

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20191225001

http://www.yykxjz.cn/

任永丽, 聂竹兰, 杨志军, 张升, 魏杰. 塔里木裂腹鱼消化系统形态学与组织学研究. 渔业科学进展, 2020, 41(6): 49-57
Ren YL, Nie ZL, Yang ZJ, Zhang S, Wei J. Morphology and histology studies of the digestive system of *Schizothorax biddulphi*.
Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(6): 49-57

塔里木裂腹鱼消化系统形态学与组织学研究*

任永丽^{1,2} 聂竹兰^{1,2①} 杨志军^{1,2} 张升^{1,2} 魏杰^{1,2}

(1. 塔里木大学动物科学学院 阿拉尔 843300;

2. 新疆建设兵团塔里木畜牧科技重点实验室 阿拉尔 843300)

摘要 利用传统石蜡切片、HE染色等方法对塔里木裂腹鱼(*Schizothorax biddulphi*)消化系统形态学和组织学特征进行研究。结果显示,塔里木裂腹鱼消化系统由消化管和消化腺组成,消化管包括口咽腔、食道和肠(前肠、中肠、后肠和直肠)。口咽腔内具有发达的咽齿。无胃,肠与食道紧接,前肠膨大。消化道由腔面向外依次为黏膜层、黏膜下层、肌层和浆膜层,但口咽腔只有黏膜层、黏膜下层和肌层,未发现有浆膜层。消化道4层中,黏膜层差异最大:口咽腔黏膜层为复层扁平上皮,其间分布有味蕾和大量黏液细胞;食道粗而短,黏膜层为复层扁平上皮,黏膜褶两侧分布大量黏液细胞,且固有膜血管丰富;肠道上皮细胞为单层柱状上皮,上皮间分布有杯状细胞,其数量由前向后逐渐增加,而黏膜褶高度逐渐降低。消化腺由肝脏和胰脏组成,肝脏的肝小叶不明显,但明显可见肝血窦及中央静脉分布,肝门管区不典型。胰脏仅在肠系膜中出现,而未在其他组织中发现,胰小叶间中央静脉明显,中央静脉中可见大量椭圆形有核的红细胞。本研究对塔里木裂腹鱼消化系统形态学和组织学特征与其食性的关系进行了探讨,旨在丰富塔里木裂腹鱼的生物学研究内容,可为其食性分析及饵料开发提供理论依据。

关键词 塔里木裂腹鱼; 消化系统; 形态学; 组织学

中图分类号 Q952 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2020)06-0049-09

裂腹鱼类属于硬骨鱼纲(Osteichthyes)、辐鳍亚纲(Actinopterygii)、鲤形目(Cypriniformes)、鲤科(Cyprinidae)、裂腹鱼亚科(Schizothoracinae),是仅生活在亚洲高原地区的特有经济鱼类。裂腹鱼亚科共有15个属约100个种和亚种,中国约有11属76个种和亚

种(郭焱,2012)。塔里木裂腹鱼(*Schizothorax biddulphi*)是仅分布在新疆塔里木河水系的土著鱼类,20世纪70年代以前,种群数量较大,占博斯腾湖渔获物组成的80%左右(郭焱等,2005)。由于受到性成熟晚、繁殖力低、生长缓慢以及对生活环境要求较高等自身因素制

* 国家自然科学基金(31560721; 31860729)、新疆生产建设兵团中青年科技创新领军人才计划项目(2018CB033)、华中农业大学塔里木大学科研合作联合基金项目(TDHNLH201702; 2662017PY118)和兵团塔里木畜牧科技重点实验室开放课题(HS201712Z)共同资助 [This work was supported by National Natural Science Foundation of China (31560721; 31860729), Scientific and Technological Innovation Commanding Troops Talented Person Project financially supported by Xinjiang Production and Construction Corps for Young and Middle-Aged (2018CB033), Research Cooperation Joint Fund Project by Huazhong Agricultural University and Tarim University (TDHNLH201702; 2662017PY118), and Open Research Fund from Key Laboratory of Animal Science and Technology of Xinjiang Production and Construction Corps (HS201712Z)].

