐增大, 背甲宽先增大后减小; 对不同介质进行比较, 蛭石组孵出的幼鳖质量、背甲长、背甲宽和背甲高均显著大于沙子组和无介质组 ( $P<0.05$ )。以受精卵质量为协变量, 使用双因素方差分析介质和温度对鳖幼鳖表型的影响发现: 介质和温度的交互作用对幼鳖的背甲长、宽、高无显著影响 ( $P>0.05$ ), 对幼鳖质量有显著影响 ( $P<0.05$ )。蛭石环境孵化出的幼鳖质量

最高, 均值为 3.30 g; 低温条件下, 沙子组的幼鳖质量小于无介质组, 但随着温度升高, 沙子孵化的幼鳖质量逐渐大于无介质组。



注: 不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。  
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ( $P<0.05$ ).

图 1 鳖受精卵孵化期与孵化温度拟合曲线  
Fig. 1 Fitting curve between incubation period (IP) of fertilized eggs and incubation temperatures (T)

| 表 2 介质和温度对幼鳖质量、背甲长、宽、高的影响                                                                                                                  |                     |                |                           |                          |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Tab. 2 Effects of mediums and temperatures on the larval weight, carapace length, carapace width and carapace height of <i>P. sinensis</i> |                     |                |                           |                          |                           |
| 孵化温度/℃<br>incubation temperature                                                                                                           | 介质类型<br>medium type | 质量/g<br>weight | 背甲长/mm<br>carapace length | 背甲宽/mm<br>carapace width | 背甲高/mm<br>carapace height |
| 28                                                                                                                                         | 蛭石 vermiculite      | 3.27±0.07 a    | 20.33±0.63 a              | 19.15±0.60 a             | 8.53±0.17 a               |
|                                                                                                                                            | 沙子 sand             | 2.95±0.12 b    | 19.62±0.20 b              | 18.30±0.33 b             | 8.34±0.04 b               |
|                                                                                                                                            | 无介质 no medium       | 3.15±0.16 b    | 19.48±0.78 b              | 18.37±0.27 b             | 8.68±0.22 a               |
|                                                                                                                                            | 平均值 mean value      | 3.12±0.17 B    | 19.81±0.65 B              | 18.61±0.55 A             | 8.52±0.20 A               |
| 30                                                                                                                                         | 蛭石 vermiculite      | 3.28±0.13 a    | 20.76±0.31 a              | 19.19±0.31 a             | 8.58±0.14 a               |
|                                                                                                                                            | 沙子 sand             | 3.20±0.18 b    | 20.39±0.72 b              | 19.15±1.06 a             | 8.63±0.17 ab              |
|                                                                                                                                            | 无介质 no medium       | 3.06±0.17 b    | 19.67±0.36 c              | 18.25±0.56 b             | 8.44±0.27 b               |
|                                                                                                                                            | 平均值 mean value      | 3.18±0.17 A    | 20.27±0.65 A              | 18.86±0.77 A             | 8.55±0.19 A               |
| 32                                                                                                                                         | 蛭石 vermiculite      | 3.35±0.24 a    | 21.04±0.55 a              | 19.20±0.38 a             | 8.77±0.33 a               |
|                                                                                                                                            | 沙子 sand             | 3.36±0.10 a    | 20.54±0.76 ab             | 18.76±0.90 ab            | 8.61±0.34 a               |
|                                                                                                                                            | 无介质 no medium       | 3.21±0.20 a    | 19.94±0.22 b              | 18.21±0.26 b             | 8.60±0.26 a               |
|                                                                                                                                            | 平均值 mean value      | 3.31±0.18 A    | 20.51±0.68 A              | 18.72±0.66 A             | 8.66±0.28 A               |
| 综合评价 comprehensive evaluation                                                                                                              | 蛭石 vermiculite      | 3.30±0.15 a    | 20.71±0.54 a              | 19.18±0.39 a             | 8.63±0.23 a               |
|                                                                                                                                            | 沙子 sand             | 3.17±0.22 b    | 20.18±0.69 b              | 18.74±0.80 b             | 8.53±0.24 b               |
|                                                                                                                                            | 无介质 no medium       | 3.14±0.17 b    | 19.70±0.49 c              | 18.28±0.34 c             | 8.57±0.24 b               |
| P值 P-value                                                                                                                                 |                     |                |                           |                          |                           |
| 孵化温度 (T) incubation temperature                                                                                                            |                     | 0.006          | 0.001                     | 0.109                    | 0.101                     |
| 介质 (M) medium                                                                                                                              |                     | 0.000          | 0.000                     | 0.000                    | 0.009                     |
| T×M                                                                                                                                        |                     | 0.023          | 0.828                     | 0.477                    | 0.073                     |

注: 不同大写字母表示不同温度下3种介质的平均值存在显著差异( $P<0.05$ )。  
Note: Different uppercase letters indicate there are significant differences in the mean value of the three mediums at different temperatures ( $P<0.05$ ).

