

# 中华鳖肠道组织结构特征及分段标准

宋浩然 潘佳成 罗嘉翔 李彩燕\* 宋伟

浙江万里学院生物与环境学院 宁波 315100

**摘要:** 中华鳖 (*Pelodiscus sinensis*) 是我国重要的特种水产养殖动物。肠道作为动物营养物质消化、吸收和转运的主要器官, 发挥着抵御外界有害物质的屏障功能。本研究对养殖的中华鳖完整肠道进行了组织学研究, 将肠道从胃底开始至泄殖孔分为 I~XX 共 20 个肠段。结果显示, 肠段 I~IV 邻近肝和胆囊, V~VIII 紧贴胰, 邻近肝胆, IX~XII 及 XIII~XVI 邻近脾, XVII~XX 则邻近肾和卵巢。苏木素-伊红染色 (H.E 染色) 分析表明, 肠段 I~IV 的肠直径较大, 肠肌肉层较厚, 肠皱襞粗大且数量众多, 几乎无肠绒毛; 相较之下, V~VIII 的肠直径明显小于 I~IV, 肠肌肉层亦薄于 I~IV, 肠皱襞粗大但数量单一, 且肠绒毛发达。对于 IX~XII, 肠直径小于 V~VIII, 肠肌肉层薄于 V~VIII, 肠皱襞短小且数量较多, 几乎无肠绒毛。而 XIII~XIX 的肠直径和肠肌肉层厚度小于 IX~XII, 但肠皱襞短小且单一, 肠绒毛较发达。最后, XVII~XX 的肠肌肉层厚度与 IX~XII 无显著差异, 肠皱襞粗大且数量众多, 几乎无肠绒毛。通过阿利新蓝-过碘酸雪夫染色 (AB-PAS 染色) 分析, 发现 I~IV 段主要存在 I 型和 III 型杯状细胞, V~XVI 段主要存在 I 型和 II 型杯状细胞, 而 XVII~XX 段则无杯状细胞存在。上述结果表明, 养殖中华鳖各肠段具有明显的归类特征, 可以将肠道分为肠始段 (I~IV)、肠前段 (V~VIII)、肠中段 (IX~XII)、肠后段 (XIII~XVI) 和肠末段 (XVII~XX)。本研究通过分析中华鳖肠道各分段形态特征和杯状细胞分布, 初步明确中华鳖肠道各分段的特征, 并将中华鳖肠道分为肠始段、肠前段、肠中段、肠后段和肠末段。

**关键词:** 中华鳖; 肠道; 皱襞; 杯状细胞

**中图分类号:** Q954 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2025) 05-747-12

## Characteristics of Intestinal Structure of *Pelodiscus sinensis* and the Standard Method for Segmentation

SONG Hao-Ran PAN Jia-Cheng LUO Jia-Xiang LI Cai-Yan\* SONG Wei

College of Biological and Environmental Sciences, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China

**Abstract: [Objectives]** The Chinese Soft-shelled Turtle *Pelodiscus sinensis* is an important species in China's aquaculture. The intestine serves as the primary organ for the digestion, absorption, and transport of nutrients,

**基金项目** 浙江省大学生创新创业训练计划项目 (No. S202410876089), 浙江省自然科学基金项目 (No. LQN25C190005), 浙江省大学生科技创新活动计划/新苗人才计划项目 (No. 2024R42B015);

\* 通讯作者, E-mail: licy82@163.com;

**第一作者介绍** 宋浩然, 男, 本科生; 研究方向: 水产动物品质调控; E-mail: jiutui309345@163.com。

收稿日期: 2024-11-04, 修回日期: 2025-04-23 DOI: 10.13859/j.cjz.202524247 CSTR: 32109.14.cjz.24247

while also functioning as a barrier against harmful external substances. However, the structural characteristics of the intestinal tissue in *P. sinensis* remain unclear. **[Methods]** In this study, the complete intestinal tract of *P. sinensis* was divided into 20 intestinal segments from fundus gastris to genital pores. Histological analysis was performed by hematoxylin and eosin (H.E) and Alcian Blue-Periodic Acid-Schiff (AB-PAS) staining. SPSS 22.0 was used for one-way analysis of variance of quantitative analysis data, and  $P < 0.05$  was defined as significant difference. **[Results]** Segments I - IV are adjacent to the liver and gallbladder. Segments V - VIII are close to the pancreas and near the liver and gallbladder. Segments IX - XII and XIII - XVI are near the spleen. Segments XVII - XX are located adjacent to the kidneys and ovaries (Fig. 1). H.E staining showed that segments I - IV had larger diameter, thicker muscular layer, pronounced and numerous intestinal folds, and nearly no intestinal villi. Segments V - VIII had significantly smaller diameter and thinner muscular layer than segments I - IV, with large but singular folds and well-developed villi. Segments IX - XII had smaller diameter and thinner muscular layer than segments V - VIII, with shorter and numerous folds and almost no villi. Segments XIII - XVI had smaller diameter and thinner muscular layer than segments IX - XII, with short singular folds and relatively well-developed villi. Lastly, segments XVII - XX showed no significant differences in diameter or muscular layer thickness compared with segments IX - XII, with large and numerous folds and almost no villi (Figs. 2, 3). AB-PAS staining revealed that segments I - IV predominantly contained type I and type III goblet cells, while segments V - XVI primarily had type I and type II goblet cells. No goblet cell was observed in segments XVII - XX. **[Conclusion]** These results indicate distinct classification characteristics among the intestinal segments of *P. sinensis*, allowing the intestine to be categorized into five regions: initial of small intestine (ISI), anterior of small intestine (ASI), middle of small intestine (MSI), posterior of small intestine (PSI), and finale of small intestine (FSI).

**Key words:** *Pelodiscus sinensis*; Intestinal tract; Fold; Goblet cell

中华鳖 (*Pelodiscus sinensis*) 隶属于爬行纲龟鳖目鳖科鳖属, 主要分布在中国、韩国和日本等亚洲东部地区 (Adnagulov et al. 2003)。中华鳖是我国传统的特种水产养殖物种之一, 2023 年全国年养殖产量达 49 万吨, 产值逾百亿 (农业农村部渔业渔政管理局等 2024)。

肠道是动物营养物质消化、吸收和转运的主要器官, 肠道功能的正常运转是机体生长发育和健康状态的保障 (Celi et al. 2017)。然而, 肠道形态结构常随着动物种类和食性的改变而变化 (苏泽红等 2006)。张家荣等 (2024) 对海水鱼类的研究中提到, 植食性鱼类肠道相对狭长, 肠道褶皱和肠道肌层发达, 但肠道褶皱无分支; 肉食性鱼类肠道长度则较短, 但肠道褶皱分支数量多, 肠道褶皱表面积显著增加; 而杂食性鱼类肠道分支较少, 不同的杂食性鱼