任永丽, E-mail: renyongli2017@163.com

① 通讯作者: 聂竹兰, 教授, E-mail: niezhlan2004@163.com

收稿日期: 2019-12-25, 收修改稿日期: 2020-01-10

约,加之近年来生态环境破坏和人为干扰等原因,导致塔里木裂腹鱼栖息范围不断缩小、种群数量急剧下降。目前,仅在塔里木河水系的阿克苏河、渭干河、叶尔羌河、和田河等有一定数量的分布(郭焱, 2012; 郭焱等, 2005; 张人铭等, 2007; 马燕武等, 2009)。塔里木裂腹鱼于1998年被《中国濒危动物红皮书》(鱼类卷)收录(乐佩琦等, 1998)。2004年又被列入新疆维吾尔自治区重点保护水生野生动物名录[新政发(2004)67号], 成为塔里木河水系的濒危保护鱼类之一。

鱼类的消化道为食物消化吸收的主要场所,直接关系到鱼类的生长、发育和繁殖等重要生命过程(楼允东, 1996)。因摄取食物种类的不同,不同鱼类消化道的形态、组织结构和机能也会有显著差异。近年来,国内外有关鱼类消化系统组织学的研究报道较多,如刘亚秋等(2019)、曹潇等(2018)、杨元昊等(2017)、赵子明等(2016)、赵向炯等(2017)、Shan等(2016)和Bočina等(2017)分别对斑鳅(*Mystus guttatus*)、黑鲃(*Girella leonine*)、兰州鲇(*Silurus lanzhouensis*)、中华刺鲃(*Sinobdella sinensis bleeker*)、花鲈(*Lateolabrax japonicas*)、鲢鱼(*Miichthys miiuy*)和颌针鱼(*Belone belone*)等消化系统组织进行了研究,均表明,鱼类消化道的结构与功能相适应。因此,研究鱼类消化道的形态和组织结构特征可以进一步认识和探讨其摄食、消化和吸收机制(徐革锋等, 2009)。目前,有关塔里木裂腹鱼消化系统的研究在国内外均未见报道。本研究对塔里木裂腹鱼消化道的外部形态及组织结构进行观察,旨在阐明该鱼消化系统的基本特征,进一步丰富塔里木裂腹鱼的生物学研究内容,为其食性分析及饵料开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2018年7月采用拖网与刺网相结合的方法,于新疆维吾尔自治区若羌县车尔臣河共捕捞塔里木裂腹鱼16尾,全长为(269.0±36.8) mm,体质量为(110.0±48.3) g,暂养于实验室水族箱中,暂养期间饥饿以排空肠胃。

1.2 实验方法

塔里木裂腹鱼暂养36 h,待其消化道内食物及粪便排空后,随机选取10尾进行解剖,实验鱼解剖前均呈健康活泼的状态。打开体腔后,对消化道和消化腺的形态结构进行观察并拍照;依次取出口咽腔、食道、肠(肠的前、中、后分界根据粗细和盘曲程度来分,

直肠取自泄殖腔前)以及肝脏、胰脏等;常温固定于波恩氏液36 h后,保存于70%酒精中;按照常规组织学实验方法制作石蜡切片,切片厚度为4~7 μm, HE染色,中性树胶封片,最后,在莱卡显微镜明美拍照系统下观察并拍照。

1.3 数据处理

消化道组织学测定包括黏膜层褶皱高度、黏膜层褶皱宽度、黏膜下层厚、环肌层厚、纵肌层厚、浆膜层厚以及杯状细胞的相对密度。测定方法参照陈国华等(2010),使用Image J对图片进行处理,并采用Excel和SPSS 22软件进行数据统计与分析。

2 结果

2.1 消化系统的形态特点

塔里木裂腹鱼消化系统由消化道与消化腺组成。消化道包括口咽腔、食道、前肠、中肠、后肠和直肠;消化腺主要为肝脏和胰脏(图 1.1)。

塔里木裂腹鱼属下位口,呈马蹄形,唇光滑。口裂较宽。鳃耙较短且间距较大,能够起到聚集和吞咽食物的作用。口内不具颌齿、口腔齿和游离的舌头,但口咽腔内具咽齿,其齿式为 2.3.5/5.3.2,咽齿呈柱状,顶端较尖,且具钩(图 1.2)。口腔上壁有较平缓的纵褶。食道较短,位于口咽腔与肠之间,管壁由大量的横纹肌组成,具有较好的弹性。食道内表面有许多纵行排列的黏膜褶,当吞咽食物时可借助黏膜褶扩大或缩小食道的孔径。塔里木裂腹鱼无胃,肠与食道紧接,盘曲在腹腔内,肠道回折处较其他部位细,故将其肠道分为前肠、中肠、后肠和直肠4部分(图 1.3)。由食道后缘至肠道第1回折之间为前肠,第1回折至第2回折之间为中肠,中肠下行为后肠,相对前肠短而细,无盘曲,连接肛门与外界相通的部分为直肠。肠道通过发达的肠系膜与腹腔壁相连,肠系膜上有大量的脂肪包裹肠壁,腹膜为黑色。塔里木裂腹鱼肝脏与胰脏是分离的,肝脏呈粉色,侧面观为近似三角形的分叶实体器官,表面覆盖浆膜,结缔组织较少,有丰富的血管分布。胰脏紧贴肠系膜且其颜色比肝脏稍深一些。胆囊椭圆形,体积较大。

