

# 王锦蛇心的位置及其组织学参数和胶原纤维含量的增龄变化

冯文红 伍亮 吴海燕 吴文欣 杨雨晴 姚利

刘溯源 海思娆 张志强\*

安徽农业大学动物科技学院 合肥 230036

**摘要:** 为阐明王锦蛇 (*Elaphe carinata*) 心的位置、组织学参数和胶原纤维含量的发育可塑性, 采用形态测量、苏木精-伊红染色和 Masson 染色方法, 测定了 1 龄、2 龄以及 50 日龄内王锦蛇个体身体大小和心位置, 同时测定并分析了 50 日龄内个体心内膜、心肌层和心外膜的厚度, 以及胶原纤维含量的增龄变化。王锦蛇的体重、体全长和体重与体全长的比值都在 2 龄组最高, 1 龄组其次, 2 和 1 龄组均显著高于 50 日龄内各组 ( $P < 0.05$ )。肥满度 3 日龄组和 7~10 日龄组都显著高于 1 和 2 龄组 ( $P < 0.05$ )。心与吻端的距离, 1 和 2 龄组都显著高于其他日龄组 ( $P < 0.05$ ), 但心与吻端的距离与体全长的比值未见组间差异 ( $P > 0.05$ )。心肌层厚度 50 日龄组显著高于 3 日龄组、20 日龄组和 30 日龄组 ( $P < 0.05$ ), 心外膜和心内膜厚度未见日龄差异 ( $P > 0.05$ )。心肌层和心壁胶原纤维含量 50 日龄组都显著高于 3 日龄组和 20 日龄组 ( $P < 0.05$ )。王锦蛇心与吻端的距离与体全长的比值随发育进程无明显变化, 在首次蜕皮和主动摄食后, 心肌层厚度增厚、胶原纤维含量增多, 提示心肌功能逐渐增强。

**关键词:** 王锦蛇; 心; 心肌层; 胶原纤维; 年龄

**中图分类号:** Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2021) 06-891-07

## Age-Dependent Variations in Heart Position, Histological Parameters and Collagen Fiber Content in Farmed King Ratsnake (*Elaphe carinata*)

FENG Wen-Hong WU Liang WU Hai-Yan WU Wen-Xin YANG Yu-Qing YAO Li  
LIU Su-Yuan HAI Si-Rao ZHANG Zhi-Qiang\*

College of Animal Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

**Abstract:** Morphological measurements, hematoxylin-eosin staining and Masson staining were employed to determine the age-dependent variations in body size and heart position of the farmed king ratsnakes, *Elaphe carinata*, under two years old, and in the thickness of epicardial, myocardial, and endocardial layers, and

**基金项目** 安徽农业大学 2020 年度省级重点教学研究项目 (No. 2020jyxm0531) 和教学示范课项目 (No. 999), 安徽农业大学 2020 年国家级大学生创新创业训练计划项目创新训练项目 (No. 202010364075);

\* 通讯作者, E-mail: zzq-003@163.com;

**第一作者介绍** 冯文红, 女, 本科生; 研究方向: 动物医学; E-mail: 239027121@qq.com。

收稿日期: 2021-04-19, 修回日期: 2021-07-23 DOI: 10.13859/j.cjz.202106011

collagen fiber content in those under fifty days old. All statistical analyses were performed using SPSS software packages (SPSS 19.0 for windows). One-way ANOVA and multiple comparisons were used to compare the differences of body mass (BM), total body length (TBL), ratio of BM to TBL, fatness, heart-to-head distance, and heart position relative to total body length, as well as the thickness of epicardial, myocardial, and endocardial layers, and collagen fiber content among different age groups. Results were presented as means  $\pm$  standard error, and  $P < 0.05$  was considered to be statistically significant. BM, TBL and the ratio of BM to TBL all showed the highest value in the 2-year old group, secondarily in the 1-year old group, and then dropped significantly in the other age groups (Table 1,  $P < 0.05$ ). However, fatness in the 3-day or 7-10-day old group was significantly higher than that of 1-year or 2-year old group (Table 1,  $P < 0.05$ ). Heart-to-head distance in the 1-year or 2-year old group was significantly higher than that of any other age group (Table 1,  $P < 0.05$ ), but heart position relative to total body length showed no significant difference among groups (Table 1,  $P > 0.05$ ). Within 50 days of postembryonic period, the thickness of myocardial layer was significantly higher in the 50-day old group than that of 3-, 20- or 30-day old group (Table 2,  $P < 0.05$ ), but no significant differences were found for the thickness of both epicardial and endocardial layers (Table 2,  $P > 0.05$ ); Collagen fiber content of myocardial layer and heart wall layer in the 50-day old group was greatly higher than that of 3- or 20-day old group (Table 3,  $P < 0.05$ ). The relative position of the heart did not change significantly, but the thickness of myocardial layer was greatly increased and more collagen fiber content was observed with the developmental process, suggesting that the heart function of *Elaphe carinata* is gradually enhanced after the first slough and active feeding.