类肠道结构也会有所差异。不同栖息地的中华鳖在肠道形态与微生物菌群均存在较大差异 (Wu et al. 2021)。研究发现, 水产养殖系统对中华鳖肠道微生物组影响最大, 其次是皮肤微生物组, 最后是口腔微生物组 (Ding et al. 2022)。而微生物也会对中华鳖肠道形态结构产生影响, Rawski 等 (2016) 研究发现, 枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*)、双歧杆菌 (*Bifidobacterium*) 和乳酸杆菌 (*Lactobacillus*) 等益生菌能够增加中华鳖十二指肠的绒毛高度与黏膜厚度, 并且对肠道微生物群有积极影响。关于爬行动物消化道的形态学研究已有较多报道, 不同种属之间存在明显差异 (Troyer 1984, Hamdi et al. 2014)。在对中华鳖的相关研究中, 肠道功能特征研究的缺乏限制了对其营养物质吸收和利用的理解 (Zhang et al. 2018), 并且关

于肠道的划分目前尚无统一结论（苏泽红等 2004，马洪博 2017），原因可能是不同动物消化道本身差异性较大，肠道结构前后形态难以区分，不同学者观点存在差别，分段方法也不相同。苏泽红等（2004）对中华鳖消化道各段组织结构研究发现，其胃部无明显的贲门、胃底和幽门之分，小肠很难区分出十二指肠、空肠和回肠，消化道的基本形态构造，各种细胞的分布与其他水生动物也存在一定差异，并与哺乳动物和鸟类有较大的不同。其他关于爬行动物肠道内分泌细胞分布与形态的研究大多基于哺乳动物的肠道分段特征进行（黄徐根等 2005），分段过于简单，且仅基于基本的组织结构、盘曲折点和功能差别等予以划分，无法完全准确区分肠道各个分段的特征及其对应功能。综上所述，以中华鳖为代表的两栖爬行动物肠道分段特征还有待进一步研究。

因此，本研究对中华鳖消化道各段的组织结构进行了系统的观察和形态特征分析，有助于深入了解其肠道每个部分在营养物质消化吸收和代谢中的具体作用。探讨中华鳖肠道生理机制，也可以为中华鳖消化道疾病的诊断和治疗提供参考。

## 1 材料与方法

正常健康成年雌性中华鳖 5 只，初始体重（ $500 \pm 50$ ）g，购自绍兴大畈水产专业合作社。

### 1.1 样品采集

动物相关实验按照《浙江万里学院试验动物使用规章与动物福利准则》进行，并已获浙江万里学院实验动物管理委员会批准（批准文号 20250409001）。将中华鳖口腔张开，用细滴管向其舌根的喉头开口处滴乙醚进行麻醉后，断头取血，沿其腹甲、背甲结合的骨缝切开，掀起背甲，剥离肌肉和浆膜，暴露出内脏团，并剥离出肠道，用 0.65% 的 NaCl 洗去血污和肠道内容物后，用 4% 多聚甲醛固定后进行苏木素-伊红染色（hematoxylin-eosin stain, H.E）和阿利新蓝-过碘酸雪夫染色（Alcian blue-

periodic acid-Schiff stain, AB-PAS）分析。

### 1.2 肠道初步分段

将中华鳖整段肠道按 1 cm 间隔等分成若干段，对每个分割后的肠段样本，依次开展组织切片制备、H.E 染色等实验操作。借助显微镜（DM4000B，德国 Leica 公司）观察各肠段间的形态结构差异，以结构显著差异的分异点界定不同肠段的分界线，结构无显著差异的肠段，统一划归至同一肠道部位，以此初步构建中华鳖肠道分段的标准化体系。

### 1.3 H.E 染色

使用 H.E 染色试剂盒（G1120，北京索莱宝科技有限公司），参考刘莉如等（2013）的方法进行 H.E 染色。切片经过脱蜡，减醇再水合，之后用 Cole 苏木素染色 35 s，然后蒸馏水洗 4 min 后用伊红溶液染色 12 s，最后脱水密封。

### 1.4 AB-PAS 染色

使用生工生物工程（上海）股份有限公司的 AB-PAS 染色试剂盒（7588-23-1）参考 Jin 等（2013）的方法进行 AB-PAS 染色。切片经过脱蜡，减醇再水合，遮光下使用阿利新蓝试剂染色 10 min，蒸馏水冲洗 30 s 后高碘酸染色 10 min，蒸馏水冲洗 2 min 后用 Schiff 试剂染色 4 min，自来水冲洗 5 min 后脱水密封。根据此染色结果，可将杯状细胞分为四个类型：I 型杯状细胞（红色，PAS 阳性，AB 阴性）、II 型杯状细胞（蓝色，AB 阳性，PAS 阴性）、III 型杯状细胞（紫红色，PAS 阳性强于 AB 阳性）和 IV 型杯状细胞（蓝紫色，AB 阳性强于 PAS 阳性）（Jin et al. 2013）。

### 1.5 数据处理与统计分析

将不同染色处理的肠道切片通过正置显微镜（DM4000B，德国 Leica 公司）在不同倍数下进行观察，并在切片上随机选取 10 个区域进行图像采集。基于 H.E 染色切片，通过 Image J 测量肠直径、肠肌厚度、绒毛高度和隐窝深度，计算并统计绒毛高度/隐窝深度（V/C）比值（王子旭等 2003）。基于 AB-PAS 染色切片，通过

Image J 统计每百个杯状细胞中 4 种类型杯状细胞数量和占比 (Jin et al. 2013)。

肠道量化分析数据结果以平均值  $\pm$  标准误 ( $\text{mean} \pm \text{SE}$ ) 的形式表示, 首先通过 Levene's 法分别检验数据是否符合正态分布以及方差是否齐性, 之后再使用 IBM SPSS Statistics Version 22.0 软件进行单因素方差分析, 若存在显著差异, 则采用 Duncan 分析进行多重检验比较, 当  $P < 0.05$  时定义为差异具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 中华鳖肠道及附属器官的解剖结构

中华鳖肠道自前端向后端延伸过程中, 与周边多个器官紧密毗邻, 不同肠段所毗邻的器官存在明显差异 (图 1a, b)。自肠道起始端至末端, 对中华鳖肠道进行完整剥离, 20 个肠段划分见图 1c。完成肠道剥离后, 获取的肠道样本开展切片制作与染色, 深入探究肠道的微观结构特征。

