

# 猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道组织结构及5-羟色胺细胞分布特征

陈毓<sup>①</sup> 崔甄甄<sup>①</sup> 杨波<sup>①</sup> 宁梅红<sup>①</sup> 武正军<sup>①</sup>  
叶建平<sup>②</sup> 黄华苑<sup>①\*</sup>

① 珍稀濒危动植物生态与环境保护教育部重点实验室, 广西师范大学 桂林 541004;

② 广西桂林猫儿山国家级自然保护区管理处 桂林 541000

**摘要:** 为探讨猫儿山小鲵 (*Hynobius maoershanensis*) 和瑶山肥螈 (*Pachytriton intexpectatus*) 消化道结构的异同及 5-羟色胺 (5-HT) 细胞的分布特征与食性、生活环境之间的关系, 运用常规组织染色及免疫组织化学染色法对其消化道进行研究。结果显示, 猫儿山小鲵和瑶山肥螈的消化道均包括食道、胃、十二指肠、回肠和直肠, 但瑶山肥螈消化道长于猫儿山小鲵。猫儿山小鲵和瑶山肥螈的比肠长 (即肠道长与头体长的比值) 分别为  $0.57 \pm 0.03$  ( $n = 5$ ) 和  $0.84 \pm 0.03$  ( $n = 5$ )。两者消化道组织结构均由黏膜层、黏膜下层、肌层和外膜组成, 主要差异在消化道黏膜层和肌层厚度。猫儿山小鲵的消化道黏膜层以胃体部最厚, 达  $(712.82 \pm 37.67) \mu\text{m}$  ( $n = 5$ ), 而瑶山肥螈则胃贲门部最厚, 为  $(403.24 \pm 55.81) \mu\text{m}$  ( $n = 5$ ); 二者消化道肌层均以胃幽门部最厚, 但瑶山肥螈胃幽门部的肌层厚度比猫儿山小鲵的厚。二者消化道均有开放型和闭合型的 5-HT 细胞, 但 5-HT 细胞的分布特征不同: 猫儿山小鲵分布密度高峰位于直肠, 低谷位于食道; 瑶山肥螈则在十二指肠部位分布密度最高, 直肠最低。综上所述, 猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道形态学和组织学结构相似, 二者肠道长占头体长的比值均不超过 1, 符合肉食性动物消化道短的特征。二者消化道 5-HT 细胞都具有内、外分泌功能, 分布密度具有自身的特点, 可能与它们的食物组成和生活环境不同有关。

**关键词:** 猫儿山小鲵; 瑶山肥螈; 消化道; 组织形态学; 5-羟色胺细胞

**中图分类号:** Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2021) 04-597-11

## Histology and Distribution of 5-Hydroxytryptamine Cells in the Digestive Tract of *Hynobius maoershanensis* and *Pachytriton intexpectatus*

CHEN Yu<sup>①</sup> CUI Zhen-Zhen<sup>①</sup> YANG Bo<sup>①</sup> NING Mei-Hong<sup>①</sup> WU Zheng-Jun<sup>①</sup>  
YE Jian-Ping<sup>②</sup> HUANG Hua-Yuan<sup>①\*</sup>

① Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection (Guangxi Normal University),

Ministry of Education, Guangxi Normal University, Guilin 541004;

**基金项目** 国家自然科学基金项目 (No. 31860609), 广西研究生教育创新计划项目 (No. XYCSZ 2020058);

\* 通讯作者, E-mail: hhy-121@163.com;

**第一作者介绍** 陈毓, 女, 硕士研究生; 研究方向: 动物学; E-mail: chen-117@163.com。

收稿日期: 2021-02-04, 修回日期: 2021-05-21 DOI: 10.13859/j.cjz.202104012

② Bureau of Guangxi Mao'er Mountain National Nature Reserve, Guilin 541000, China

**Abstract:** *Hynobius maoershanensis* and *Pachytriton intexpectatus* are endemic to Guangxi Maoershan National Nature Reserve, China. Their living environments and distribution altitudes are different. *H. maoershanensis* is inhabited in an alpine swamp at an altitude of 2 000 m with small population size, but *P. intexpectatus* lives in mountain streams with gentle currents at an altitude of 1 140 - 1 800 m. This study was designed to explore the differences of digestive tracts between *H. maoershanensis* and *P. intexpectatus*, and how the 5-hydroxytryptamine cells of digestive tract adapt to their feeding habits and living environments. Anatomical, histological and envision two-step immunohistochemistry staining techniques were used. The total length, head length, body weight, snout-vent length, digestive tract length, and the thickness of mucosa and muscle layers were measured. Statistical analysis and inspection were performed using the Kolmogorov-Smirnov test, Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney *U* test (Microsoft Excel 2016 and SPSS 26.0 software). Results showed that the digestive tracts of *H. maoershanensis* and *P. intexpectatus* were composed of esophagus, stomach, duodenum, ileum and rectum (Fig. 1). The digestive tract of *P. intexpectatus* was longer than that of *H. maoershanensis*. The ratios of intestine length and snout-vent length in *H. maoershanensis* and *P. intexpectatus* were  $0.57 \pm 0.03$  ( $n = 5$ ) and  $0.84 \pm 0.03$  ( $n = 5$ ), respectively. The histological structure of the digestive tracts in *H. maoershanensis* and *P. intexpectatus* could be divided into mucosa, submucosa, muscularis and adventitia (Fig. 2). There were many glands, such as pyloric glands (Fig. 2e - h). The thicknesses of mucosa layer in the stomach body of *H. maoershanensis* was the highest ( $712.82 \pm 37.67 \mu\text{m}$ ,  $n = 5$ ), while that of *P. intexpectatus* was in the cardia ( $403.24 \pm 55.81 \mu\text{m}$ ,  $n = 5$ ). The thickness of muscular layer of the digestive tract was the highest in the pylorus, with that of *P. intexpectatus* thicker than in *H. maoershanensis*. Both open and closed 5-HT cells were distributed in the digestive tracts of *H. maoershanensis* and *P. intexpectatus* (Fig. 3), while the distributional patterns of 5-HT cells along the digestive tracts were different. 5-HT cells showed the highest density in the rectum and the least density in the esophagus of *H. maoershanensis*. But in *P. intexpectatus*, the highest count was found in the duodenum but the least count in the rectum. In conclusion, the morphological and histological structures of the digestive tracts of *H. maoershanensis* and *P. intexpectatus* are similar. The ratios of intestine length to snout-vent length of both were not more than 1, which is consistent with the characteristics of the short digestive tract of carnivorous animals. The 5-HT cells in the digestive tracts of both have endocrine and exocrine functions, but the distributive patterns of these cells have their own characteristics, which may be related to their different feeding habits and living environments.