### 2.3 介质、温度及其交互作用对初生幼鳖运动机能的影响

由图 2 可知：随着温度的升高，各介质组幼鳖的游泳速度均逐渐增大；蛭石组幼鳖游泳速度在各温度条件下均大于沙子组和无介质组。以初生幼鳖质量为协变量，使用双因素方差分析介质和温度对幼鳖游泳速度的影响，发现介质和温度的交互作用对幼鳖游泳速度有显著影响 ( $P<0.05$ )。低温时，沙子组幼鳖的游泳速度小于无介质组；随着温度升高，沙子组幼鳖的游泳速度逐渐大于无介质组。

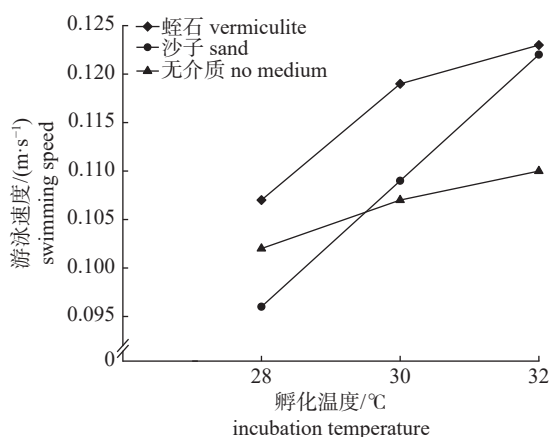


图 2 介质、温度对孵出幼鳖游泳速度的影响

Fig. 2 Effects of mediums and temperatures on the incubating larval swimming speed of *P. sinensis*

## 3 讨论

### 3.1 介质和温度对鳖卵胚胎发育的影响

#### 3.1.1 对鳖卵孵化率的影响

孵化率是评价孵化成功与否的重要指标，受介质、温度等环境因子的影响<sup>[16-17]</sup>。本研究中，蛭石组的孵化率最高且显著高于沙子组和无介质组 ( $P<0.05$ )，该结果与对黄喉拟水龟 (*Mauremys mutica*) 的研究结果<sup>[18]</sup>类似，这可能得益于蛭石良好的透气性、保水性等综合性能，能保证胚胎发育所需氧气和良好的保湿效果，促进胚胎发育，从而提高孵化率。已有研究表明：在适宜范围内，较高温度组的孵化率相对较高<sup>[17, 19]</sup>。本研究结果与上述结论一致，推测可能是鳖卵在适宜温度下孵化，物质和能量转化率相对较高，胚胎发育良好，提升了孵化成功率<sup>[4]</sup>。本研究发现：无介质组的孵化率在中温 (30 °C) 时最高，表明缺

少孵化介质的环境下，孵化率随着温度升高而继续提升的上限范围可降低至约 30 °C。综上所述，以蛭石为孵化介质、温度 32 °C 是适合鳖卵孵化的最佳环境。

#### 3.1.2 对鳖卵孵化期的影响

孵化期的长短关系到幼鳖越冬前的生长周期和能量储备，影响幼鳖的生存和翌年放养规格。已有研究发现龟、鳖孵化期受介质影响<sup>[13, 18]</sup>，但也有学者表明鳄龟 (*Chelydra serpentina*) 的孵化期不受介质影响<sup>[20]</sup>，造成结论存在分歧的主要原因或为前者孵化试验在自然温度下进行，不同介质的温、湿度缓冲性能存在较大差异，导致介质通过其他环境因子间接影响孵化期。本研究在恒温恒湿环境下进行，确保温、湿度恒定。本研究表明：蛭石、沙子和无介质组间的孵化期差异较小，介质对中华鳖受精率孵化期无显著影响。在对中华草龟 (*M. reevesii*)<sup>[15]</sup>、黄喉拟水龟<sup>[21]</sup>、黄缘闭壳龟 (*Cuora flavomarginata*)<sup>[22]</sup>、中华条颈龟 (*M. sinensis*)<sup>[23]</sup> 等的孵化研究中发现：温度能影响受精卵内胚胎的发育速率，温度升高，胚胎的发育速率加快，提前达到最大发育速度，从而缩短孵化期。本研究结果与上述结果一致，随着温度升高，鳖卵孵化期显著缩短 ( $P<0.05$ )，二者呈非线性相关。此外，本研究还发现：中华鳖受精卵孵化积温随温度升高而减小，但达到一定温度范围后，积温基本稳定，未随温度变化而产生明显波动。这一结论与朱阿莉等<sup>[7]</sup>的研究结果存在分歧，其主要原因或是本研究的温度组间梯度较小 (2 °C)，积温差异不明显。综上所述，在恒温条件下，鳖卵孵化期与介质无直接关系，高温组孵化期较短。