2.2 消化道组织形态指数

塔里木裂腹鱼消化道不同部分的组织形态指数见表1。前肠的黏膜褶皱高度最大,为(636.74±200.65) μm,直肠最小,为(244.95±85.16) μm。后肠的黏膜褶皱宽度最大,为(163.58±65.85) μm;直肠的黏膜褶皱宽度

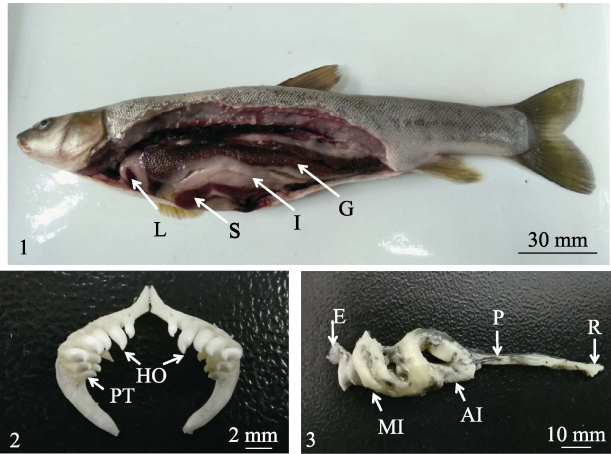


图 1 塔里木裂腹鱼消化系统的解剖观察
Fig.1 Anatomical observation of digestive system of *S. biddulphi*

1: 消化系统解剖图; 2: 咽齿; 3: 消化道
AI: 前肠; E: 食道; G: 性腺; HO: 弯钩; I: 肠; L: 肝脏; MI: 中肠; S: 脾脏; PI: 后肠; PT: 咽齿; R: 直肠
1: Dissection of digestive system;
2: Pharyngeal tooth; 3: Alimentary canal
AI: Anterior intestine; E: Esophagus; G: Gonad; HO: Hook;
I: Intestines; L: Liver; MI: Middle intestine; S: Spleen;
PI: Posterior intestine; PT: Pharyngeal tooth; R: Rectum

最小, 为(74.91±10.29) μm。食道的黏膜下层厚度最大, 为(444.60±66.63) μm; 前肠的黏膜下层厚度最小,

为(32.50±9.73) μm。食道的环肌层和纵肌层厚度最大, 分别为(676.25±118.10) μm 和(195.56±27.31) μm; 直肠处最小, 分别为(36.82±9.90) μm 和(25.90±5.60) μm。后肠浆膜层厚度最大, 为(49.05±4.95) μm, 前肠浆膜层厚度最小, 为(10.20±2.59) μm。消化道内食道的杯状细胞数量最多, 为(12.50±0.85)/100 μm; 而肠道中杯状细胞的密度由前肠至直肠依次增大, 最小为(5.00±1.70)/100 μm, 最大为(10.20±3.91)/100 μm。前肠与直肠相比, 黏膜褶皱更高, 纵肌层和浆膜层更厚, 差异极显著; 直肠与消化道其他部位相比, 黏膜褶皱宽度更小, 环肌层更薄, 差异显著; 食道的黏膜下层最厚, 为(444.60±66.63) μm, 与前肠、中肠和直肠差异极显著; 食道的杯状细胞数量最多, 与前肠差异极显著。

2.3 消化道的组织结构

消化道的一般组织结构为 4 层, 即黏膜层、黏膜下层、肌肉层和浆膜层, 但口咽腔的组织结构仅分为 3 层, 即黏膜层、黏膜下层和肌肉层。黏膜层由黏膜上皮和固有膜构成, 缺少黏膜肌, 因而固有膜与黏膜下层间区别不显著。黏膜下层由疏松结缔组织构成, 其下则为肌肉层。浆膜层比较薄, 主要由结缔组织和单层扁平上皮构成。各部分消化道的差异主要表现在褶皱高度、褶皱宽度、黏膜上皮细胞的

表 1 塔里木裂腹鱼消化道组织形态指数(μm, Mean±SD)
Tab.1 Features of tissue on digestive tract of *S. biddulphi* (μm, Mean±SD)