**Key words:** *Elaphe carinata*; Heart; Myocardium; Collagen fiber; Age

心是变温脊椎动物循环系统动力来源的结构性基础。两栖动物的心湿重可随食物(张莹等 2017)、海拔(李莘等 2020)等因素而变化。在极度饥饿条件下,蛇类甚至可通过消耗心肌以维持正常的生命活动,但当补充充足的营养后,又有所恢复(Secor et al. 1998)。蛇类终生生长,其心大小、心与吻端的距离(心距)及心与吻端的距离与体全长的比值(心距比)与物种间的系统发生关系(Gartner et al. 2010, Perez et al. 2019)、栖息地类型(Gartner et al. 2010)和个体发育进程(Anderson et al. 2015, Lillywhite et al. 2017, Martins et al. 2020)等多种因素有关。研究发现,蛇类个体发育过程中,心的位置相对于体全长随年龄增加而前移,与体型大小不相关(Anderson et al. 2016)。然而,关于个体发育过程中心组织学结构的增龄变化,仅见于小鼠(*Mus musculus*, 徐振平等 2003)和大鼠(*Rattus norvegicus*, 徐振平等

2004),对蛇类仍缺乏研究。哺乳动物的心分为心外膜、心肌层和心内膜三层结构,其中的心肌层主要由心肌纤维构成,心肌纤维间充满结缔组织,结缔组织对心肌细胞起支持、保护、营养和制约作用,主要由胶原纤维组成(周利红等 2002)。但对爬行动物的研究主要集中于成体心肌纤维的组织学结构特征(张力群等 2009, 严福祥等 2010)。

王锦蛇(*Elaphe carinata*)是常见的陆栖性大型无毒蛇(赵尔宓等 1998)。在胚后发育的早期阶段,其血液参数(孙嘉璐等 2017, 高慧清等 2019)、小肠组织学参数和消化酶活性(姚利等 2020)在首次蜕皮和摄食前后具有可塑性。本研究取出壳后 50 日龄内的王锦蛇幼蛇,以及 1 龄组亚成体蛇和 2 龄组成体蛇,比较了其身体大小、心距和心距比,以及 50 日龄内幼体心组织学参数和心肌胶原纤维含量的变化,将为阐明爬行动物心功能建立与特定发育阶段

的关系提供形态学和组织学基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物来源与分组

2018年8月从安徽省池州市某蛇场购买10窝王锦蛇卵共100枚,每窝8~14枚,在安徽农业大学动物科技学院动物生理生态学实验室孵化,同一窝同一天出壳的幼蛇各取1条饲养于同一爬宠用亚克力盒(长×宽×高=28 cm×20 cm×15 cm),盒内置饮水盒,水为曝气24 h以上的自来水,空调控制室温为(28±2)℃。待王锦蛇首次蜕皮后,每2 d喂食一次解冻后剪成细条状的雏鸡肉。取出壳后3 d、7~10 d(首次蜕皮时间)、20 d、30 d、40 d和50 d的幼蛇,每一日龄组取8条来自不同窝的个体,共取样48条幼蛇。另从该蛇场获得1龄组亚成体王锦蛇15条,2龄组成体王锦蛇3条。