### 3.2 介质和温度及其交互作用对初生幼鳖表型特征的影响

质量及背甲的长、宽、高是评价龟鳖类动物表型特征的重要指标，一般认为孵出的动物体型越大，免受敌害和猎捕的能力越强，生长越快，存活率更高，而体型往往受到介质、温度等环境因子的影响<sup>[24]</sup>。对爬行动物<sup>[25]</sup>和鳄龟等<sup>[26]</sup>的孵化研究发现：较低温度下孵出的个体体型相对较大；而对中华鳖<sup>[6]</sup>和滑鳖 (*Apaione mutica*)<sup>[27]</sup>等的研究结果与此相反，较低温度下孵出的幼体质量较小，背甲长更短。本研究结果与后者一致。对布里斯班河龟 (*Emydura signata*) 的孵化试验发

现:在孵化过程中,受精卵胚胎的物质和能量代谢对热有依赖性<sup>[28]</sup>。因此,可能在适宜范围内,随着温度升高,胚胎发育速率和幼体出壳加快,代谢消耗随着孵化期缩短而减少,使得能量物质的转化效率更高,表现为高温组幼鳖的表型数据更大,即初孵幼鳖的表型与温度成正比。蛭石组的4种幼鳖表型数据均显著大于其他组,说明蛭石能孵出表型更大的幼鳖,与对黄喉拟水龟<sup>[18]</sup>的研究结果一致。这可能是孵化过程中蛭石能更好地保护受精卵免受震荡和撞压,同时维持孵化微环境的相对稳定,从而影响孵出幼鳖的个体大小<sup>[29-30]</sup>。鉴于蛭石的保湿性显著优于其他2种处理,也有研究人员认为幼鳖表型与孵化介质的保湿性有关<sup>[31]</sup>。通过研究介质和温度的交互作用发现:温度越高,介质种类对幼鳖质量和背甲高的影响越不明显,这可能是由于高温环境下,温度起主导作用,掩盖了介质种类造成的影响。总体而言,32℃和蛭石环境下孵出的幼鳖表型较大。

### 3.3 介质和温度对初生幼鳖运动机能的影响

游泳速度是评价运动机能的重要指标,幼鳖的运动机能具有重要的生态学意义,较好的运动机能可增加幼体搜寻食物和躲避捕食的概率,提高生存能力<sup>[24]</sup>,初孵幼鳖的运动机能表现往往受介质<sup>[18]</sup>、温度<sup>[19,28]</sup>等因素的影响。已有研究表明:26、29和32℃组孵出的幼鳖游泳能力较23℃组强<sup>[7]</sup>,这一发现与对绿海龟(*Chelonia mydas*)<sup>[32]</sup>和壁蜥(*Podarcis muralis*)<sup>[33]</sup>的研究结果一致。本研究结果也与上述一致,在28~32℃范围内,较低温度组孵出的幼鳖运动机能较差,这可能是由于低温发育降低了肌肉抗疲劳能力<sup>[32]</sup>。本研究还发现:运动机能越差的幼鳖,其表型特征越小,推测幼鳖的运动机能与其表型特征存在一定关联,也有相关研究证实了较小个体通常表现出较差的运动机能<sup>[33]</sup>。介质和温度的交互作用显示:各温度条件下,蛭石组幼鳖的运动机能均为最佳,无介质组在低温环境下优于沙子组,随着温度升高,无介质组的运动机能逐渐降为最低。造成这一现象的主要原因或为高温环境下,无介质环境中的水汽凝结在鳖卵卵壳上,影响了鳖卵与外界交换气体,不利于胚胎的正常发育,导致初生幼鳖运动机能表现不佳。总体而言,32℃、蛭石条件孵出的幼鳖具有较好的运动机能。