**Key words:** *Hynobius maoershanensis*; *Pachytriton intexpectatus*; Digestive tract; Histomorphology; 5-hydroxytryptamine cells

消化道是动物进行食物消化、营养吸收的主要场所。作为体内最大且最复杂的内分泌器官,消化道含有大量的内分泌细胞(Ahlman et al. 2001)。内分泌细胞包括开放型和闭合型两种类型,主要分布于消化道上皮细胞间和腺体中,

分泌激素、胺或肽类物质,如 5-羟色胺(5-hydroxytryptamine, 5-HT)、胃泌素(gastrin, GAS)、生长抑素(somatostatin, SS)等,这些物质在肠道运动、营养物质吸收等方面发挥重要作用(Cinar 2002)。其中,5-HT 细胞广泛

存在于脊椎动物(唐晓雯等 1991),其分泌的 5-HT 作为单胺神经元递质,通过作用于胆碱能兴奋性神经元而引起平滑肌收缩,从而调节胃肠道运动和分泌功能(French et al. 2014)。学者对动物消化道 5-HT 内分泌细胞的研究发现,5-HT 细胞在不同动物消化道的分布特征差异较大,但均含有开放型和闭合型细胞(唐晓雯等 1991,张志强等 2010,张志强 2013)。

研究发现,动物为了适应不良环境,消化道 5-HT 细胞的数量及分布特征与正常状态相比会有所变化(李淑兰等 2010,刘家举等 2011)。例如,黑龙江林蛙(*Rana amurensis*)在冬眠期和非冬眠期的消化道 5-HT 细胞分布规律不一样,冬眠期间,胃幽门和十二指肠处的 5-HT 细胞数量最多,食道最低;非冬眠期高峰位于胃幽门,低谷在直肠部(李淑兰等 2010)。东方蝾螈(*Cynops orientalis*)在禁食后,5-HT 细胞的分布密度发生了变化,5-HT 细胞数量在十二指肠处最高,胃贲门和回肠最低;而在非禁食期间,5-HT 细胞分布密度最高峰位于胃幽门和直肠部位,最低谷位于胃体(刘家举等 2011)。

猫儿山小鲵(*Hynobius maoershanensis*)属两栖纲有尾目(Urodela)小鲵科(Hynobiidae)小鲵属,以蚯蚓、蛙类蝌蚪、蚊子幼虫等为食(卜荣平 2017),目前仅知其分布在广西猫儿山海拔 2 000 m 左右植被繁茂的高山沼泽及其周围地带(费梁等 2012)。该物种野外种群数量极低,2016 年被列为濒危物种(蒋志刚等 2016),于 2021 年 2 月被列为国家 I 级重点保护野生动物(国家林业和草原局等 2021)。瑶山肥螈(*Pachytriton intexpectatus*)属两栖纲有尾目(Urodela)蝾螈科(Salamandridae)肥螈属,以象鼻虫、螺类、虾、蟹等为食,多生活于海拔 1 140~1 800 m 水流较为平缓的山溪内(莫运明等 2014)。本研究开展猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道的基础研究,旨在探讨两者消化道结构的异同及 5-HT 细胞的分布特征是否与其食性、生活环境相适应,丰富小鲵科和

蝾螈科消化道组织学研究,为两栖动物有尾目消化道比较组织学和内分泌学积累资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

猫儿山小鲵、瑶山肥螈成体福尔马林浸泡标本各 5 只(2♀,3♂),两者均来自广西猫儿山自然保护区管理处。猫儿山小鲵标本于 2017 年 12 月采于桂林猫儿山保护区状元桥(25°53'45" N, 110°25'58" E),体长(176.15 ± 7.15) mm,头体长(92.49 ± 3.26) mm,体重(26.13 ± 3.58) g;瑶山肥螈标本于 2018 年 7 月采于猫儿山庵堂坪管理站周边(25°54'45" N, 110°27'45" E),体长(164.64 ± 7.08) mm,头体长(86.49 ± 4.17) mm,体重(20.52 ± 2.44) g。

### 1.2 实验方法及数据处理

**1.2.1 实验方法** 取消化道的食道、胃贲门、胃体、胃幽门、十二指肠、回肠和直肠段,常规石蜡切片,组织横切,切片厚度 5~6 μm。切片分两组,一组用于组织学结构观察,H.E 染色,另一组用于 5-HT 细胞观察,免疫组织化学 Envision 两步法染色,加拿大树胶封片。光学显微镜观察,奥林巴斯 BX-63 显微镜拍照。

**1.2.2 数据处理** 消化道形态学测量数据包括各部位的长度和比肠长(肠道长度与头体长的比值),可作为反映动物食性主要特征的消化道参数(Elliott et al. 2003)。消化道组织学测量数据包括消化道各部位的黏膜褶皱数量及高度、肌层厚度 3 项指标。黏膜褶皱的数量以横切消化道断面的黏膜褶皱个数表示;黏膜层高度则以黏膜褶皱顶端至基部凹陷处的垂直距离表示。每个物种消化道各部位随机选取 10 个视野(物镜 10 倍,目镜 10 倍)进行消化道各部位黏膜层和肌层厚度的测量。每个物种消化道各部位随机取 50 个视野(物镜 40 倍,目镜 10 倍)进行 5-HT 细胞计数。

统计分析之前,用 Kolmogorov-Smirnov test 检验消化道黏膜层、肌层厚度与 5-HT 细胞数量这 3 项数据是否符合正态分布,对不呈正

态分布的数据进行对数转换 ( $\ln N$ ) 后, 再次进行检验。经检验, 数据仍不呈正态分布, 故采用非参数检验方法进行统计分析, 消化道黏膜层、肌层厚度的数据处理所用的数据均为原始数据, 5-HT 细胞数量的数据处理所用数据均为对数转换后的数据。用 Kruskal-Wallis test 检验同种动物消化道不同部位的黏膜层、肌层厚度以及 5-HT 细胞分布密度的差异, 用 Mann-Whitney *U* test 检验不同物种消化道同一部位的黏膜层、肌层厚度以及 5-HT 细胞分布密度的差异。 $P < 0.05$  为差异显著,  $P < 0.01$  为差异极显著,  $P < 0.001$  为差异极其显著。数据分析和检验在 Excel 2016 和 SPSS 26.0 软件中进行, 结果用平均值  $\pm$  标准误 (Mean  $\pm$  SE) 表示。