### 1.2 身体大小和心位置测量

用电子天平(赛多利斯科学仪器公司,±0.01 g)测量50日龄内幼蛇的体重,以及亚成体蛇和成体蛇的体重(±0.1 g),直尺测50日龄内幼蛇的体全长(±0.01 cm),以及亚成体蛇和成体蛇的体全长(±0.1 cm)。断头处死50日龄内处于不同发育阶段的幼蛇,解剖后通过直尺(±0.01 cm)测量心中心点与吻端的距离,即心距;亚成体和成体蛇,通过活体触摸心的位置,以直尺(±0.1 cm)测量心距。计算体重与体全长的比值即重长比、肥满度和心距比。肥满度(g/cm<sup>3</sup>)=体重(g)×1000/体全长<sup>3</sup>(cm<sup>3</sup>)。心距比即心相对于体全长的位置,心距比(%)=心中心点与吻端的距离(cm)×100/体全长(cm)。

### 1.3 心组织切片制作

用改良的Bouin's液固定心组织块24 h后,常规梯度乙醇脱水,二甲苯透明,石蜡包埋,KD2258轮转切片机(浙江省金华市科迪仪器设备有限公司)切片(厚4~5 μm)。3、7~10、20、30、40和50日龄组各取4条幼蛇的心组

织切片,分别用于苏木精-伊红染色和Masson染色。

### 1.4 心组织学参数和胶原纤维含量测定

采用改良的Harris苏木精染液(李继军2001),对石蜡切片进行苏木精-伊红染色处理,在100倍、400倍放大倍数下使用Motic BA210 Digital数码显微镜对心组织学结构进行观察、拍照,对所得图像用Motic Images Plus 2.0软件测量其心肌层、心外膜与心内膜的厚度,每张切片每个组织学参数测量3次,取其平均值代表该张切片该组织学参数的大小。按照Masson染液试剂盒(南京建成生物工程研究所,产品编号:D026-1-3)进行胶原纤维染色操作,在400倍放大倍数下,每张切片心肌层和心壁各选取6和10个不重复视野拍摄照片并进行图像分析,计算每个视野内被染为蓝色的胶原纤维的含量,分别以6和10个视野所含胶原纤维含量的平均值代表该张切片心肌层和心壁胶原纤维含量。因心外膜和心内膜较薄,未单独统计其胶原纤维含量。

### 1.5 数据处理与统计分析

用SPSS 19.0 for windows进行数据处理和统计分析。用单因素方差分析(one-way ANOVA)及多重比较(multiple comparisons)统计不同发育阶段王锦蛇体重、体全长、重长比、肥满度、心距和心距比,心内膜、心肌层和心外膜的厚度,以及心肌层和心壁胶原纤维含量的组间差异。文中数据均以平均值±标准误(Mean±SE)表示, $P < 0.05$ 为差异显著。

## 2 结果

### 2.1 王锦蛇身体大小和心位置的增龄变化

王锦蛇的体重、体全长和重长比的变化趋势一致,都在2龄组最高,1龄组其次,3至50日龄组保持稳定的低水平,彼此之间的组间差异显著( $P < 0.05$ );肥满度在3日龄组最高,7~10日龄组其次,3日龄组和7~10日龄组都显著高于1龄组和2龄组( $P < 0.05$ );心距2龄组最高,1龄组其次,2龄组与1龄组差异

不显著,但都显著高于其他日龄组 ( $P < 0.05$ );心距比在 50 日龄内随发育进程趋于下降,1 龄组有较大回升,2 龄组又再次下降,但组间差异均不显著 ( $P > 0.05$ ) (表 1)。

### 2.2 王锦蛇心组织学参数的增龄变化

苏木精-伊红染色显示,王锦蛇心壁由外向内分为心外膜、心肌层和心内膜三层结构,心肌层最厚,心外膜其次,心内膜最薄(图 1a,表 2)。心外膜为一层浆膜,表面为一层间皮细胞,内层为结缔组织(图 1b);心肌层主要由排列紧密且规则的心肌纤维构成,偶见血管分布,血管周围可见散布的红细胞(图 1b);心内膜表面为一层单层扁平上皮细胞,胞核近似于椭圆形(图 1c)。Masson 染色显示,胶原纤维在心壁的心肌层(图 1d,表 3)、心外膜(图 1e)和心内膜(图 1f)中都有分布。其中,心肌层中的胶原纤维散在分布(图 1d),血管壁周围有胶原纤维环绕分布(图 1e);心外膜(图 1e)和心内膜(图 1f)处的胶原纤维成束、集中分布。