## 4 结论

中华鳖的孵化率、幼鳖形态特征和运动机能均受孵化介质和温度的影响,而孵化期仅受温度的影响。其中,蛭石的鳖苗孵化效果最佳、沙子次之、无介质相对较差;而温度以32℃最佳、30℃次之、28℃相对较差。整体而言,以蛭石为介质、温度32℃为中华鳖最适宜的孵化环境,平均孵化率为83.15%,平均孵化期为39.42 d,孵出的幼鳖相对较大,并具有较好的运动机能。在生产实践中,选择适宜的孵化介质与温度条件对中华鳖繁育具有重要意义。

### [参考文献]

- [1] 梁宏伟,曹力欢,李翔,等.三个不同品系中华鳖形态差异分析[J].淡水渔业,2017,47(4):92. DOI: 10.13721/j.cnki.dsyy.2017.04.014.
- [2] 刘新中.2024中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2024.
- [3] 杨振才,牛翠娟,孙儒泳.温度对中华鳖卵孵化和胚胎发育的影响[J].动物学报,2002,48(6):716. DOI: 10.3321/j.issn:0001-7302.2002.06.002.
- [4] 杜卫国,计翔.孵化温度对中华鳖胚胎物质和能量利用的影响[J].动物学报,2001,47(5):512. DOI: 10.3321/j.issn:0001-7302.2001.05.006.
- [5] 杜卫国,计翔,徐韩卿.中华鳖卵孵化过程中物质和能量的动态[J].动物学报,2001,47(4):371. DOI: 10.3321/j.issn:0001-7302.2001.04.003.
- [6] 吴义莲,许雪峰.孵化温度影响中华鳖孵出幼体表型特征和幼体的早期生长[J].滁州学院学报,2014,16(5):21. DOI: 10.3969/j.issn.1673-1794.2014.05.007.
- [7] 朱阿莉,史燕,朱新平,等.温度对中华鳖胚胎发育和初生幼体形态特征及活动能力的影响[J].基因组学与应用生物学,2013,32(3):303. DOI: 10.3969/gab.032.000303.
- [8] 许建红,杜卫国.孵化温度对中华鳖幼体早期生长的影响[J].淡水渔业,2000,30(2):16. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6907.2000.02.006.
- [9] LU H L, JIN J Y, FAN H D, et al. The magnitude of incubation temperature fluctuation affects the immunity of Chinese soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*) hatchlings[J]. Aquaculture Research, 2021, 52(11): 5229. DOI: 10.1111/are.15391.
- [10] 吴琼,戚琴芹,耿军,等.不同孵化温度对中华鳖新生幼体免疫能力的影响[J].杭州师范大学学报(自然科学版),2017,16(5):514. DOI: 10.3969/j.issn.1674-232X.2017.05.011.
- [11] 刘飞,李戈锐,张家瑜,等.磁场和基质对中华鳖孵化性比和孵化率的影响[J].淡水渔业,2019,49(3):96. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6907.2019.03.016.
- [12] 王玲,蒋业林,侯冠军,等.温度·湿度·孵化介质对中华鳖孵化率的影响[J].安徽农业科学,2012,40(9):5243.