## 2 结果

### 2.1 消化道形态学结构

猫儿山小鲵和瑶山肥螈的消化道结构相似, 属于肌质管道, 都由食道、胃、十二指肠、回肠和直肠组成 (图 1)。两者的食道粗且短,

胃均呈“U”形结构, 胃体膨大, 但瑶山肥螈的胃较猫儿山小鲵的长; 二者的胃贲门和食道的分界均不明显, 胃幽门处有明显的缢缩作为分界线与肠分开; 瑶山肥螈回肠盘曲次数 5 或 6 次, 多于猫儿山小鲵; 两者的直肠位于腹腔后部, 是一段粗且直的管道 (图 1a, c)。

瑶山肥螈消化道全长及各部位长度均大于猫儿山小鲵 (表 1)。猫儿山小鲵的比肠长小于瑶山肥螈 (表 1)。两者从食道至胃至肠道的长度均呈现出逐渐增长的趋势。

### 2.2 消化道组织学结构

猫儿山小鲵和瑶山肥螈的消化道组织结构都由黏膜层、黏膜下层、肌层和外膜组成, 各部位黏膜上皮细胞间均含有杯状细胞 (图 2)。

两者食道的黏膜层均为复层柱状上皮, 约 2 或 3 层 (图 2a, b), 黏膜下层为疏松结缔组织, 肌层由环肌和纵肌组成。猫儿山小鲵黏膜层褶皱为 11 ~ 13 个, 瑶山肥螈褶皱为 13 ~ 15 个。瑶山肥螈食道的固有膜和黏膜下层分布着丰富的血管, 管腔大, 几乎把黏膜下层占满 (图 2b)。

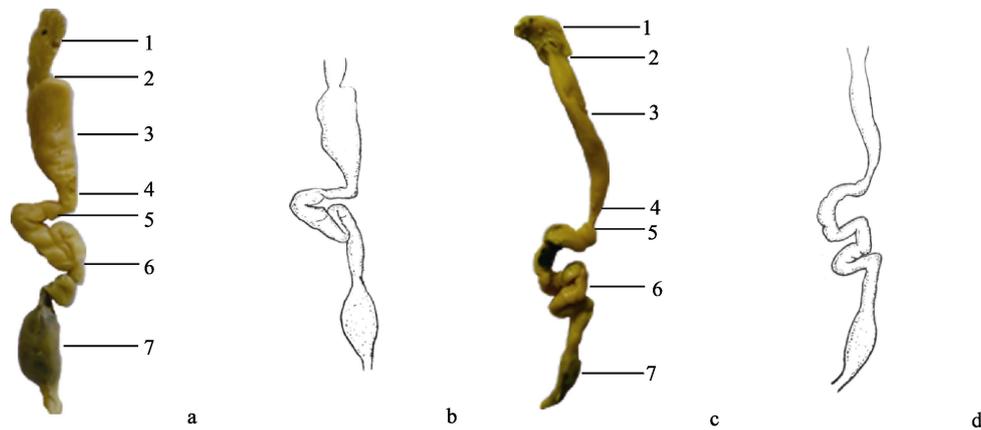


图 1 猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道及结构示意图 (♂)

Fig. 1 The digestive tract structures of *Hynobius maershanensis* and *Pachytriton intexpectatus* (♂)

a, c. 猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道照片; b, d. 猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道结构示意图。

a, c. The digestive tracts of *H. maershanensis* and *P. intexpectatus*; b, d. Schematic diagrams of the digestive tracts of *H. maershanensis* and *P. intexpectatus*.

1. 食道; 2. 胃贲门; 3. 胃体; 4. 胃幽门; 5. 十二指肠; 6. 回肠; 7. 直肠

1. Oesophagus; 2. Stomach cardia; 3. Stomach body; 4. Stomach pylorus; 5. Duodenum; 6. Ileum; 7 Rectum

表 1 猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道的形态比较

Table 1 The morphological information of digestive tracts of *Hynobius maoershanensis* and *Pachytriton intexpectatus*

物种 Species	食道长 Oesophagus length, OL (mm)	胃长 Stomach length, SL (mm)	肠长 Intestine length, IL (mm)	消化道长 Digestive tract length, DL (mm)	比肠长 The ratio of intestine length to snout-vent length, IL/SVL
猫儿山小鲵 <i>H. maoershanensis</i>	4.95 ± 0.49 4.12 ~ 5.25	17.5 ± 1.00 15.41 ~ 20.54	53.18 ± 4.36 42.48 ~ 66.27	75.63 ± 5.71 62.01 ~ 93.55	0.57 ± 0.03 0.48 ~ 0.67
瑶山肥螈 <i>P. intexpectatus</i>	5.37 ± 0.34 4.28 ~ 6.32	31.58 ± 1.08 28.52 ~ 35.09	72.92 ± 5.41 60.65 ~ 92.71	109.86 ± 5.49 97.90 ~ 128.74	0.84 ± 0.03 0.78 ~ 0.95

数据以平均值 ± 标准误差和范围表示。Data are expressed as Mean ± SE and range.