50 日龄内,王锦蛇的心外膜和心内膜厚度

变化趋势一致,从 3 至 7~10 日龄组逐渐升高,20 至 30 日龄组逐渐下降,40 至 50 日龄组有所回升,但组间差异均不显著 ( $P > 0.05$ );心肌层厚度从 3 至 7~10 日龄组显著升高,20 和 30 日龄组下降,30 至 50 日龄组快速增厚,50 日龄组显著高于 3、20 和 30 日龄组 ( $P < 0.05$ ) (表 2)。

### 2.3 王锦蛇心胶原纤维含量的增龄变化

50 日龄内王锦蛇心肌层胶原纤维含量和心壁胶原纤维含量均呈波浪状波动,50 日龄组最高,7~10 日龄组其次,3 日龄组最低,50 日龄组都显著高于 3 日龄组和 20 日龄组 ( $P < 0.05$ ) (表 3)。

## 3 讨论

### 3.1 王锦蛇身体大小的增龄变化

王锦蛇的体重、体全长和重长比在 50 日龄内变化不明显,但 1 和 2 龄组都显著升高,而肥满度却显著下降,重长比和肥满度这两个指标表现出相反的变化趋势,这与其终生生长的生物学特性有关。王锦蛇无四肢,与肥满度相

表 1 王锦蛇身体大小、心距和心距比的增龄变化

Table 1 Age-dependent changes in body size, heart-to-head distance, and heart position relative to total body length in *Elaphe carinata*

日龄组 Day age group	体重 Body mass (BM, g)	体全长 Total body length (TBL, cm)	体重/体全长 BM/TBL (g/cm)	肥满度 Fatness (g/cm <sup>3</sup> )	心距 Heart-to-head distance (HH, cm)	心距比 HH × 100/TBL (%)
3 日龄 Day 3	21.59 ± 0.85 <sup>c</sup>	41.36 ± 0.81 <sup>c</sup>	0.52 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.31 ± 0.01 <sup>a</sup>	7.08 ± 0.57 <sup>b</sup>	17.21 ± 1.49 <sup>a</sup>
7~10 日龄 Day 7-10	19.51 ± 0.69 <sup>c</sup>	42.85 ± 1.05 <sup>c</sup>	0.46 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>ab</sup>	7.26 ± 0.35 <sup>b</sup>	17.12 ± 1.23 <sup>a</sup>
20 日龄 Day 20	19.55 ± 1.16 <sup>c</sup>	45.89 ± 1.61 <sup>c</sup>	0.42 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.21 ± 0.02 <sup>bc</sup>	7.60 ± 0.27 <sup>b</sup>	16.61 ± 0.45 <sup>a</sup>
30 日龄 Day 30	18.58 ± 1.27 <sup>c</sup>	44.65 ± 1.15 <sup>c</sup>	0.42 ± 0.03 <sup>c</sup>	0.21 ± 0.01 <sup>bc</sup>	7.31 ± 0.17 <sup>b</sup>	16.42 ± 0.41 <sup>a</sup>
40 日龄 Day 40	19.36 ± 0.95 <sup>c</sup>	44.85 ± 1.57 <sup>c</sup>	0.43 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.22 ± 0.03 <sup>bc</sup>	7.29 ± 0.25 <sup>b</sup>	16.38 ± 0.76 <sup>a</sup>
50 日龄 Day 50	22.35 ± 1.13 <sup>c</sup>	48.16 ± 1.38 <sup>c</sup>	0.46 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.20 ± 0.01 <sup>bc</sup>	7.73 ± 0.27 <sup>b</sup>	16.07 ± 0.44 <sup>a</sup>
1 龄 1 year	630.0 ± 26.2 <sup>b</sup>	156.3 ± 2.5 <sup>b</sup>	4.01 ± 0.13 <sup>b</sup>	0.16 ± 0.00 <sup>c</sup>	28.3 ± 1.6 <sup>a</sup>	18.06 ± 0.89 <sup>a</sup>
2 龄 2 year	1 774.3 ± 320.5 <sup>a</sup>	241.3 ± 27.9 <sup>a</sup>	7.26 ± 0.76 <sup>a</sup>	0.13 ± 0.02 <sup>c</sup>	30.7 ± 3.1 <sup>a</sup>	12.78 ± 0.21 <sup>a</sup>
<i>F</i> 值和 <i>P</i> 值 <i>F</i> and <i>P</i> values	<i>F</i> <sub>7,58</sub> = 127.058 <i>P</i> < 0.01	<i>F</i> <sub>7,58</sub> = 287.438 <i>P</i> < 0.01	<i>F</i> <sub>7,58</sub> = 291.385 <i>P</i> < 0.01	<i>F</i> <sub>7,58</sub> = 10.824 <i>P</i> < 0.01	<i>F</i> <sub>7,58</sub> = 78.929 <i>P</i> < 0.01	<i>F</i> <sub>7,58</sub> = 1.529 <i>P</i> > 0.05