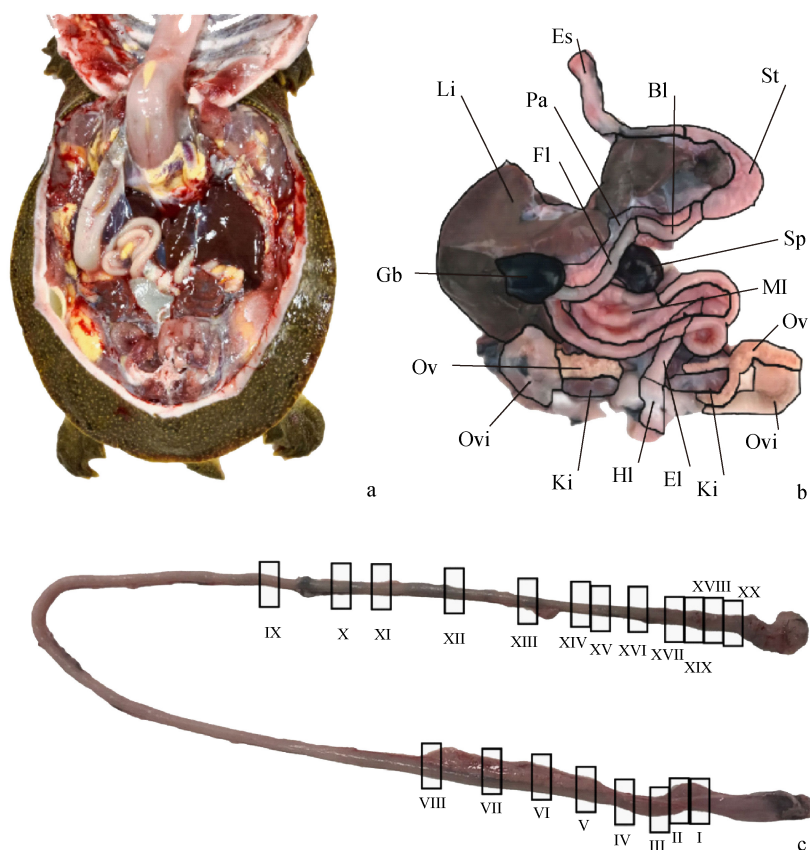


图 1 中华鳖肠道及附属器官解剖示意

Fig. 1 Anatomical diagram of the intestine and accessory organs of *Pelodiscus sinensis*

a. 解剖图; b. 肠道及其附属器官; c. 肠道分段示意图: 每个黑色方框后的肠段表示与框内形态结构一致, 不同的黑色方框段具有不同形态结构。BL. 肠始段; EI. 肠末段; Es. 食管; Fl. 肠前段; Gb. 胆囊; HI. 肠后段; Ki. 肾; Li. 肝; MI. 肠中段; Ov. 卵巢; Ovi. 输卵管; Pa. 胰; Sp. 脾; St. 胃

a. Anatomical drawing; b. Intestine and its accessory organs; c. Schematic diagram of intestinal segmentation: the intestinal segment behind each black box represents the same morphological structure as the one inside the box, and different black boxes represent different morphological structures. BL. Initial segment; EI. Distal segment; Es. Esophagus; Fl. Anterior segment; Gb. Gallbladder; HI. Posterior segment; Ki. Kidney; Li. Liver; MI. Middle segment; Ov. Ovary; Ovi. Oviduct; Pa. Pancreas; Sp. Spleen; St. Stomach



2.2 中华鳖肠道组织形态

通过对中华鳖全肠道的切片染色，将形态结构没有显著差异的肠段分为一类，有显著差异的作为不同分段的分界线，每个相同的分类里根据形态指标统计结果分为 4 段，最终将中华鳖肠道从前至后分为 I ~ XX 20 个肠段（图 1c），不同肠道分段 H.E 染色分析结果见图 2。中华鳖 I ~ IV 肠段的肠管直径较长，肠肌（肌层）较厚，且有多向管腔内部凸起的纵行皱襞（图 2a ~ d）。从 I ~ IV 肠段到 V ~ VIII 肠段，

肠管直径变短，肠肌变薄，多皱襞逐渐变为单皱襞，并出现指状肠绒毛（图 2e ~ h）；至 IX ~ XII 肠段肠管直径进一步变短，肠肌进一步变薄，且单皱襞转变为多皱襞，肠绒毛消失（图 2i ~ l）。但在 XIII ~ XVI 肠段，肠直径和肠肌厚度未发生变化，而肠道由多皱襞转变为单一大皱襞，肠绒毛重新出现（图 2m ~ p）。在直肠中，肠直径和肠肌略微变厚，且表现为多皱襞，肠绒毛消失。从 I ~ IV 肠段至 IX ~ XII 肠段，皱襞高度有逐渐降低的趋势。根据以上不

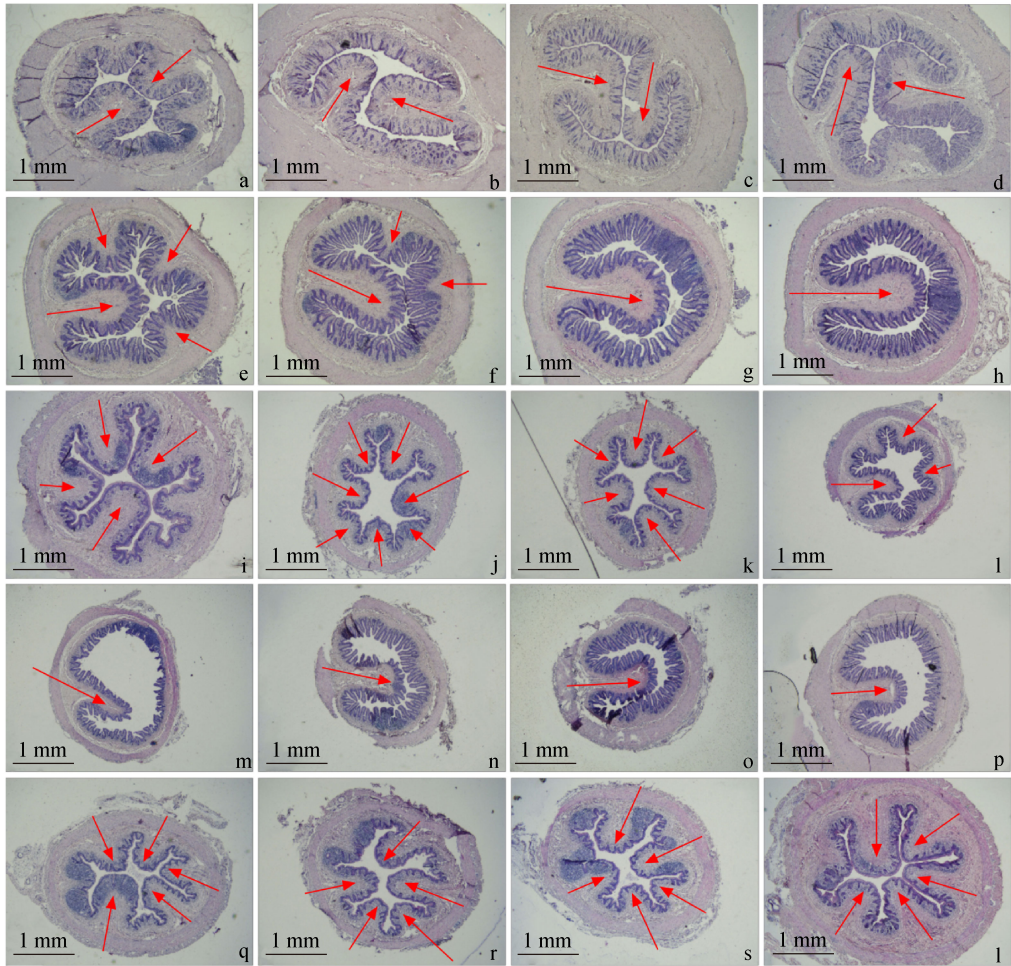


图 2 中华鳖肠道形态特征

Fig. 2 Morphological characteristics of the intestine of *Pelodiscus sinensis*

a ~ d. I ~ IV 肠始段；e ~ h. V ~ VIII 肠前段；f ~ l. IX ~ XII 肠中段；m ~ p. XIII ~ XVI 肠后段；q ~ t. XVII ~ XX 肠末段。红箭头指示皱襞，长度表示皱襞高度。  
a - d. I - IV, initial of small intestine; e - h. V - VIII, anterior of small intestine; f - l. IX - XII, middle of small intestine; m - p. XIII - XVI, posterior of small intestine; q - t. XVII - XX, finale of small intestine. Red arrows indicate folds, with the length representing the fold height.