	食道 Esophagus	前肠 Anterior intestine	中肠 Middle intestine	后肠 Posterior intestine	直肠 Rectum
黏膜褶皱高 Plicamucosa height	465.15±157.32 ^b	636.74±200.65 ^a	545.15±206.21 ^b	371.95±124.60 ^c	244.95±85.16 ^d
黏膜褶皱宽 Plicamucosa breadth	131.73±28.02 ^a	134.88±27.47 ^a	135.18±29.65 ^a	163.58±65.85 ^a	74.91±10.29 ^b
黏膜下层厚 Sub mucosa thick	444.60±66.63 ^a	32.50±9.73 ^c	53.92±15.70 ^c	152.18±32.84 ^b	49.82±20.18 ^c
环肌层厚 Thickness of circular muscle	676.25±118.10 ^a	80.95±19.16 ^b	55.04±13.70 ^{bc}	51.48±6.49 ^{bc}	36.82±9.90 ^c
纵肌层厚 Thickness of longitudinal muscle	195.56±27.31 ^a	60.64±40.36 ^b	30.76±4.50 ^{bc}	33.14±11.85 ^{cd}	25.90±5.60 ^d
浆膜层厚 Serosa thickness	27.80±4.37 ^c	10.20±2.59 ^d	35.24±12.94 ^b	49.05±4.95 ^a	34.05±6.00 ^b
杯状细胞 Goblet cell (Cell number/100μm)	12.50±0.85 ^a	5.00±1.70 ^c	7.50±3.14 ^{bc}	8.20±3.77 ^b	10.20±3.91 ^{ab}

注: 同行相同字母者表示组间差异不显著($P>0.05$); 字母相邻者表示差异显著($P<0.05$); 字母相隔者表示差异极显著($P<0.01$)

Note: The same superscript in the same row indicates no significant difference ($P>0.05$). Values with neighboring superscripts in the same row indicate significant difference ($P<0.05$). Values with apart superscripts in the same row indicate highly significant difference ($P<0.01$)

类型、杯状细胞的数量、肌层的构造和肌肉组织的厚度等方面，具体如下：

口咽腔位于消化道的最前端，口咽腔壁的组织结构主要由黏膜层、黏膜下层和肌肉层组成。口腔黏膜有较为平缓的褶皱。黏膜层由黏膜上皮和固有膜构成，缺少黏膜肌层。复层扁平上皮组成的黏膜上皮中

含有大量黏液细胞及少量杯状细胞，黏液细胞的形态多样，有圆形、椭圆形、梭形等(图2.1)。黏膜上皮的下层为致密结缔组织形成的固有膜，其向上隆起形成乳头状支撑味蕾，味蕾呈壶状贯穿于整个黏膜上皮(图2.2)。黏膜层之下为横纹肌，排列松散而不规则。