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著,  $P < 0.05$ , 相同字母表示差异不显著,  $P > 0.05$ 。

In the same column, values with different superscript letters mean significant differences ( $P < 0.05$ ), with the same letters mean no significant differences ( $P > 0.05$ ).

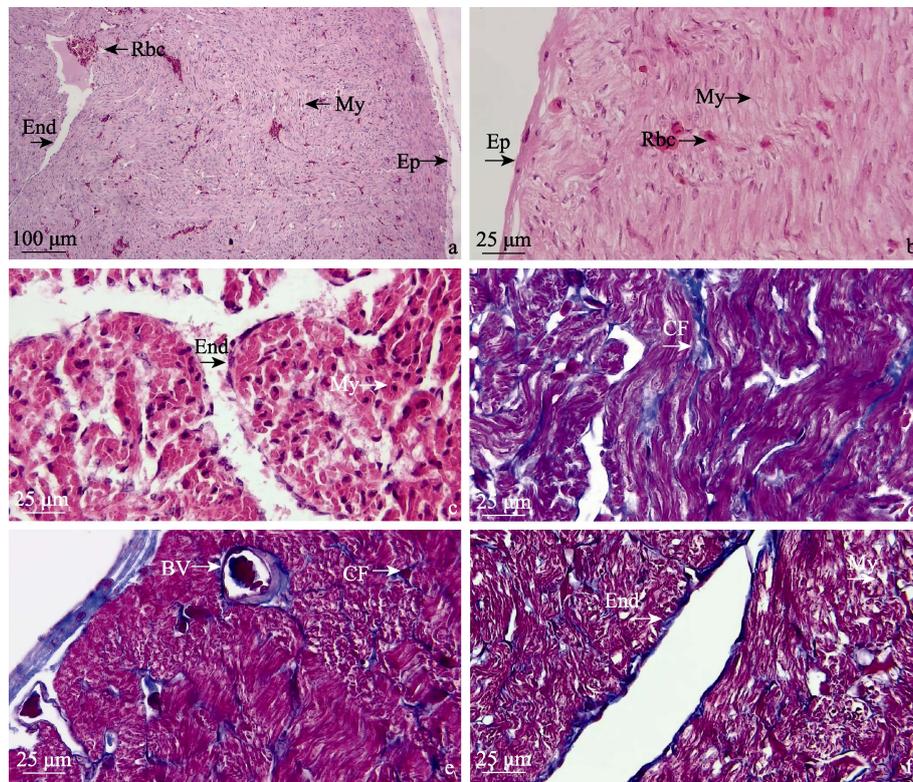


图 1 王锦蛇心组织结构和胶原纤维含量的增龄变化

Fig. 1 Age-dependent changes of histological structures and collagen fiber contents in the heart of *Elaphe carinata*

a. 50 日龄组心苏木精-伊红染色, 示心外膜、心肌层和心内膜; b. 3 日龄组心苏木精-伊红染色, 示心外膜和心肌层; c. 3 日龄组心苏木精-伊红染色, 示心内膜; d. 7~10 日龄组心 Masson 染色, 示心肌层胶原纤维; e. 7~10 日龄组心 Masson 染色, 示心外膜胶原纤维和血管周围胶原纤维; f. 7~10 日龄组心 Masson 染色, 示心内膜胶原纤维。