同肠段样本的肠道结构差异,初步将中华鳖肠段分为肠始段(I~IV)、肠前段(V~VIII)、肠中段(IX~XII)、肠后段(XIII~XVI)和肠末段(XVII~XX)。

中华鳖不同肠道分段的肠道结构差异统计结果见图3。从肠道起始部位至末端,肠道直径逐渐变短,且肠始段的II~IV直径显著高于肠前段(V~VIII),而肠前段(V~VIII)直径显著高于肠中段(X~XII) ( $F_{19,74} = 74.83$ ,  $P < 0.0001$ );多重比较结果显示,V与IX ( $P = 0.8197$ )、VII与IX ( $P = 0.9997$ )、VIII与IX ( $P = 0.1724$ )之间的肠直径无显著差异,V与XI、VI与XII、VII与XII等其余肠段之间的肠直径均有显著差异 ( $P < 0.0001$ ),而肠中段的X~XII和肠后段(XIII~XVI)直径不存在显著性差异 ( $P > 0.05$ );多重比较分析结果显示,除IX与XIII~XVI之间的肠直径存在显著差异外 ( $P < 0.0001$ ),X与XIV ( $P = 0.6258$ )、XI与XVI ( $P = 0.9872$ )等其余肠段的肠直径之间均无显著差异。同时,中华鳖肠肌层厚度逐步变薄,肠前段的VI~VIII肌层厚度显著高于肠中段的X~XII ( $F_{19,17} = 276.50$ ,  $P < 0.0001$ );多重比较结果表明,V与X ( $P = 0.0733$ )、VI与IX ( $P = 0.9997$ )、VII与IX ( $P = 0.9990$ )之间的肌层厚度无显著差异,VI与X ( $P = 0.0171$ )、VII与X ( $P = 0.0129$ )、VIII与XI ( $P < 0.0001$ )等其余肠段之间的肌层厚度均有显著差异。而肠后段的XIII、XIV、XVI和肠末段(XVII~XX)间肌层厚度无显著性差异 ( $P > 0.9999$ );多重比较分析结果显示,除XV与XVIII ( $P = 0.0156$ )、XV与XX ( $P = 0.0001$ )之间的肌层厚度存在显著差异外,XIII与XVIII ( $P = 0.2263$ )、XIV与XIX ( $P = 0.2126$ )、XVI与XX ( $P = 0.7624$ )等其余肠段之间的肌层厚度无显著差异。从皱襞数量来看,肠前段纵行皱襞数量少于肠中段,肠中段皱襞数量显著高于肠后段,肠后段皱襞数量显著低于肠末段 ( $F_{19,38} = 679.40$ ,  $P < 0.0001$ ),多重比较结果显示,除V与XII ( $P > 0.9999$ )、

XIV与XIX ( $P = 0.6607$ )之间的皱襞数量无显著差异外,V与X ( $P < 0.0001$ )、X与XVIII ( $P = 0.0152$ )、XV与XIX ( $P = 0.0478$ )等其余肠段之间的皱襞数量均有显著差异。从肠绒毛分布来看,肠始段、肠中段和肠末段不存在肠绒毛,且肠前段的绒毛高度和隐窝深度均显著大于肠后段 ( $F_{7,31} = 85.56$ ,  $P < 0.0001$ ),多重比较结果显示,V与XIII、VI与XIII、VII与XV等肠段之间的绒毛高度均存在显著差异 ( $P < 0.0001$ );隐窝深度除VII与XIII ( $P = 0.0643$ )之间不存在显著差异外,V与XIV ( $P = 0.0027$ )、VI与XIII ( $P < 0.0001$ )、VII与XV ( $P = 0.0199$ )等其余肠段均存在显著差异。

### 2.3 中华鳖肠道杯状细胞分布

中华鳖不同肠道分段AB-PAS染色结果见图4,各肠段未观察到蓝紫色IV型杯状细胞,仅有I、II和III三种类型杯状细胞。中华鳖肠始段主要有I型和III型杯状细胞,以I型细胞为主;肠前段、肠中段和肠后段主要存在I型杯状细胞和II型杯状细胞,II型细胞为主(图4,表1)。肠始段的I型杯状细胞数量明显高于其他肠段 ( $F_{15,16} = 191.30$ ,  $P < 0.0001$ ),多重比较结果显示,I与V、II与VI、III与VII等肠段之间的杯状细胞数量均有显著差异 ( $P < 0.0001$ )。肠前段与肠中段的I型杯状细胞数量差异不明显 ( $P > 0.9999$ ),至肠末段部位杯状细胞完全消失,多重比较结果显示,V与IX ( $P = 0.9099$ )、VI与X ( $P = 0.9998$ )、VII与XI ( $P = 0.6787$ )等各个肠段之间的杯状细胞数量均没有显著差异。肠前段、中段和后段间I型 ( $P > 0.9999$ )和II型 ( $F_{11,12} = 4.31$ ,  $P > 0.9999$ )杯状细胞占比无显著性差异,多重比较结果表明,IX与XIII ( $P = 0.9998$ )、XI与XVI ( $P = 0.9958$ )、XII与XIV ( $P = 0.9997$ )等各个肠段之间的杯状细胞数量均无显著性差异。