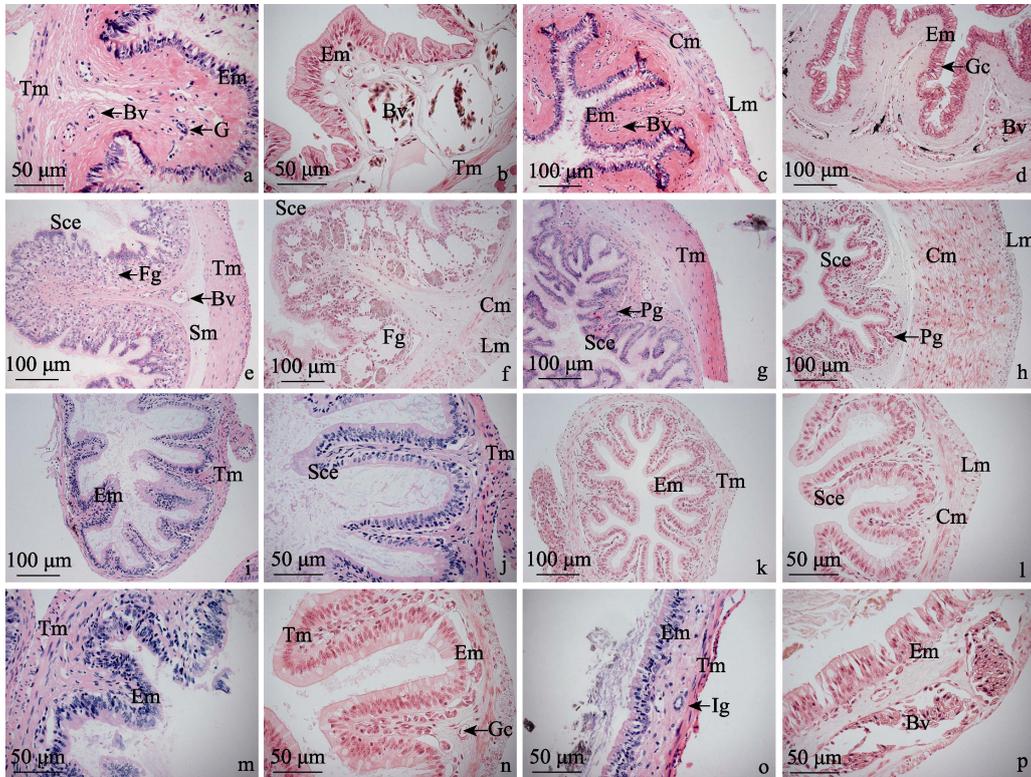


图 2 猫儿山小鲵和瑶山肥螈的消化道组织结构

Fig. 2 The histological structures of the digestive tracts in *Hynobius maoershanensis* and *Pachytriton intexpectatus*

a. 猫儿山小鲵食道; b. 瑶山肥螈食道; c. 猫儿山小鲵贲门; d. 瑶山肥螈贲门; e. 猫儿山小鲵胃体; f. 瑶山肥螈胃体; g. 猫儿山小鲵幽门; h. 瑶山肥螈幽门; i, j. 猫儿山小鲵十二指肠; k, l. 瑶山肥螈十二指肠; m. 猫儿山小鲵回肠; n. 瑶山肥螈回肠; o. 猫儿山小鲵直肠; p. 瑶山肥螈直肠。

a. The esophagus of *H. maoershanensis*; b. The esophagus of *P. intexpectatus*; c. The cardia of *H. maoershanensis*; d. The cardia of *P. intexpectatus*; e. The stomach body of *H. maoershanensis*; f. The stomach body of *P. intexpectatus*; g. The pylorus of *H. maoershanensis*; h. The pylorus of *P. intexpectatus*; i, j. The duodenum of *H. maoershanensis*; k, l. The duodenum of *P. intexpectatus*; m. The ileum of *H. maoershanensis*; n. The ileum of *P. intexpectatus*; o. The rectum of *H. maoershanensis*; p. The rectum of *P. intexpectatus*.

Bv. 血管; Cm. 环肌; Em. 黏膜上层; Fg. 胃腺; G. 腺体; Gc. 杯状细胞; Ig. 肠腺; Lm. 纵肌; Pg. 幽门腺; Sce. 单层柱状上皮; Sm. 黏膜下层; Tm. 肌层

Bv. Blood vessel; Cm. Circular muscle; Em. Epithelium mucosae; Fg. Fundic gland; G. Gland; Gc. Goblet cell; Ig. Intestinal gland; Lm. Longitudinal muscle; Pg. Pyloric gland; Sce. Simple columnar epithelium; Sm. Submucosa; Tm. Tunica muscularis

两者胃部的黏膜层上皮组织相同，胃贲门部为复层柱状上皮，胃体和幽门部均为单层柱状上皮，上皮细胞排列紧密，其间分布有杯状细胞（图 2c~h）。两者的贲门部黏膜下层和固有层都分布着血管（图 2c, d），瑶山肥螈的较为丰富（图 2d）。胃体分布着较多的胃腺，瑶山肥螈的胃腺管腔、胃幽门部的肌层厚度都显著大于猫儿山小鲵的（图 2e~h）。

猫儿山小鲵和瑶山肥螈小肠部位存在长短不一呈指状的绒毛，直肠褶皱低矮，未见明显的皱襞突起（图 2i~p）。猫儿山小鲵十二指肠部位的绒毛数量较多，达 18~20 个，回肠部位则为 7~11 个；瑶山肥螈十二指肠的绒毛为 11~13 个，回肠为 9~11 个。两者的十二指肠黏膜上皮均为单层柱状上皮（图 2i~l），回肠和直肠的黏膜上皮却为复层柱状上皮（图 2m、n）。猫儿山小鲵直肠部存在直肠腺（图 2o），瑶山肥螈直肠未见腺体分布，但血管较多，个别血管的管腔几乎将肌层占满（图 2p）。

**2.3 消化道组织结构厚度比较**

猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道组织结构的

黏膜层和肌层厚度分别见表 2。通过比较，发现二者消化道各部位的黏膜层和肌层的厚度均呈显著性差异。二者的胃体和直肠部位的黏膜层厚度的差异性显著，食道、贲门、胃体、回肠和十二指肠部位的肌层厚度的差异性显著。猫儿山小鲵食道部位的黏膜层和肌层的厚度均高于瑶山肥螈（表 2）。在胃部，猫儿山小鲵黏膜层厚度在胃体部最高，贲门次之，幽门最低；而瑶山肥螈贲门部的厚度最厚，变化趋势从贲门至幽门逐渐降低（表 2）。肌层厚度的变化趋势与黏膜层不同，猫儿山小鲵胃部的肌层厚度从贲门至幽门逐渐变厚；而瑶山肥螈以幽门部最厚，贲门次之，最低为胃体（表 2）。在肠道部位，猫儿山小鲵黏膜层的厚度由十二指肠至直肠逐渐降低，肌层以回肠最厚；而瑶山肥螈肠道部位的黏膜层、肌层最厚的部位均位于回肠（表 2）。

**2.4 消化道 5-HT 细胞的形态、分布密度特征**

免疫组织化学 Envision 两步法结果显示，消化道 5-HT 细胞呈黑褐色或深棕色，背景色为浅蓝色或浅棕色，易辨认。对照实验呈阴性反应。

表 2 猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道黏膜层和肌层厚度

Table 2 Thicknesses of mucosa and muscle layers in the digestive tracts of *Hynobius maoershanensis* and *Pachytriton intexpectatus*