a. Cardiac hematoxylin-eosin staining in the 50-day old group with epicardial, myocardial and endocardial layers; b. Cardiac hematoxylin-eosin staining in the 3-day old group with epicardial and myocardial layers; c. Cardiac hematoxylin-eosin staining in the 3-day old group with endocardial layer; d. Cardiac Masson staining in the 7 - 10-day old group with collagen fiber in the myocardial layer; e. Cardiac Masson staining in the 7 - 10-day old group with collagen fiber in the epicardial layer and around the blood vessel; f. Cardiac Masson staining in the 7 - 10-day old group with collagen fiber in the endocardial layer.

BV. 血管; CF. 胶原纤维; End. 心内膜; Ep. 心外膜; My. 心肌层; Rbc. 红细胞

BV. Blood vessel; CF. Collagen fiber; End. Endocardium; Ep. Epicardium; My. Myocardium; Rbc. Red blood cell

比, 重长比 50 日龄后呈递增趋势, 能更好地反映其生长发育情况。50 日龄内涉及出壳、首次蜕皮和开口摄食等关键生活史阶段, 摄食前体内积累的脂肪和摄食后的食物刺激均有促进王锦蛇生长的作用, 其重长比显示出先降后升的趋势。50 日龄内, 陆栖性滑鼠蛇 (*Ptyas mucosus*) 的重长比呈持续增加趋势, 3 至 20

日龄增长缓慢, 之后迅速增加, 50 日龄组最高 (张志强等 2019), 这可能与滑鼠蛇以易于消化、适口性好的幼蛙为食有关; 水栖的赤链华游蛇 (*Sinonatrix annularis*) 的重长比 3 和 7~10 日龄组显著高于 30 至 50 日龄组, 这可能与赤链华游蛇卵胎生的生活习性和饲喂非活体冰鲜鱼作为开口饵料有关 (刘溯源等 2020)。

表 2 50 日龄内王锦蛇心组织学参数的增龄变化

Table 2 Changes of histological parameters within 50 days of postembryonic period in the heart of *Elaphe carinata*

日龄 Day age	心外膜厚度 Epicardial thickness (μm)	心肌层厚度 Myocardial thickness (μm)	心内膜厚度 Endocardial thickness (μm)
3	18.1 ± 2.1 <sup>a</sup>	9 21.3 ± 118.3 <sup>c</sup>	5.8 ± 0.4 <sup>a</sup>
7 ~ 10	21.5 ± 3.1 <sup>a</sup>	1 945.3 ± 283.8 <sup>ab</sup>	6.6 ± 0.6 <sup>a</sup>
20	14.7 ± 2.5 <sup>a</sup>	1 260.1 ± 181.2 <sup>bc</sup>	6.0 ± 0.4 <sup>a</sup>
30	12.4 ± 1.9 <sup>a</sup>	1 255.8 ± 23.8 <sup>bc</sup>	5.8 ± 0.4 <sup>a</sup>
40	14.0 ± 1.6 <sup>a</sup>	1 576.8 ± 142.7 <sup>abc</sup>	6.0 ± 0.2 <sup>a</sup>
50	14.4 ± 0.6 <sup>a</sup>	2 210.7 ± 192.7 <sup>a</sup>	7.1 ± 0.6 <sup>a</sup>
<i>F</i> 值和 <i>P</i> 值 <i>F</i> and <i>P</i> values	$F_{5, 23} = 2.504, P > 0.05$	$F_{5, 23} = 7.717, P < 0.05$	$F_{5, 23} = 1.276, P > 0.05$

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著,  $P < 0.05$ , 相同字母表示差异不显著,  $P > 0.05$ 。

In the same column, values with different superscript letters mean significant differences ( $P < 0.05$ ), with the same letters mean no significant differences ( $P > 0.05$ ).