食道黏膜向腔面形成乳头状突起的褶皱，黏膜表

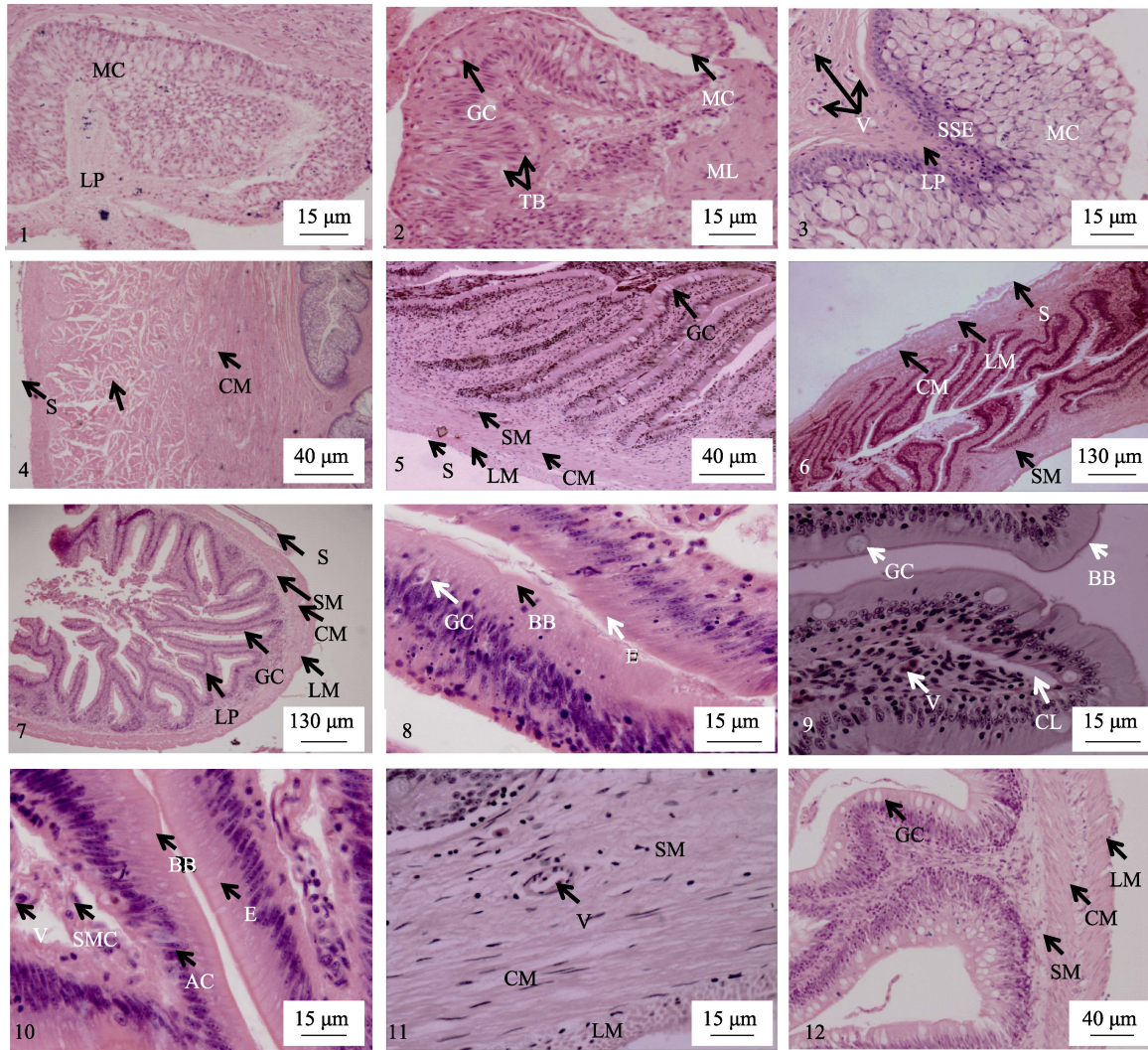


图2 塔里木裂腹鱼消化管组织结构

Fig.2 Tissue structure of digestive tract in *S. biddulphi*

1: 口咽腔黏液细胞; 2: 口咽腔; 3: 食道复层扁平上皮; 4: 食道肌肉层; 5: 前肠横切; 6: 中肠横切;
7: 直肠横切; 8: 前肠上皮组织; 9: 中肠上皮组织; 10: 后肠上皮组织; 11: 前肠黏膜下层; 12: 直肠肌肉层

AC: 吸收细胞; BB: 纹状缘; CL: 中央乳糜管; CM: 环肌; E: 上皮; GC: 杯状细胞;

LM: 纵肌; LP: 固有层; MC: 黏液细胞; ML: 肌层; S: 浆膜; SM: 黏膜下层;

SMC: 平滑肌细胞; SSE: 复层扁平上皮; TB: 味蕾; V: 血管

1: Mucous cell of oropharyngeal cavity; 2: Oropharyngeal cavity; 3: Stratified squamous epithelium of esophagus;

4: Muscular of esophagus; 5: Cross-section of anterior intestine; 6: Cross-section of middle intestine;

7: Cross-section of rectum; 8: Epithelium of anterior intestine; 9: Epithelium of middle intestine;

10: Epithelium of posterior intestine; 11: Sub mucosa of anterior intestine; 12: Muscular of rectum

AC: Absorptive cell; BB: Brush border; CL: Central lacteal; CM: Circular muscle; E: Epithelium; GC: Goblet cell;

LM: Longitudinal muscle; LP: Lamina propria; MC: Mucous cell; ML: Muscular layer; S: Serosa; SM: Sub mucosa;

SMC: Smooth muscle cell; SSE: Stratified squamous epithelium; TB: Taste bud; V: Vascular

面为复层扁平上皮, 大量黏液细胞分布于黏膜褶两侧, 固有膜是一层薄的致密结缔组织, 纤维纤细且紧密, 其间毛细血管丰富(图 2.3)。黏膜下层为疏松结缔组织, 连接黏膜与肌层。肌层为围绕管壁呈连续性排列的横纹肌, 且环肌层比纵肌层发达, 两肌层间可见肌间神经丛(图 2.4)。浆膜层由薄的结缔组织及其外面的间皮组成。

前肠的黏膜层向肠腔突起, 形成大量细长而密集的肠绒毛, 数量为 14~20 个(图 2.5)。中肠可见分支的次级黏膜褶皱, 肠绒毛为 14~18 个(图 2.6)。后肠、直肠黏膜褶皱高度逐渐降低, 出现弯曲, 形态近似三角形, 并呈现较多的次级黏膜褶(图 2.7)。黏膜上皮主要由单层柱状上皮细胞构成, 细胞核位于基部, 细胞质被染成红色; 游离端纹状缘明显, 由前肠至直肠排列逐渐稀疏(图 2.8)。杯状细胞散在单层柱状上皮细胞间, 细胞核位于杯底(图 2.9), 由前肠至直肠密度逐渐增大。固有膜为致密结缔组织, 可见丰富的血管和平滑肌细胞(图 2.10), 未发现肠腺。肠道的黏膜下层由疏松结缔组织构成, 其间有血管分布(图 2.11), 其中, 后肠黏膜下层的厚度远远高于肠道其他部位。肠道的肌层由 2 层平滑肌组成, 内层为环肌, 外层为纵肌,