## 3 讨论

肠道是动物消化与吸收的重要场所,不同种类的动物消化道各段所表现的功能存在差异

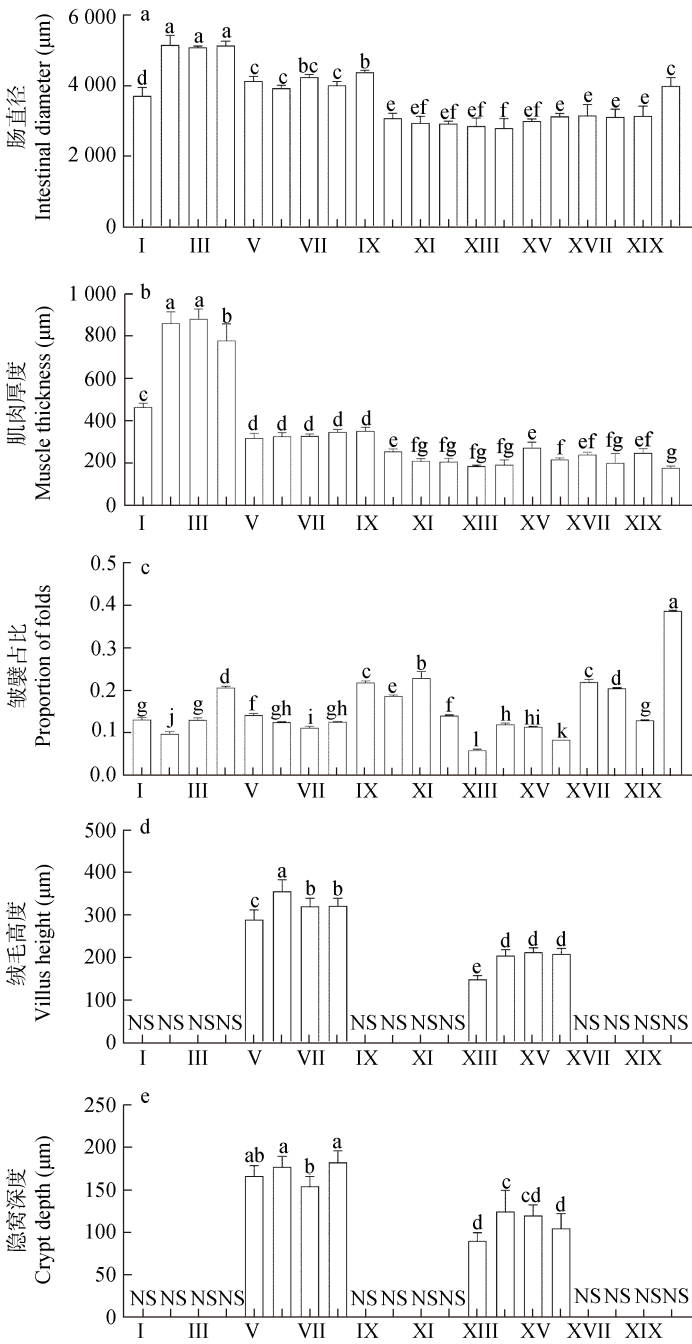


图 3 中华鳖不同分段肠道特征统计结果

Fig. 3 Statistical results of intestinal characteristics in different segments of *Pelodiscus sinensis*

I ~ IV. 肠始段; V ~ VIII. 肠前段; IX ~ XII. 肠中段; XIII ~ XVI. 肠后段; XVII ~ XX. 肠末段。不同字母表示多重比较分析中差异显著 ( $P < 0.05$ ,  $n = 5$ ), NS 表示没有显著性差异。

I - IV. initial of small intestine; V - VIII. anterior of small intestine; IX - XII. middle of small intestine; XIII - XVI. posterior of small intestine; XVII - XX. finale of small intestine. Different letters indicate significant differences in multiple comparison analysis ( $P < 0.05$ ,  $n = 5$ ), NS indicates no significant difference.



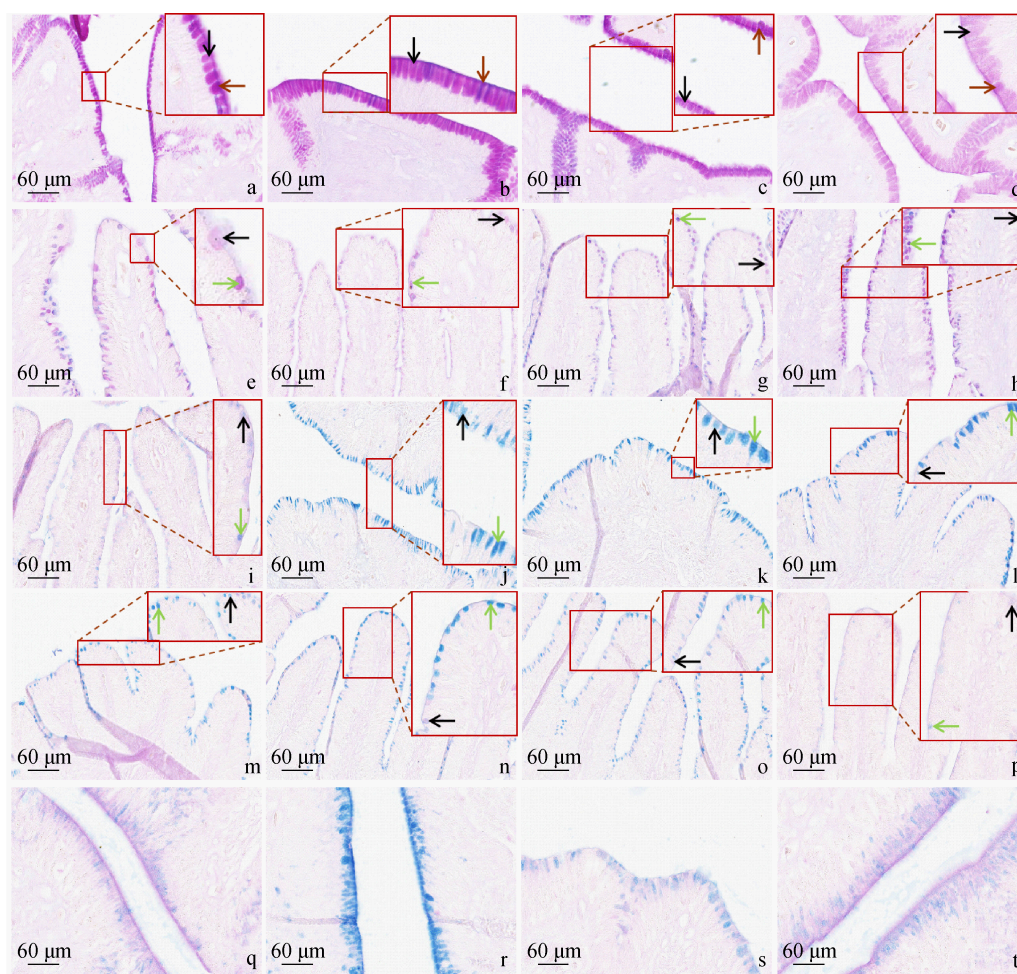


图 4 中华鳖肠道杯状细胞分布情况

Fig. 4 Distribution of goblet cells in the intestine of *Pelodiscus sinensis*

a ~ d. I ~ IV 肠始段; e ~ h. V ~ VIII 肠前段; f ~ l. IX ~ XII 肠中段; m ~ p. XIII ~ XVI 肠后段; q ~ t. XVII ~ XX 肠末段。黑箭头: I 型杯状细胞显红色, PAS 阳性, AB 阴性; 绿箭头: II 型杯状细胞显蓝色, AB 阳性, PAS 阴性; 红箭头: III 型杯状细胞显紫红色, PAS 阳性强于 AB 阳性。肠末段不存在杯状细胞。

a - d. I - IV, initial of small intestine; e - h. V - VIII, anterior of small intestine; f - l. IX - XII, middle of small intestine; m - p. XIII - XVI, posterior of small intestine; q - t. XVII - XX, finale of small intestine. Black arrow. Type I goblet cells appear red, PAS positive, and AB negative; Green arrow. Type II goblet cells appear blue, AB positive, and PAS negative; Red arrow. Type III goblet cells appear purple red, with PAS positivity stronger than AB positivity. Finale of small intestine does not contain goblet cells.