表 3 50 日龄内王锦蛇心胶原纤维含量的增龄变化

Table 3 Changes of collagen fiber contents within 50 days of postembryonic period in the heart of *Elaphe carinata*

日龄 Day age	心肌层胶原纤维含量 Myocardial collagen fiber content (%)	心壁胶原纤维含量 Heart wall collagen fiber content (%)
3	5.82 ± 0.34 <sup>b</sup>	6.70 ± 0.28 <sup>b</sup>
7 ~ 10	7.47 ± 0.26 <sup>ab</sup>	8.18 ± 0.25 <sup>ab</sup>
20	5.92 ± 0.15 <sup>b</sup>	6.94 ± 0.53 <sup>b</sup>
30	7.51 ± 0.69 <sup>ab</sup>	7.82 ± 0.57 <sup>ab</sup>
40	6.44 ± 0.25 <sup>ab</sup>	7.65 ± 0.15 <sup>ab</sup>
50	7.98 ± 0.15 <sup>a</sup>	8.70 ± 0.18 <sup>a</sup>
<i>F</i> 值和 <i>P</i> 值 <i>F</i> and <i>P</i> values	$F_{5, 23} = 6.608, P < 0.01$	$F_{5, 23} = 4.215, P < 0.05$

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著,  $P < 0.05$ , 相同字母表示差异不显著,  $P > 0.05$ 。

In the same column, values with different superscript letters mean significant differences ( $P < 0.05$ ), with the same letters mean no significant differences ( $P > 0.05$ ).

### 3.2 王锦蛇个体发育过程心位置的迁移情况

王锦蛇 1 和 2 龄组的心距都显著高于 50 日龄内的任一日龄组, 但 1 和 2 龄组之间、50 日龄内的任两组之间的组间差异都不显著, 说明心位置在 50 日龄后、1 龄前随年龄增加有后移倾向, 但在 1 龄后位置保持相对稳定。王锦蛇的心距比波动范围为 12.78% ~ 18.06%, 50 日龄内随发育进程有下降趋势, 1 龄有所回升,

2 龄又再次下降, 但无组间差异。为克服地球重力影响, 成年树栖性蛇类的心通常位于身体前部, 水生或陆栖蛇类位于更靠近身体中心的位置 (Gartner et al. 2010)。在多种蛇类的个体发育过程中, 心位置随年龄增加表现出前移趋势 (Anderson et al. 2015, Lillywhite et al. 2017), 这种位置前移被认为是蛇类身体节生长节段性差异的结果, 而与蛇类的个体发育进程无关 (Anderson et al. 2016)。王锦蛇为陆栖性蛇类, 1 龄组个体心距比的平均值为 18.06%, 2 龄组为 12.78%, 从 1 至 2 龄组位移幅度较大, 也可能与身体节生长程度不同有关。

### 3.3 王锦蛇心组织学参数和胶原纤维含量的增龄变化

王锦蛇 3 至 50 日龄的心组织学结构均可分为心外膜、心肌层和心内膜三层。50 日龄内, 王锦蛇心外膜和心内膜厚度变化不明显, 但心肌层厚度在 7 ~ 10 日龄组较高, 并在 50 日龄组达到最高值, 显著高于 3、20 和 30 日龄组, 这可能与首次蜕皮前以体内贮存的脂肪为营养物质和能量来源有关, 逐渐消耗的脂肪促进了心肌层增厚, 这有助于心肌收缩和舒张, 有利于蜕皮过程完成; 开口摄食后, 20 和 30 日龄组的心肌层厚度变化较小, 40 和 50 日龄组有所增厚, 这可能与从消耗体内贮存的能量向从食物中获取能量的转变过程有关, 适应人工投

喂的食物刺激后, 王锦蛇的生长发育速度明显加快, 心肌层增厚有助于心增强起搏能力, 提高输送营养物质的效率。与心肌层增厚相适应, 王锦蛇心肌层和心壁胶原纤维的含量也都在 50 日龄组显著高于 3 和 20 日龄组。胶原纤维在心肌细胞外构成强有力的骨架结构, 其含量多少能直接影响心肌细胞的功能 (周俐红等 2001)。小鼠和大鼠的心肌胶原纤维含量随发育进程的推进而增多, 这与心功能随发育进程逐渐完善相一致 (徐振平等 2003, 2004)。