两肌层间含有少量疏松结缔组织, 其间可见神经丛(图 2.12), 其厚度由前肠至直肠逐渐减少。肠的最外层为浆膜层。

2.4 消化腺的组织结构

肝脏分为实质和间质。间质部分为结缔组织, 深入实质, 将实质分成一个个小叶, 称为肝小叶。实质部分主要为肝细胞, 肝细胞近似卵圆形, 排列紧密, 圆形或卵圆形的单个细胞核位于细胞中央, 每个核有 1~2 个核仁。由于深入实质的结缔组织较少, 故肝小叶不明显。肝小叶中的中央静脉形状不规则, 但较为清晰, 肝细胞排列紧密, 基本以中央静脉为中心呈放射状分布, 此即肝细胞索(图 3.1); 相邻肝细胞索之间为肝血窦, 相互吻合连成网状管道, 其窦壁主要由内皮细胞组成; 血窦间有少量形状不规则的肝巨噬细胞和红细胞; 血窦内皮与肝细胞之间围成狭小的窦周隙也称为狄氏间隙(图 3.2)。肝门管区不典型, 但可见伴行的小叶间胆管和小叶间静脉, 小叶间胆管由单层立方上皮细胞组成, 核大且位于细胞中央; 小叶间静脉管壁薄, 管腔较大, 呈圆形或椭圆形(图 3.3)。

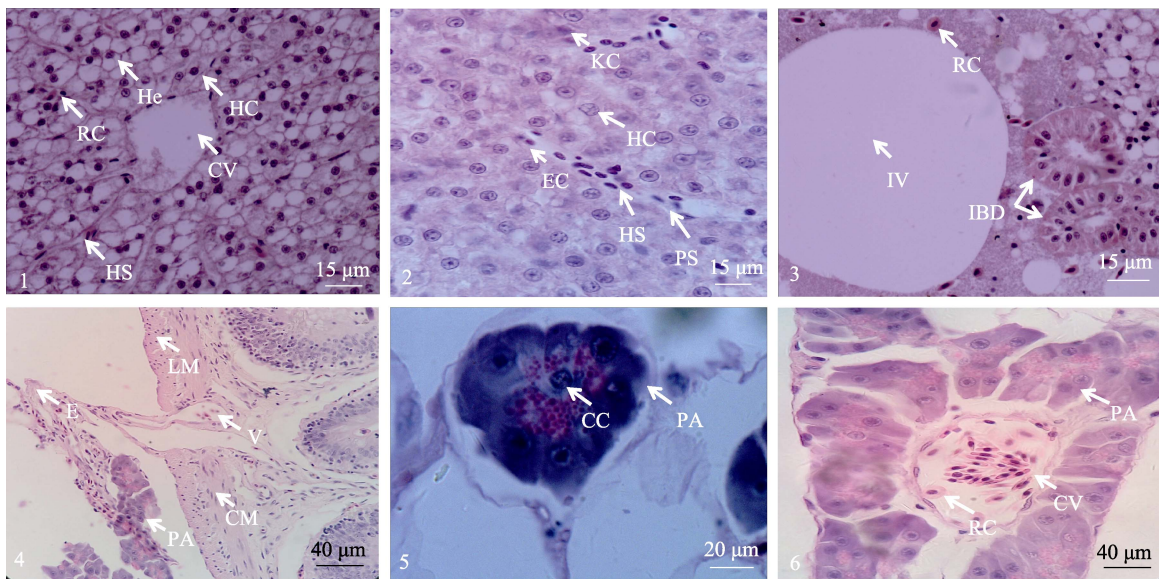


图 3 塔里木裂腹鱼消化腺组织结构

Fig.3 Tissue structure of digestive gland in *S. biddulphi*

1: 肝门管; 2: 肝小叶; 3: 窦周隙; 4: 肠系膜连接的胰脏; 5: 胰腺泡; 6: 胰小叶间静脉

CC: 泡心细胞; CM: 环肌; CV: 中央静脉; E: 上皮; EC: 内皮细胞; HC: 肝细胞索; He: 肝细胞; HS: 肝血窦; IBD: 小叶间胆管; IV: 小叶间静脉; KC: 枯否氏细胞; LM: 纵肌; PA: 胰腺; PS: 窦周隙; RC: 红细胞; V: 血管

1: Portal canal of liver; 2: Hepatic lobules; 3: Perisinusoidal space; 4: The connection of pancreas through mesentery;

5: Pancreatic acini; 6: Interlobular vein of pancreatic

CC: Centroacinar cell; CM: Circular muscle; CV: Central vein; E: Epithelium; EC: Endothelial cell; HC: Hepatic cord;

He: Hepatocyte; HS: Hepatic sinusoid; IBD: Interlobular bile duct; IV: Interlobular vein; KC: Kupffer's cells;