消化道 Digestive tract	猫儿山小鲵 <i>H. maoershanensis</i>	瑶山肥螈 <i>P. intexpectatus</i>	Z 值 Z value	P 值 P value	
黏膜层厚度 Thickness of mucosa (μm)	食道 Esophagus	307.40 ± 40.69	197.04 ± 18.00	- 1.461	> 0.05
	贲门 Cardia	367.85 ± 47.97	403.24 ± 55.81	- 0.108	> 0.05
	胃体 Stomach body	712.82 ± 37.67	293.55 ± 47.53	- 4.626	< 0.001
	幽门 Pylorus	216.64 ± 39.90	282.09 ± 65.44	- 0.352	> 0.05
	十二指肠 Duodenum	289.98 ± 25.10	243.30 ± 19.95	- 1.866	> 0.05
	回肠 Ileum	251.25 ± 22.43	249.82 ± 27.42	- 0.216	> 0.05
	直肠 Rectum	54.61 ± 3.61	116.72 ± 16.31	- 4.869	< 0.001
肌层厚度 Thickness of muscle (μm)	食道 Esophagus	96.30 ± 6.71	73.51 ± 5.04	- 2.435	< 0.05
	贲门 Cardia	135.82 ± 10.88	329.59 ± 14.55	- 5.356	< 0.001
	胃体 Stomach body	202.81 ± 12.27	93.45 ± 10.16	- 4.896	< 0.001
	幽门 Pylorus	398.76 ± 16.91	439.45 ± 27.86	- 0.568	> 0.05
	十二指肠 Duodenum	37.36 ± 3.17	72.22 ± 4.06	- 4.815	< 0.001
	回肠 Ileum	89.81 ± 5.16	75.17 ± 8.44	- 1.569	< 0.05
	直肠 Rectum	51.43 ± 5.23	51.38 ± 3.89	- 0.271	> 0.05

**2.4.1 消化道 5-HT 细胞的形态特征** 5-HT 细胞分布在猫儿山小鲵和瑶山肥螈的消化道各段, 主要位于上皮细胞间、上皮基部或腺体间。从整体上看, 两者消化道 5-HT 细胞的形态多样, 均含有圆形、椭圆形和梭形细胞 (图 3)。圆形、椭圆形和梭形的 5-HT 细胞分布较为广泛, 其中梭形细胞的突起指向肠腔或固有层。不同形状的 5-HT 细胞分布在消化道不同部位, 且分布特征有所不同。圆形或椭圆形细胞, 主要分布在猫儿山小鲵食道 (图 3a)、贲门 (图 3c)、胃体 (图 3e)、幽门 (图 3g)、回肠 (图 3m) 和直肠 (图 3o), 瑶山肥螈幽门 (图 3h)、十二指肠 (图 3l) 和回肠 (图 3n)。梭形细胞, 主要分布在猫儿山小鲵贲门 (图 3c)、胃体 (图 3e)、十二指肠 (图 3j) 和回肠 (图 3m), 瑶山肥螈食道 (图 3b)、贲门 (图 3d)、十二指肠 (图 3k)。锥形细胞, 主要分布在瑶山肥螈胃体 (图 3f)、幽门 (图 3h)、回肠 (图 3n)、直肠 (图 3p)。棒状细胞分布在猫儿山小鲵直肠 (图 3o)。

**2.4.2 消化道 5-HT 细胞的分布密度特征** 猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道 5-HT 细胞的分布密度见表 3。猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道不同部位的 5-HT 细胞分布密度都存在显著差异。对比两者消化道同一部位, 仅有直肠呈现显著性差异 (表 3)。两者从食道至回肠的 5-HT 细胞分布特征均相似, 不同的是猫儿山小鲵直肠部位的 5-HT 细胞密度上升, 而瑶山肥螈呈下降的趋势。猫儿山小鲵 5-HT 细胞的分布密度从食道逐渐上升至贲门, 贲门到胃体下降, 从胃体至十二指肠陡增, 至直肠上升到最高峰。瑶山肥螈 5-HT 细胞的分布密度从食道至十二指肠呈现递增现象, 十二指肠部位为密度最高的部位, 十二指肠至直肠呈递减趋势, 低谷位于直肠。

### 3 讨论

#### 3.1 消化道结构与功能的关系

目前, 关于两栖动物消化道的分区并没有形成统一的说法, 尚存争议。大多数两栖动物

的肠道被划分为十二指肠、回肠和直肠 3 个部分, 如水栖型的商城肥鲵 (*Pachyhynobius shangchengensis*) (吕九全等 2000) 和陆栖型的红瘰疣螈 (*Tylototriton shanjing*) (肖小柳等 2014)。少数动物的小肠分为十二指肠、空肠、回肠, 大肠为直肠, 如水栖型的虎纹蛙 (*Hoplobatrachus chinensis*) (邵晨等 2005); 也有的大肠部位分为两段, 即大肠、直肠, 如陆栖型的高山倭蛙 (*Nanorana parkeri*) (李斌等 2009)。猫儿山小鲵成体营陆栖生活, 瑶山肥螈营水栖生活, 二者生活类型不同, 但本研究根据消化道结构的特点, 将肠道分区均分为十二指肠、回肠和直肠, 与商城肥鲵 (吕九全等 2000)、红瘰疣螈 (肖小柳等 2014) 相似。由此来看, 具有相同或者不同栖息类型的两栖动物肠道分区既有相似性也有差异性, 表明动物的肠道分区与其生活环境之间的相关性不大。

研究发现, 肉食性动物的肠道较短, 比肠长数值小于 1 (潘黔生等 1996, 刘飞等 2001)。例如, 凹耳臭蛙 (*Odorrana tormota*) 趋向取食体表无革质翅、坚硬外壳或者体型较小的食物种类, 这类食物易于被消化, 其肠道长与头体长的比值约为 0.44 ~ 0.91 (吴雨函等 2012)。但是当动物捕食较难消化的食物时会使肠道变长, 比肠长值可能会大于 1 (Olsson et al. 2007), 如花背蟾蜍 (*Bufo raddei*) 以直翅目、鞘翅目昆虫为食, 肠道长与头体长的比值约为 2.0 ~ 2.4 (王昱 2010)。猫儿山小鲵和瑶山肥螈的比肠长比值分别为 0.48 ~ 0.76 和 0.78 ~ 0.95, 与凹耳臭蛙 (吴雨函等 2012) 相似, 比肠长数值均不超过 1。猫儿山小鲵比肠长数值较小, 可能与其取食蚯蚓、蚊子幼虫等容易消化的食物有关。瑶山肥螈的比肠长值大于猫儿山小鲵的原因可能在于瑶山肥螈取食螺类、蟹等动物, 体表含坚硬外壳, 使其发展出较长的肠道有助于消化吸收。因此, 根据比肠长特点推测猫儿山小鲵和瑶山肥螈的食性为肉食性。至于猫儿山小鲵和瑶山肥螈是否具有杂食性特征, 有待进一步探究。