- DOI: [10.3969/j.issn.0517-6611.2012.09.061](https://doi.org/10.3969/j.issn.0517-6611.2012.09.061).
- [13] 袁兴玉, 沈保平, 万全. 两种孵化介质孵化龟鳖卵结果之比较[J]. 科学养鱼, 2009, 39(10): 9.
- [14] 左之良, 高峰, 苏东旭. 中华鳖人工孵化技术[J]. 湖南农业, 2022(10): 29. DOI: [10.3969/j.issn.1005-362X.2022.10.026](https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-362X.2022.10.026).
- [15] WEI Y F, GAO Y C, CAO D N, et al. Effect of incubation temperature and substrate moisture on embryonic development, hatchling phenotypes and post-hatching growth in the Reeves' turtle, *Mauremys reevesii*[J]. PeerJ, 2021, 9: e10553. DOI: [10.7717/peerj.10553](https://doi.org/10.7717/peerj.10553).
- [16] 陈敏瑶, 梁健宏, 刘汉生, 等. 三种介质对黄喉拟水龟孵化率的影响[J]. 淡水渔业, 2004, 34(2): 25. DOI: [10.3969/j.issn.1000-6907.2004.02.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6907.2004.02.009).
- [17] 高原. 孵化温度对中华鳖幼体特征及免疫功能的影响[D]. 杭州: 杭州师范大学, 2015.
- [18] 郭捡红, 赵伟华, 魏成清, 等. 三种孵化介质对黄喉拟水龟卵孵化期、孵化成功率和孵出幼体特征的影响[J]. 水产学报, 2009, 33(2): 255. DOI: [10.3724/sp.j.00001](https://doi.org/10.3724/sp.j.00001).
- [19] 吴美仙, 赵波, 张文, 等. 孵化温度对黄喉拟水龟胚胎发育和幼体特征的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(19): 5400. DOI: [10.5846/stxb201301150095](https://doi.org/10.5846/stxb201301150095).
- [20] KAM Y C, ACKERMAN R A. The effect of incubation media on the water exchange of snapping turtle (*Chelydra serpentina*) eggs and hatchlings[J]. Journal of Comparative Physiology B (Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology), 1990, 160: 317. DOI: [10.1007/BF00302598](https://doi.org/10.1007/BF00302598).
- [21] 郭捡红, 朱新平, 赵伟华, 等. 温度、湿度对黄喉拟水龟胚胎发育的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(1): 215. DOI: [10.13287/j.1001-9332.2010.0076](https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.2010.0076).
- [22] 杨贵强, 李文通, 林泉, 等. 温度对黄缘闭壳龟孵化和稚龟表型特征的影响[J]. 水产科学, 2021, 40(3): 440. DOI: [10.16378/j.cnki.1003-1111.19252](https://doi.org/10.16378/j.cnki.1003-1111.19252).
- [23] 容银燕, 凌兰, 傅丽容, 等. 温度对中华条颈龟孵化和性别的影响[J]. 水产科学, 2014, 33(6): 385. DOI: [10.3969/j.issn.1003-1111.2014.06.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-1111.2014.06.009).
- [24] 朱新平, 郭捡红, 赵伟华. 环境因子对龟鳖动物胚胎发育影响的研究进展[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(6): 471. DOI: [10.3969/j.issn.1000-9957.2008.06.012](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-9957.2008.06.012).
- [25] WHITEHEAD P J, WEBB G J, SEYMOUR R S, et al. Effect of incubation temperature on development of *Crocodylus johnstoni* embryos[J]. Physiological Zoology, 1990, 63(5): 949. DOI: [10.1086/physzool.63.5.30152623](https://doi.org/10.1086/physzool.63.5.30152623).
- [26] PACKARD G C, PACKARD M J, MILLER K, et al. Influence of moisture, temperature, and substrate on *Snapping turtle* eggs and embryos[J]. Ecology, 1987, 68(4): 983. DOI: [10.2307/1938369](https://doi.org/10.2307/1938369).
- [27] JANZEN F J. The influence of incubation temperature and family on eggs, embryo, and hatchlings of the smooth soft shell turtle (*Apalone mutica*)[J]. Physiological Zoology, 1993, 66(3): 349. DOI: [10.2307/30163697](https://doi.org/10.2307/30163697).
- [28] BOOTH D T. Effects of incubation temperature on the energetics of embryonic development and hatchling morphology in the Brisbane river turtle *Emydura signata*[J]. Journal of Comparative Physiology B (Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology), 1998, 168(5): 399. DOI: [10.1007/s003600050159](https://doi.org/10.1007/s003600050159).
- [29] CORDERO G A, BIRK K, RUANE S, et al. Effects of the egg incubation environment on turtle carapace development[J]. Evolution and Development, 2023, 25(2): 153. DOI: [10.1111/ede.12425](https://doi.org/10.1111/ede.12425).
- [30] RAUSCHENBERGER R H, TRAUTH S E, FARRIS J L. Incubation of alligator snapping turtle (*Macrochelys temminckii*) eggs in natural and agricultural soils[J]. Applied Herpetology, 2004, 1(3/4): 299. DOI: [10.1163/157075403323012241](https://doi.org/10.1163/157075403323012241).
- [31] MILLER K, PACKARD G C. The influence of substrate water potential during incubation on the metabolism of embryonic snapping turtles (*Chelydra serpentina*)[J]. Physiological Zoology, 1992, 65(1): 172. DOI: [10.2307/30158245](https://doi.org/10.2307/30158245).
- [32] BURGESS E A, BOOTH D T, LANYON J M. Swimming performance of hatchling green turtles is affected by incubation temperature[J]. Coral Reefs, 2006, 25(3): 341. DOI: [10.1007/s00338-006-0116-7](https://doi.org/10.1007/s00338-006-0116-7).
- [33] BRAÑA F, JI X. Influence of incubation temperature on morphology, locomotor performance, and early growth of hatchling wall lizards (*Podarcis muralis*)[J]. The Journal of Experimental Zoology, 2000, 286(4): 422. DOI: [10.1002/\(SICI\)1097-010X\(20000301\)286:4<422::AID-JEZ10>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-010X(20000301)286:4<422::AID-JEZ10>3.0.CO;2-D).

责任编辑: 何馨成