LM: Longitudinal muscle; PA: Pancreatic acinus; PS: Perisinusoidal space; RC: Red cell; V: Vascular

塔里木裂腹鱼的胰脏并没有像其他鲤科鱼类一样嵌在肝脏内,而是独立的结构,除了在肠系膜中出现以外,并没有在其他组织中发现(图 3.4)。结缔组织伸入胰脏实质,将腺体分成若干小叶。塔里木裂腹鱼的胰腺呈滤泡状,胰腺细胞呈锥形或低柱状,细胞核圆形且较大,细胞质中含有大量紫红色颗粒物质;泡心细胞相对较小,且染色较浅(图 3.5)。胰小叶间中央静脉明显,且静脉中可见大量椭圆形有核的红细胞(图 3.6),未见胰岛。

3 分析与讨论

3.1 塔里木裂腹鱼消化系统形态结构与食性的关系

塔里木裂腹鱼为淡水底栖鱼类,其食物组成以丝状藻类和有机碎屑等为主,偶见水生昆虫、底栖无脊椎动物和小杂鱼类,为杂食性偏植食性鱼类(聂竹兰等, 2010)。由于鱼类消化道的形态结构随种属、食性、生活环境的不同而存在差异(赵彦花等, 2019),为与其食性相适应,塔里木裂腹鱼消化系统有其明显特征:塔里木裂腹鱼为下位口,并具有发达的吻须和颌须,便于摄食底栖藻类以及寻找食物;其口内不具颌齿、口腔齿和游离舌,但有较为发达的咽齿,其顶端较尖且呈钩状,咀嚼面宽,与其摄食藻类兼食无脊椎动物相适应,同季强(2008)对拉萨裸裂尻鱼(*Schizopygopsis younghusbandi*)以及方静等(1994)对齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)的研究结果一致,这也进一步证实塔里木裂腹鱼为杂食偏植食性鱼类。食道粗而短,管壁厚,弹性好,起到输送食物的作用。塔里木裂腹鱼为无胃鱼,其肠起始于食道后方,终止于肛门。关于无胃鱼肠道的分段,不同学者有不同的观点,McVay等(1940)将肠道分为肠球和肠本部2部分;林浩然(1962)则认为食道之后即为肠,无分段必要;而倪达书等(1963)将肠管分为前、中、后3部分。本研究参照倪氏分段法以及根据塔里木裂腹鱼自身肠道弯曲,将肠管分为前肠、中肠、后肠和直肠4段。根据显微测量结果以及统计学分析,发现各肠段的黏膜褶皱高度、黏膜褶皱宽度、黏膜下层厚度、环肌层高度、纵肌层高度、浆膜层厚度以及杯状细胞的分布密度,均存在较为明显的差异,故本研究结果支持该分段方法。塔里木裂腹鱼肠较细长,前肠膨大,复杂弯曲,这与杂食性和植食性的无胃鱼通过增加肠道的长度进而增加吸收面积相适应(陈国华等, 2010)。肝胰脏是鱼类的主要消化腺以及重要的代谢器官,而塔里木裂腹鱼的肝脏和胰脏是分开的,这与其他鲤科鱼类胰脏弥散分布于肝脏的结构有很大的区别(谢从新, 2010)。肝脏

和胰脏结构的独立性和完善性在一定程度上体现了动物由低等向高等进化的趋势(庾云等, 2019)。正如海萨·艾也力汗等(2014)在研究新疆裂腹鱼的系统分化关系中得出的结论那样,扁吻鱼(*Aspiorhynchus laticeps*)并未形成独立分支,而是与塔里木裂腹鱼、厚唇裂腹鱼(*Schizothorax irregularis*)、齐口裂腹鱼、澜沧裂腹鱼(*Schizothorax lantsangensis*)以及扁嘴裂腹鱼(*Schizothorax esocinus*)聚在一起,主要区别在于须的对数,并推测扁吻鱼可能是裂腹鱼属的特化物种,故推知塔里木裂腹鱼消化腺的结构也可能是相对于其他裂腹鱼属鱼类进化产生的结果。肝脏分泌的胆汁储存在胆囊中,通过胆管输入前肠,塔里木裂腹鱼的胆囊较大,能够分泌大量胆汁,推测该鱼具有较强的摄食能力。