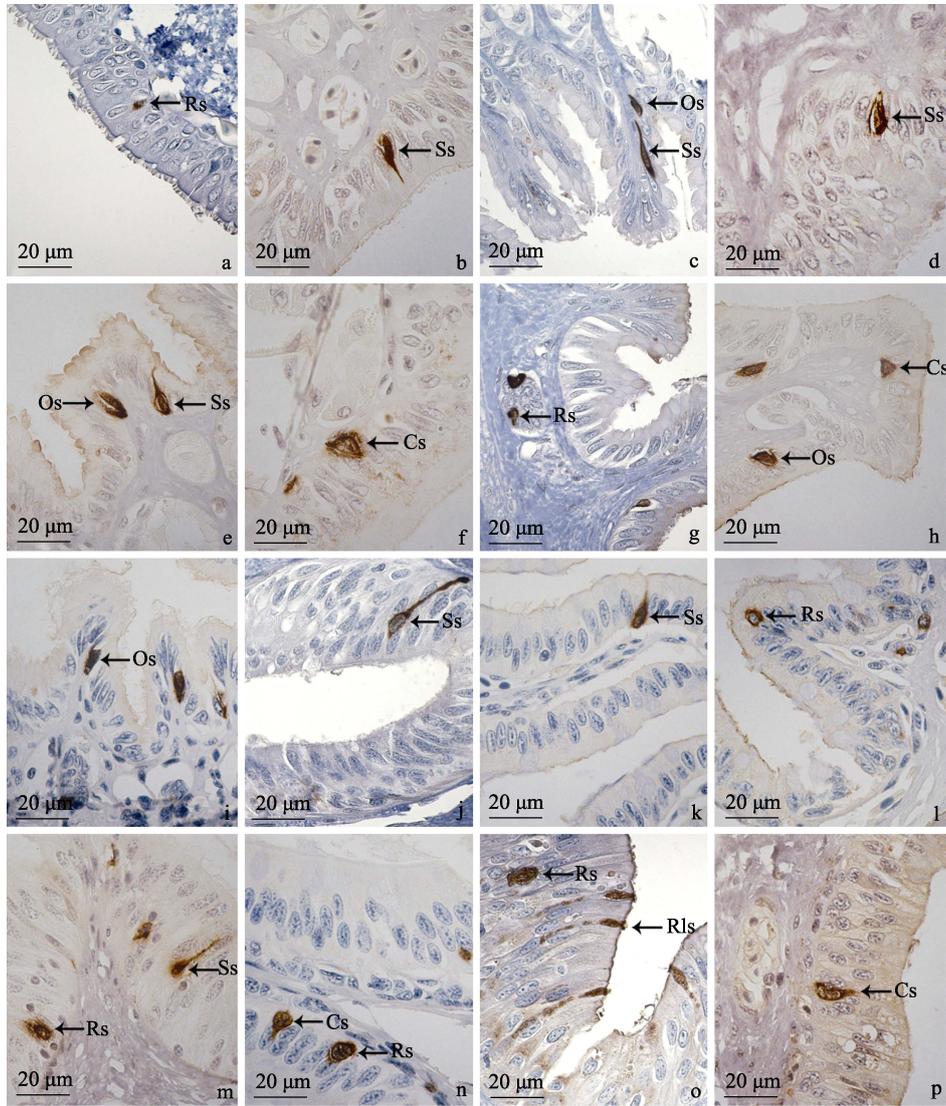


图 3 猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道 5-HT 细胞的分布位置和形态

**Fig. 3 The distribution and morphology of 5-HT cells in the digestive tracts of *Hynobius maoershanensis* and *Pachytriton intexpectatus***

a. 猫儿山小鲵食道; b. 瑶山肥螈食道; c. 猫儿山小鲵胃贲门; d. 瑶山肥螈胃贲门; e. 猫儿山小鲵胃体; f. 瑶山肥螈胃体; g. 猫儿山小鲵胃幽门; h, i. 瑶山肥螈胃幽门; j. 猫儿山小鲵十二指肠; k, l. 瑶山肥螈十二指肠; m. 猫儿山小鲵回肠; n. 瑶山肥螈回肠; o. 猫儿山小鲵直肠; p. 瑶山肥螈直肠。

a. The esophagus of *H. maoershanensis*; b. The esophagus of *P. intexpectatus*; c. The cardia of *H. maoershanensis*; d. The cardia of *P. intexpectatus*; e. The stomach body of *H. maoershanensis*; f. The stomach body of *P. intexpectatus*; g. The pylorus of *H. maoershanensis*; h, i. The pylorus of *P. intexpectatus*; j. The duodenum of *H. maoershanensis*; k, l. The duodenum of *P. intexpectatus*; m. The ileum of *H. maoershanensis*; n. The ileum of *P. intexpectatus*; o. The rectum of *H. maoershanensis*; p. The rectum of *P. intexpectatus*.

Cs. 锥形 5-HT 细胞; Os. 椭圆形 5-HT 细胞; Rs. 圆形 5-HT 细胞; Rls. 棒状 5-HT 细胞; Ss. 梭形 5-HT 细胞

Cs. Cone shaped 5-HT cells; Os. Oval shaped 5-HT cells; Rs. Round shaped 5-HT cells; Rls. Rod-like shaped 5-HT cells; Ss. Spindle shaped 5-HT cells

表 3 猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道 5-HT 细胞分布密度 (单位: 个/视野)

Table 3 Distributional densities of 5-HT cells in the digestive tracts of *Hynobius maoershanensis* and *Pachytriton intexpectatus* (Unit: number/field of vision)

消化道 Digestive tract	猫儿山小鲵 <i>H. maoershanensis</i>	瑶山肥螈 <i>P. intexpectatus</i>	Z 值 Z value	P 值 P value
食道 Esophagus	0.44 ± 0.50	0.49 ± 0.47	- 0.495	> 0.05
贲门 Cardia	0.75 ± 0.56	0.84 ± 0.52	- 0.713	> 0.05
胃体 Stomach body	0.57 ± 0.51	0.82 ± 0.66	- 1.908	> 0.05
幽门 Pylorus	1.16 ± 0.63	1.15 ± 0.57	- 0.522	> 0.05
十二指肠 Duodenum	1.16 ± 0.60	1.16 ± 0.63	- 0.428	> 0.05
回肠 Ileum	1.09 ± 0.69	0.87 ± 0.63	- 1.555	> 0.05
直肠 Rectum	1.98 ± 0.70	0.40 ± 0.46	- 7.107	< 0.001

猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道组织结构相似, 均表现出许多与食物消化、营养吸收的适应性特征。食道粗短, 并含有较大的纵行皱襞, 利于将食物整个吞咽; 黏膜层内分布着许多杯状细胞, 可以分泌黏液和消化酶, 在进食时起到消化、润滑食物和保护黏膜层的作用 (Albrecht et al. 2001)。两者的胃体部均存在发达的胃腺, 可分泌胃酸加快消化食物的进程。但瑶山肥螈胃腺管腔较大, 这可能与其捕食螺类、虾、蟹等不易消化的食物相关, 需较多的胃酸来协助消化。胃部具有高大粗壮的皱襞, 可扩大消化吸收的面积, 发达的肌层可增强胃的蠕动能力, 使食物与消化液充分接触 (Forte et al. 1970)。猫儿山小鲵胃部的肌层厚度以胃幽门最厚, 变化趋势由贲门至幽门逐渐增厚, 表明胃的收缩能力逐渐增强; 瑶山肥螈也是胃幽门部的肌层最厚, 其次为贲门, 胃体较薄, 表明其胃体的收缩能力较贲门和幽门处弱。小肠绒毛具有缓冲的作用, 可减少食物对肠道造成的机械性损伤 (Ezeasor et al. 1980), 数量越多, 肠道与食物的消化面积越大 (杨元昊等 2017)。猫儿山小鲵和瑶山肥螈十二指肠和回肠部位有着较多的绒毛, 可扩大肠道与食物的接触面积, 提高对营养物质的吸收能力。杯状细胞分泌的黏液可润滑肠道, 利于排出代谢废物 (王丽敏等 2016)。两者的直肠皱襞数量少且呈低矮状, 消化吸收的能力明显减弱, 但黏膜

层含有较多杯状细胞, 可分泌黏液促进粪便的排出。

### 3.2 5-HT 细胞形态、功能及分布密度比较

内分泌细胞形态多样, 含有开放型和闭合型两种类型。开放型细胞多为梭形、锥形、棒状等, 有较长的细胞质突起伸向管腔或固有膜, 行使外分泌功能; 闭合型细胞多呈圆形、椭圆形, 不与管腔接触, 行使内分泌功能 (张志强 2013)。在猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道内的闭合型细胞, 如圆形、椭圆形的 5-HT 细胞分布在各部位上皮细胞之间或腺体内; 两者消化道内的开放型细胞, 如梭形细胞、锥形细胞多分布在胃贲门和幽门处, 在猫儿山小鲵直肠处还罕见分布棒状细胞。这说明两者的消化道 5-HT 内分泌细胞都具有内分泌和外分泌功能, 至于 5-HT 内分泌细胞是否具有旁分泌的功能, 有待进一步研究。

5-HT 细胞在两栖动物消化道中的分布规律差异较大 (张志强 2013)。例如, 极北鲵 (*Salamandrella keyserlingii*) 消化道 5-HT 细胞分布密度最高峰位于胃体部和十二指肠, 以胃幽门最低 (赵丽丽等 2018); 东方蝾螈十二指肠部最高, 胃幽门最低 (刘新波等 2011); 虎纹蛙十二指肠部的分布密度最高, 最低位于食道 (张盛周等 2002)。猫儿山小鲵直肠部的 5-HT 细胞密度最高, 食道最低; 而瑶山肥螈 5-HT 细胞在十二指肠部位数量最多, 直肠最

少。两者消化道 5-HT 细胞的分布规律不同,与上述动物的分布特征也不完全相同。表明消化道 5-HT 细胞的分布规律在两栖动物不同物种之间存在着种间差异(张志强 2013)。

研究认为,影响 5-HT 细胞分布规律的原因可能与动物的食物组成、栖息地环境有关(杨贵波等 1997,张志强等 2010)。例如,极北鲩以蝇、叩头虫、蝗虫等为食(马德滨等 2003);虎纹蛙捕食昆虫、蝌蚪、鱼等(张盛周等 2002)。猫儿山小鲵以蚯蚓、蛙类蝌蚪等为食,栖息类型为陆栖型;瑶山肥螈为水栖型物种,主要以螺类、虾、蟹等为食。两者的食物组成不同,与上述动物的食性也有一定的差异。另外,二者的栖息类型和具体的生活环境也不同。猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道 5-HT 细胞的分布型不同,可能是它们的食物组成、生活环境不一样造成的,具体的影响机制还有待进一步研究。

El-Salhy 等(1985)认为,两栖和爬行动物的食道中分布 5-HT 细胞,但在鸟类和哺乳类动物的食道内并不存在。东方蝾螈(刘新波等 2011)、虎纹蛙(张盛周等 2002)、滑鼠蛇(*Ptyas mucosus*)(刘溯源等 2019)等动物的食道中都含有 5-HT 细胞。在本研究中,也发现猫儿山小鲵和瑶山肥螈的食道部位含有 5-HT 细胞。两栖和爬行动物食道内存在 5-HT 细胞,原因可能是这两类动物缺乏口腔消化,摄食时会把食物整个吞咽,故需一定量的 5-HT 调节肠道运动和分泌黏液来推动食物由食道下行至胃(甄靓靓等 2007)。

猫儿山小鲵和瑶山肥螈胃部的 5-HT 细胞分布规律相同,均以胃幽门部最高,胃贲门部次之,胃体最低。胃幽门部跟十二指肠的连接处较为狭窄,需较多 5-HT 促进此部位的蠕动才能将食物顺利推向肠道(任春宇等 2010)。肠道部位是消化吸收剩余食物残渣的主要部位,随着食物被推动到直肠,消化吸收过程已经基本完成,故肠道内的 5-HT 细胞分布密度由十二指肠至直肠逐渐降低,如东方蝾螈(刘新波等 2011)。瑶山肥螈肠道 5-HT 细胞的分

布规律与东方蝾螈(刘新波等 2011)一致。而猫儿山小鲵肠道 5-HT 细胞的分布规律呈“√”形,即直肠密度最高,导致这种特殊分布的原因,还有待进一步研究。另外,5-HT 细胞在两者肠道内的分布特征存在差异的影响机制还需深入研究。

综上,猫儿山小鲵和瑶山肥螈消化道的形态学和组织学结构相似,两者的比肠长数值均小于 1,符合肉食性动物消化道短的特征。另外,5-HT 细胞在两者消化道各个部位均有分布,具有内、外两种分泌功能,其分布特征与其他两栖动物既有相似性也有差异性。至于二者 5-HT 细胞分布型存在差异的原因可能与其生活环境和食物组成不同相关,其具体的影响机制有待进一步研究。