(余冰等 2010)。传统的动物肠道分段把小肠分为十二指肠、空肠和回肠 3 段。陈磊 (2007) 根据空肠、回肠、盲肠、结肠及直肠的肠道分段标准对狼 (*Canis lupus*) 肠道的形态和绒毛形态进行研究, 发现空肠表面绒毛密集而扁平, 回肠表面绒毛短而疏, 并且颜色较淡, 黏膜较

为光滑, 盲肠呈螺旋状, 而结肠与直肠较短。爬行或两栖动物分段情况也大致相同。甘文强等 (2011) 在对绿海龟 (*Chelonia mydas*) 消化道的研究, 将其小肠根据黏膜皱襞结构、肠道绒毛和杯状细胞数量分为十二指肠、空肠和回肠, 大肠并未进行分段, 但通过观察也可看出

表 1 中华鳖肠道 4 种类型杯状细胞占比

Table 1 Proportions of various types of goblet cells in the intestine of *Pelodiscus sinensis*

| 肠道分段<br>Intestinal segments | 杯状细胞占比 Proportion of goblet cells (%) |                                  |                                    |                                  |
|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
|                             | I 型杯状细胞<br>Type I goblet cells        | II 型杯状细胞<br>Type II goblet cells | III 型杯状细胞<br>Type III goblet cells | IV 型杯状细胞<br>Type IV goblet cells |
| I                           | 78.38 ± 3.372 <sup>Ab</sup>           | 0                                | 21.62 ± 3.372 <sup>Ba</sup>        | 0                                |
| II                          | 81.69 ± 1.301 <sup>Aab</sup>          | 0                                | 18.31 ± 1.301 <sup>Ba</sup>        | 0                                |
| III                         | 84.79 ± 0.817 <sup>Aa</sup>           | 0                                | 15.21 ± 0.817 <sup>Ba</sup>        | 0                                |
| IV                          | 78.24 ± 4.583 <sup>Ab</sup>           | 0                                | 21.76 ± 4.583 <sup>Ba</sup>        | 0                                |
| V                           | 19.52 ± 0.673 <sup>Bde</sup>          | 80.48 ± 0.673 <sup>Aab</sup>     | 0                                  | 0                                |
| VI                          | 19.29 ± 0.088 <sup>Bde</sup>          | 80.71 ± 0.088 <sup>Aab</sup>     | 0                                  | 0                                |
| VII                         | 16.32 ± 1.872 <sup>Bc</sup>           | 83.68 ± 1.872 <sup>Aa</sup>      | 0                                  | 0                                |
| VIII                        | 31.95 ± 0.735 <sup>Bc</sup>           | 68.05 ± 0.735 <sup>Ac</sup>      | 0                                  | 0                                |
| IX                          | 24.23 ± 7.329 <sup>Bd</sup>           | 75.77 ± 7.329 <sup>Ab</sup>      | 0                                  | 0                                |
| X                           | 21.75 ± 1.497 <sup>Bde</sup>          | 78.25 ± 1.497 <sup>Aab</sup>     | 0                                  | 0                                |
| XI                          | 22.35 ± 2.061 <sup>Bde</sup>          | 77.65 ± 2.061 <sup>Aab</sup>     | 0                                  | 0                                |
| XII                         | 23.82 ± 0.802 <sup>Bd</sup>           | 76.18 ± 0.802 <sup>Ab</sup>      | 0                                  | 0                                |
| XIII                        | 21.83 ± 0.561 <sup>Bde</sup>          | 78.17 ± 0.561 <sup>Aab</sup>     | 0                                  | 0                                |
| XIV                         | 21.32 ± 1.868 <sup>Bde</sup>          | 78.68 ± 1.868 <sup>Aab</sup>     | 0                                  | 0                                |
| XV                          | 19.96 ± 1.545 <sup>Bde</sup>          | 80.04 ± 1.545 <sup>Aab</sup>     | 0                                  | 0                                |
| XVI                         | 19.14 ± 3.504 <sup>Bde</sup>          | 80.86 ± 4.246 <sup>Aab</sup>     | 0                                  | 0                                |
| XVII                        | 0                                     | 0                                | 0                                  | 0                                |
| XVIII                       | 0                                     | 0                                | 0                                  | 0                                |
| XIX                         | 0                                     | 0                                | 0                                  | 0                                |
| XX                          | 0                                     | 0                                | 0                                  | 0                                |

不同大写字母表示多重比较分析同一肠段（同一行）中不同类型杯状细胞占比差异显著（ $P < 0.05$ ），不同小写字母表示多重比较分析同一类型（同一列）杯状细胞在不同分段肠道间占比差异显著（ $P < 0.05$ ）。

Different uppercase letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) in the proportion of different goblet cell types within the same intestinal segment (same row) by multiple comparison analysis, while different lowercase letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) in the proportion of the same goblet cell type (same column) across different intestinal segments by multiple comparison analysis.

大肠的各部分结构相较小肠更为致密。通过对比不同学者的研究发现，哺乳动物的肠道分段与爬行动物的肠道分段大致相同，但在肠道结构功能方面有较大差异，例如，由于食性的关系，哺乳动物肠道较爬行动物更长，能够充分消化食物，并且哺乳动物肠道结构更加复杂，能够适应多样化的食物类型，而爬行动物肠道结构较为简单，能够加快新陈代谢速率。而对于其他动物，肠道的分段情况存在较大差异，杨红等（2006）对低等白蚁（白蚁中较原始的类群）的研究，根据肠道各段的功能将其分为

前肠、中肠和后肠，前肠与中肠起摄食、贮藏、磨碎和部分消化等作用，后肠是木质纤维素的消化区域。此研究基于消化类型的不同对低等白蚁肠道结构进行分类，与本研究对象的肠道分类依据不一致。许多学者在描述中华鳖消化系统的组织结构时，未将小肠分成不同段（王文等 1996，苏泽红等 2004）或简单把肠道分为十二指肠、回肠、结肠和直肠（赵万鹏等 1994，肖明松等 2006）。因此，在中华鳖肠道研究中，缺乏明确的分段标准。本研究旨在建立中华鳖肠道分段标准方法，可以有效地了解

不同肠段的功能结构差异,为不同动物的比较组织学和中华鳖养殖发展提供理论基础。赵万鹏等(1994)采用一雄一雌中华鳖进行肠道分段研究,但在结论中并未表明雌、雄中华鳖肠道形态结构有差异。龟鳖类的其他动物,例如对巴西彩龟(*Trachemys scripta elegans*)的研究中虽然也采用了雌雄个体进行实验,但在结论中也并未说明雌雄个体之间消化道形态有变化(赵宏霞等 2010)。故本实验只采用雌性中华鳖。