作为陆栖性蛇类, 王锦蛇的心位置在个体发育过程中无明显迁移。首次蜕皮和开口摄食前后心肌层厚度和胶原纤维含量变化较大, 具有可塑性, 提示 50 日龄内心功能随关键生活史阶段而波动, 但尚待发育完善。

## 参 考 文 献

- Anderson G E, Secor S M. 2015. Ontogenetic shifts and spatial associations in organ positions for snakes. *Zoology*, 118(6): 403–412.
- Anderson G E, Secor S M. 2016. Differential growth of body segments explains ontogenetic shifts in organ position for the diamondback water snake (*Nerodia rhombifer*). *Canadian Journal of Zoology*, 94(9): 651–660.
- Gartner G E, Hicks J, Manzani P, et al. 2010. Phylogeny, ecology, and heart position in snakes. *Physiological and Biochemical Zoology*, 83(1): 43–54.
- Lillywhite H B, Lillywhite S M. 2017. Ontogenetic shifts of heart position in snakes. *Journal of Morphology*, 278(8): 1105–1113.
- Martins A, Silva L, Gonzalez R C. 2020. *Amerotyphlops brongersmianus* (Vanzolini, 1976)(Typhlopidae, Serpentes) as a model for scolecophidian ontogenetic shifts of heart topography and relative size. *Zoomorphology*, 139(3): 385–392.
- Perez D, Sheehy III C M, Lillywhite H B. 2019. Variation of organ position in snakes. *Journal of Morphology*, 280(12): 1798–1807.
- Secor S M, Diamond J. 1998. A vertebrate model of extreme physiological regulation. *Nature*, 395(6703): 659–662.
- 高慧清, 刘溯源, 王锡飞, 等. 2019. 食物蛋白浓度对王锦蛇生长和血液学参数的影响. *黑龙江畜牧兽医*, (1): 143–148.
- 李继军. 2001. Harris 苏木精染液配制改良法. *诊断病理学杂志*, 8(4): 238–239.
- 李苹, 谭松, 姚忠祚, 等. 2020. 同园环境中不同海拔中华蟾蜍的心脏相对大小: 海塞规则是否适合外温动物? *四川动物*, 39(4): 394–400.
- 刘溯源, 海思娆, 王鑫, 等. 2020. 赤链华游蛇形态和血液学参数及各型白细胞百分比的增龄变化. *野生动物学报*, 41(3): 666–671.
- 孙嘉璐, 高慧清, 连丽燕, 等. 2017. 王锦蛇出生至 1 月龄白细胞百分比的变化模式及其适应意义. *生态学杂志*, 36(8): 2246–2251.
- 徐振平, 范雪辉, 郭志坤. 2003. 不同月龄小鼠心脏胶原纤维的组织学变化. *新乡医学院学报*, 20(4): 239–241.
- 徐振平, 王聪睿, 郭志坤. 2004. 大鼠心脏胶原纤维的组织学和含量的增龄变化. *新乡医学院学报*, 21(4): 236–238.
- 严福祥, 李贵生, 付晓艳. 2010. 中华花龟五种器官组织学观察. *生态科学*, 29(1): 75–79.
- 姚利, 刘溯源, 伍亮, 等. 2020. 不同日龄王锦蛇小肠大小、组织学参数和酶活性的变化. *畜牧与兽医*, 52(12): 74–79.
- 张力群, 李贵生. 2009. 广东乌龟五种器官的组织学观察. *生态科学*, 28(2): 179–183.
- 张莹, 高慧清, 王志, 等. 2017. 中华蟾蜍体重及脏器大小对禁食和重喂食处理的响应. *动物学杂志*, 52(2): 294–303.
- 张志强, 陈可为, 彭兵龙, 等. 2019. 滑鼠蛇出生至 50 日龄身体大小和免疫功能的变化. *安徽农业大学学报*, 46(4): 618–622.
- 赵尔宓, 黄美华, 宗愉, 等. 1998. 中国动物志爬行纲第三卷有鳞目蛇亚目. 北京: 科学出版社.
- 周俐红, 郭志坤. 2002. 兔心脏胶原纤维的组织学构筑及定量分析. *新乡医学院学报*, 19(1): 16–18.