## 参 考 文 献

- Ahlman H, Nilsson O. 2001. The gut as the largest endocrine organ in the body. *Annals of Oncology*, 12 (2): 63–68.
- Albrecht M P, Ferreira M F N, Caramaschi E P. 2001. Anatomical features and histology of the digestive tract of two related neotropical omnivorous fishes (Characiformes; Anostomidae). *Journal of Fish Biology*, 58(2): 419–430.
- Cinar K. 2002. Immunohistochemical localization of glucagon, substance-P and vasoactive intestinal peptide in gastrointestinal tract mucosa of zander. *Journal of Fish Biology*, 60(2), 319–327.
- Elliott J P, Bellwood D R. 2003. Alimentary tract morphology and diet in three coral reef fish families. *Journal of Fish Biology*, 63(6): 1598–1609.
- El-Salhy M, Wilander E, Lundquist M. 1985. Comparative studies of serotonin-like immunoreactive cell in the digestive tract of vertebrates. *Biomedical Research*, 6(6): 371–375.
- Ezeasor D N, Stokoe W M. 1980. Scanning electron-microscopic study of the gut mucosa of the rainbow-trout *salmo-gairdneri richardson*. *Journal of Fish Biology*, 17(5): 529–539.
- Forte T M, Forte J G. 1970. Histochemical staining and characterization of glycoproteins in acid-secreting cells of frog stomach. *Journal of Cell Biology*, 47(2): 437–452.
- French A S, Simcock K L, Rolke D, et al. 2014. The role of serotonin

- in feeding and gut contractions in the honeybee. *Journal of Insect Physiology*, 61(100): 8–15.
- Olsson J, Quevedo M, Colson C, et al. 2007. Gut length plasticity in perch: into the bowels of resource polymorphisms. *Biological Journal of the Linnean Society*, 90(3): 517–523.
- 卜荣平. 2017. 猫儿山小鲵繁殖行为和繁殖期生境选择研究. 桂林: 广西师范大学硕士学位论文.
- 费梁, 叶昌媛, 江建平. 2012. 中国两栖动物及其分布. 成都: 四川科学技术出版社, 46–47.
- 国家林业和草原局, 农业农村部. 2021. 国家林业和草原局农业农村部公告(2021年第3号)(国家重点保护野生动物名录). [EB/OL]. [2021-03-10]. <http://www.forestry.gov.cn/main/5461/20210205/122418860831352.html>.
- 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 2016. 中国脊椎动物红色名录. 生物多样性, 24(5): 500–551.
- 李斌, 陶聪, 黄强. 2009. 高山倭蛙消化道结构初步观察. *四川动物*, 28(2): 241–243.
- 李淑兰, 刘超, 吕晓慧, 等. 2010. 黑龙江林蛙冬眠和非冬眠消化道内分泌细胞的比较研究. *中国组织化学与细胞化学杂志*, 19(3): 245–251.
- 刘飞, 张轩杰, 刘少军, 等. 2001. 湘云鲫、湘云鲤消化道的组织学研究. *中国水产科学*, 8(3): 23–27.
- 刘家举, 张志强. 2011. 禁食对东方蝾螈胃肠道 5-羟色胺细胞形态和分布型的影响. *中国组织化学与细胞化学杂志*, 20(3): 246–251.
- 刘溯源, 伍亮, 姚利, 等. 2019. 滑鼠蛇消化道 5-羟色胺细胞形态和分布密度的增龄变化. *中国组织化学与细胞化学杂志*, 28(6): 514–518.
- 刘新波, 曹雷, 李淑兰. 2011. 东方蝾螈消化道 5-羟色胺免疫活性细胞的分布与形态学观察. *四川动物*, 30(5): 409–411.
- 吕九全, 路纪琪, 牛红星, 等. 2000. 商城肥鲵消化道的解剖学观察. *动物学杂志*, 35(2): 19–22.
- 马德滨, 吴伟峰. 2003. 哈尔滨周边地区有尾两栖类的生态学研究. *黑龙江环境通报*, 27(1): 53–55.
- 莫运明, 韦振逸, 陈伟才. 2014. 广西两栖动物彩色图鉴. 南宁: 广西科学技术出版社, 64.
- 潘黔生, 郭广全, 方之平, 等. 1996. 6种有胃真骨鱼消化系统比较解剖的研究. *华中农业大学学报*, 15(5): 463–469.
- 任春宇, 李淑兰. 2010. 黑龙江林蛙(*Rana amure*)消化道 5-HT 细胞的分布及形态学观察. *中国农学通报*, 26(14): 94–97.
- 邵晨, 洪煌明. 2005. 金华地区虎纹蛙消化道形态解剖学观察. *浙江师范大学学报: 自然科学版*, 28(2): 197–200.
- 唐晓雯, 郑一守. 1991. 不同脊椎动物消化道内 5-羟色胺免疫染色细胞的分布. *动物学研究*, 12(3): 293–298.
- 王丽敏, 杨纯, 郭俐, 等. 2016. 秦岭滑蜥消化系统组织结构及消化管嗜银细胞观察. *动物学杂志*, 51(4): 614–622.
- 王昱. 2010. 陇南花背蟾蜍消化道解剖学及组织学观察. *天水师范学院学报*, 30(5): 26–28.
- 吴雨函, 熊荣川, 雷飞宙, 等. 2012. 凹耳臭蛙消化系统解剖学及组织学观察. *四川动物*, 31(4): 583–588.
- 肖小柳, 彭东燕, 杜琴, 等. 2014. 红瘰疣螈消化系统组织学观察. *湖北农业科学*, 53(12): 2846–2849.
- 杨贵波, 王平. 1997. 改变食物组成对大鼠胃肠道嗜铬细胞的影响. *动物学报*, 43(01): 55–60.
- 杨元昊, 王立新, 李学智, 等. 2017. 兰州鲇与鲇消化系统的形态学及组织学比较研究. *水生生物学报*, 41(1): 174–181.
- 张志强. 2013. 两栖类消化道嗜银细胞和 5-羟色胺细胞的研究进展. *中国组织化学与细胞化学杂志*, 22(2): 172–175.
- 张志强, 吴孝兵. 2010. 爬行类消化道 5-羟色胺细胞免疫组化研究进展. *中国组织化学与细胞化学杂志*, 19(5): 508–511.
- 张盛周, 吴孝兵, 陈壁辉. 2002. 虎纹蛙消化道两种内分泌细胞的免疫组织化学定位. *解剖学杂志*, 25(3): 275–277.
- 赵丽丽, 任春宇, 李淑兰. 2018. 极北鲵消化道 6 种内分泌细胞的免疫组织化学研究. *动物学杂志*, 53(4): 589–596.
- 甄靓靓, 邱枫, 李淑兰, 等. 2007. 非洲爪蟾消化道的 5-羟色胺免疫活性细胞. *解剖学杂志*, 30(7): 279–282.