本研究以肠道H.E和AB-PAS染色切片为基础,将中华鳖肠道从前至后分成20段以研究肠道组织形态和杯状细胞特征。研究发现,中华鳖不同肠段的皱襞数量和分布特征差异比较明显。肠道起始部位纵行皱襞数量多,肠绒毛少,与赵万鹏等(1994)报道的胃部有纵行嵴突和肖明松等(2006)报道的胃部有数条纵行皱襞的现象相符,这可能与肠始段为连接于胃部的过渡区域有关。王立霞等(2021)也报道指出,乌龟(*Chincmys reevesii*)、巴西彩龟、中华花龟(*Mauremys sinensis*)和北美拟鳄龟(*Chelydra serpentina*) 4种龟的胃部均存在纵行皱襞,贲门部皱襞细且多,胃黏膜有纵行皱襞,幽门部皱襞趋于平缓。说明皱襞的变化可以作为中华鳖消化道胃和肠的分界特征。此外,本研究观察到肠中段嵴突多而细,而肠后端具有单一、发达的嵴突,与赵万鹏等(1994)通过H.E染色发现中华鳖十二指肠上段有2条大皱襞和3条小皱襞、下段仅有一条大皱襞的现象相符。

肠道绒毛的主要功能是增加小肠表面积,帮助吸收和消化食物,其数量和高度是评价肠道黏膜屏障功能或反映肠道健康的主要指标之一(王坤等 2021)。本研究中,中华鳖肠前段和肠后段的绒毛高度及隐窝深度显著增加可以作为肠道分段的重要特征。因此,将中华鳖肠道分为肠始段、肠前段、肠中段、肠后段和肠末端更能反映各肠段的结构特征和功能特性,并且肠前段可能是中华鳖消化和吸收营养物质的主要部位,肠中段和肠后段可能是吸收水分

和形成排泄物的主要部位,肠道隐窝与肠绒毛共同构成了肠道的复杂结构,极大地增加了肠道的表面积,为水分的吸收提供了广阔的面积,有利于提高水分吸收的效率。隐窝上皮细胞具有丰富的微绒毛,进一步增加了细胞的表面积,上面分布着大量与水转运相关的蛋白通道和转运体(Chang et al. 2014);另外,隐窝中的杯状细胞能分泌黏液,起到润滑肠道,包裹食物残渣,以及将各种代谢废物与未消化的食物成分相结合等作用,形成初步排泄物(Mengfei et al. 2014)。

肠道杯状细胞分泌黏蛋白和消化酶,起到润滑和帮助消化的作用,其数量的多少间接反映动物的消化能力,且不同类型杯状细胞的结构功能有明显差异(勾效伟等 2008)。薛玉环等(2018)通过对奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. areus*)肠道切片进行AB-PAS染色,将肠道中的杯状细胞大致分为中性黏液杯状细胞、酸性黏液杯状细胞及混合型黏液杯状细胞。勾效伟等(2008)在对平鲷(*Rhabdosargus sarba*)的研究中提到,最初杯状细胞被称为黏液细胞,II型细胞能够分泌酸性黏液物质帮助润滑食物助于吸收,而I型细胞能够分泌中性黏多糖,可以在消化道表面形成一种黏液膜,防止被胃酸破坏。而邓振旭等(2007)通过对中华鳖和巴西彩龟的肠道各段进行AB-PAS染色发现,III型黏液细胞含有少量的酸性黏多糖和较多的中性黏多糖,IV型黏液细胞则有较多的酸性黏多糖,中性黏多糖较少,III型和IV型黏液细胞的功能应介于I型与III型之间。中华鳖与胃相连的肠起始段存在I型和III型杯状细胞,且I型居多,而肠前段、中段和后段则存在I型和II型杯状细胞,且II型居多,各肠段均无IV型杯状细胞,并且肠末端没有这4种类型杯状细胞的分布,即随着位置接近肠末端,杯状细胞的数量逐渐减少,这与邓振旭等(2007)对巴西彩龟和中华鳖肠道形态结构的观察结果不一致。在后者的研究中,中华鳖的小肠黏液细胞主要为III型和IV型,而大肠黏

液细胞均为杯状细胞，原因可能与肠道取样的位置有关。关于肠道内杯状细胞的分布，不同研究结果不尽相同，苏泽红等（2004）发现中华鳖的大肠黏膜上皮内有较多的杯状细胞，而苏泽红等（2006）则发现大肠上皮内未见专门的杯状细胞，具体的差异可能与取样的具体定位有关。

通过对中华鳖肠道的形态结构进行研究，初步明确中华鳖肠道分段标准的方法。在之后的研究中可进一步分析中华鳖肠道各分段中肠道屏障功能蛋白[例如紧密连接蛋白 1（ZO-1）和黏蛋白（MUC）等]的分布和相关功能，进而彻底明确中华鳖肠道各分段的功能特征。

## 参 考 文 献

- Adnagulov E, Maslova I. 2003. On the distribution of *Pelodiscus sinensis* (Wiegmann, 1834) (Testudines: Trionychidae) in the Russian Far East. *Herpetologia Petropolitana*, 10(1): 117–126.
- Celi P, Cowieson A J, Fru-Nji F, et al. 2017. Gastrointestinal functionality in animal nutrition and health: New opportunities for sustainable animal production. *Animal Feed Science and Technology*, 234: 88–100.
- Chang E B, Leung P S. 2014. Intestinal water and electrolyte transport // Leung P. *The Gastrointestinal System*. Dordrecht: Springer Netherlands: 107–134.
- Ding X, Jin F, Xu J W, et al. 2022. The impact of aquaculture system on the microbiome and gut metabolome of juvenile Chinese softshell turtle (*Pelodiscus sinensis*). *iMeta*, 1(2): e17.
- Hamdi H, El-Ghareeb A, Zaher M, et al. 2014. Anatomical, histological and histochemical adaptations of the reptilian alimentary canal to their food habits: II-Chamaeleon africanus. *World Applied Sciences Journal*, 30(10): 1306–1316.
- Jin C Y, Peng K M, Liu T T, et al. 2013. Distribution law of goblet cells in the intestinal tracts of *Struthio camelus*. *Agricultural Science & Technology*, 14(1): 103–106.
- Kuang M, Liu Y, Xu D, et al. 2023. Exploring the mechanism of interaction between Muc2 and intestinal flora on functional constipation. *International Journal of Frontiers in Medicine*, 5(12): 7–12.
- Rawski M, Kierończyk B, Długosz J, et al. 2016. Dietary probiotics affect gastrointestinal microbiota, histological structure and shell mineralization in turtles. *PLoS One*, 11(2): e0147859.
- Troyer K. 1984. Structure and function of the digestive tract of a herbivorous lizard *Iguana iguana*. *Physiological Zoology*, 57(1): 1–8.
- Wu B L, Huang L, Chen J, et al. 2021. Gut microbiota of homologous Chinese soft-shell turtles (*Pelodiscus sinensis*) in different habitats. *BMC Microbiology*, 21(1): 142.
- Zhang Z B, Song R X, Xing X, et al. 2018. Division of Chinese soft-shelled turtle intestine with molecular markers is slightly different from the morphological and histological observation. *Integrative Zoology*, 13(1): 112–121.
- 陈磊. 2007. 狼与家犬消化道形态学及其消化道内分泌细胞免疫组织化学研究. 曲阜: 曲阜师范大学硕士学位论文.
- 邓振旭, 楚德昌. 2007. 巴西彩龟与中华鳖消化道粘液细胞组织化学染色. *四川动物*, 26(2): 267–269, 235.
- 甘文强, 张晓雁, 乔健, 等. 2011. 绿海龟消化道组织学观察. *中国兽医杂志*, 47(11): 23–25, 97.
- 勾效伟, 区又君, 廖锐. 2008. 平鲷消化系统形态学、组织学及组织化学研究. *南方水产*, 4(5): 28–36.
- 黄徐根, 吴孝兵, 张志强, 等. 2005. 乌龟胃肠胰系统内分泌细胞的免疫组织化学研究. *水生生物学报*, 29(3): 291–298.
- 刘莉如, 杨开伦, 滑静, 等. 2013. 抗菌肽对海兰褐仔公鸡 (*Hyline variety brown*) 小肠黏膜形态结构及免疫活性细胞数量的影响. *动物营养学报*, 25(1): 190–197.
- 马洪博. 2017. 泥鳅消化道组织结构特征及消化与肠气呼吸功能的协调性研究. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文.
- 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2024. 2024 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 45–46.
- 苏泽红, 陈秋生. 2004. 鳖消化道组织结构观察. *中国兽医学报*, 24(1): 49–52.
- 苏泽红, 陈晓武, 陈秋生. 2006. 中华鳖肠道黏膜上皮细胞的超微结构. *中国兽医学报*, 26(1): 82–85.
- 王坤, 肖羽芯, 李梦莹, 等. 2021. 重金属人体生物有效性、吸收及毒性研究中的肠道细胞模型. *生态毒理学报*, 16(4): 57–71.
- 王立霞, 徐笑, 王蕊, 等. 2021. 四种龟消化道黏膜表面形态观察. *野生动物学报*, 42(1): 249–257.
- 王文, 杜开和. 1996. 中华鳖消化系统的组织学研究. *南京师大学报: 自然科学版*, 19(2): 52–56.



- 王子旭, 余锐萍, 陈越, 等. 2003. 日粮锌硒水平对肉鸡小肠黏膜结构的影响. 中国兽医科技, 33(7): 18–21.
- 肖明松, 陈庆榆, 鲍方印, 等. 2006. 中华鳖消化系统组织学的研究. 中国农学通报, 22(1): 384–386.
- 徐春生, 姚一琳, 杨平, 等. 2011. 中华鳖肾脏 ACE2 基因克隆及其遗传进化分析. 畜牧与兽医, 43(4): 22–25.
- 薛玉环, 唐鸣慧, 胡巍堃, 等. 2018. 奥尼罗非鱼肠道杯状细胞分布及分型观察. 动物学杂志, 53(3): 456–460.
- 杨红, 彭建新, 刘凯于, 等. 2006. 低等白蚁肠道共生微生物的多样性及其功能. 微生物学报, 46(3): 500–503.
- 余冰, 张克英, 郑萍, 等. 2010. 猪营养与肠道健康. 中国畜牧杂志, 46(15): 73–76.
- 张家荣, 高云涛, 高云红, 等. 2024. 大型围栏适养海水鱼类肠道组织学比较. 水产学报, 48(8): 102–113.
- 赵宏霞, 黄斌, 赵万鹏. 2010. 巴西彩龟消化道组织学的初步观察. 四川动物, 29(3): 437–439.
- 赵万鹏, 李振锋, 鞠长增, 等. 1994. 中华鳖消化道的组织学研究. 信阳师范学院学报: 自然科学版, 7(1): 68–70.

## 江苏盐城市发现文须雀

### Bearded Reedling *Panurus biarmicus* Found in Yancheng, Jiangsu, China

2011 至 2021 年, 在江苏省盐城市多次观察和拍摄到 1 种雀形目鸟类。经查阅《中国鸟类野外手册》(约翰·马敬能 2022)、《中国鸟类观察手册》(刘阳等 2021) 和《东亚鸟类野外手册》(马克·布拉齐尔 2020), 并与所拍摄记录到鸟类(图 1)的形态特征进行比对, 鉴定为文须雀(*Panurus biarmicus*)。参考《中国鸟类分类与分布名录》(第 4 版, 郑光美 2023), 该物种为江苏鸟类分布新记录种。

2011 年 11 月, 首次在江苏省盐城市亭湖区盐渎湿地公园(33°21'48"~33°21'58" N, 120°9'18"~120°9'31" E)观察到 6 只文须雀。2015 年 4 月之前在该地点可持续观测到该物种。近年由于未开展持续性观测及 2016 年盐渎湿地公园工程项目启动导致芦苇丛生境消失等原因, 未在盐渎公园发现该物种。2019 年 10 月, 在盐城市滨海县黄河故道(33°58'46" N, 119°40'26" E)拍摄到该物种(图 1), 体长约为 15 cm, 喙为黄色, 头呈现灰色, 尾较长, 具有黑色锥形髯纹, 体羽棕色。飞行快速, 活泼好动, 常栖息于芦苇丛,

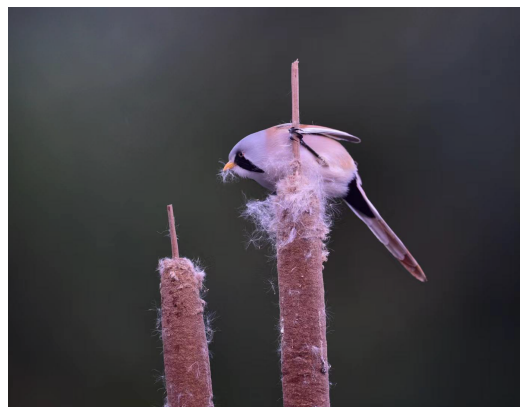


图 1 文须雀(2019 年 10 月王兆运摄于盐城滨海县黄河故道)

Fig. 1 *Panurus biarmicus* (Photo by WANG Zhao-Yun in Binhai County of Yancheng in October 2019)

(下转 796 页)

**基金项目** 江苏省海洋科技创新项目(JSZRHYKJ202301), 盐城市科技局重点研发计划(社会发展)(YCBE202307);

\* 通讯作者, E-mail: z8992939@126.com;

**第一作者介绍** 冉全, 男, 工程师; 研究方向: 生态学; E-mail: 853925812@qq.com。

收稿日期: 2022-11-26, 修回日期: 2023-10-09 DOI: 10.13859/j.cjz.202322293 CSTR: 32109.14.cjz.22293