3.2 塔里木裂腹鱼消化系统组织结构与功能的关系

塔里木裂腹鱼口咽腔黏膜上层细胞中不仅含有味蕾和少量杯状细胞,还具有大量的黏液细胞,进食时能够分泌黏液,起到润滑食物便于吞咽的作用。食道内具有许多黏膜褶,吞咽食物时可通过黏膜褶的扩大或者缩小来调整食道大小,使其免受损伤;黏膜上皮间有大量黏液细胞分布,黏液细胞较大,而且散布较为密集,可知进食时会分泌大量黏液,与食道内的食物混合成食糜团,便于吞咽;食道肌层环形肌的厚度高于纵行肌,在环肌波动收缩的推动下,食物能够快速通过食道。塔里木裂腹鱼肠腔内分布有大量的肠绒毛以及后肠、直肠出现的大量次级肠绒毛,极大地增加了肠道的消化吸收面积,同时,能够将食糜在肠道内的时间延长,增大对食物的吸收效率。肠绒毛的高度自前肠至直肠逐渐降低,说明肠道从前往后对食物的消化吸收能力逐渐减弱,这一特点与黄自豪等(2015)对大鳍异鲃(*Creteuchiloglanis macropterus*)的消化系统的研究结果一致。塔里木裂腹鱼肠道黏膜上皮细胞的游离面具有较为明显的纹状缘,其有增加表面吸收面积的作用。整个肠道的上皮细胞中还分布有大量的杯状细胞,能够分泌黏液,起到润滑、保护以及吸收和转运大分子等的作用(Arellano *et al*, 2002; McGuckin *et al*, 2011)。杯状细胞的数量由前肠至后肠逐渐增多,与齐口裂腹鱼、重口裂腹鱼(*Schizothorax davidi*)(方静等, 1994)、大鳍异鲃(黄自豪等, 2015)、稀有鮡鲫(*Gobiocypris rarus*)(王永明等, 2013)、大眼鳊(*Siniperca kneri*)(蒲德永等, 2013)等一致,前肠和中肠的杯状细胞数量相对于后肠较少,可减缓食物向后运动,使之能够被慢慢吸收;后肠和直肠的杯状细胞密度较高,可分泌大量的黏液,利于排便。肠道固有膜

中分布的大量血管能够迅速运输营养成分至全身,而其分布的少量平滑肌细胞通过引起绒毛的收缩运动,更加有利于营养物质的吸收和运输。前肠的肌层相对于肠道其他部位较厚,有助于加强肠道蠕动,利于食物与黏液的充分接触;后肠和直肠的肌层则有助于食物残渣的排出,而肌层间分布的神经丛也具有调节肌层运动的功能。

由于塔里木裂腹鱼肝脏的间质伸入到实质的结缔组织较少,以及中央静脉与肝细胞板不整齐的排列方式等原因,致使肝脏小叶构造不明显,且肝门管区不典型,与海鳗(*Muraenesox cinereus*)(谢嘉华等,2007)和斑鳅(*Siniperca scherzeri*)(熊洪林等,2009)等相似。肝脏内部结缔组织间毛细血管丰富,与黑鲧(*Girella leonina*)(曹潇等,2018)、青弹涂鱼(*Scartelaos viridis*)(曹伏君等,2013)等一致。胰腺细胞体积较大,且核仁大而明显,说明细胞功能比较活跃;细胞质中大量的深色颗粒物质与波纹唇鱼(*Cheilinus undulates*)(陈国华等,2010)和翘嘴鲌(*Culter alburnus*)(熊洪林,2006)胰腺的组织特点一致,故推测其可能是酶原颗粒,说明胰腺细胞具有旺盛的分泌功能,能更好地分解蛋白质、脂肪和碳水化合物,胰小叶中大量的静脉血管也从侧面表明胰腺具有较强的分泌和运输功能。

综上所述,塔里木裂腹鱼消化系统所具有的这些特征,与其杂食性偏植食性的食性特征相适应。

参 考 文 献

- Arellano JM, Storch V, Sarasquete C. Ultrastructural study on the intestine of Senegal sole, *Solea senegalensis*. *Journal of Applied Ichthyology*, 2002, 18 (3): 154–158
- Bočina I, Šantić Ž, Restović I, *et al.* Histology of the digestive system of the garfish *Belone belone* (Teleostei: Belonidae). *European Zoological Journal*, 2017, 84(1): 89–95
- Cao FJ, Ye N, Luo J, *et al.* Histological observation of digestive system in blue mudhopper *Scartelaos vividis*. *Fisheries Science*, 2013, 32(2): 63–67 [曹伏君, 叶宁, 罗杰, 等. 青弹涂鱼消化系统形态学及组织学研究. *水产科学*, 2013, 32(2): 63–67]
- Cao X, Sun M, Zhu LH, *et al.* Morphology and histology of the digestive system in *Girella leonine*. *Journal of Tropical Oceanography*, 2018, 37(1): 20–26 [曹潇, 孙敏, 朱亮华, 等. 黑鲧消化系统的形态学及组织学研究. *热带海洋学报*, 2018, 37(1): 20–26]
- Chen GH, Wang YB, Wang J, *et al.* Histology of the digestive system in *Cheilinus undulates rüppell*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, 34(4): 685–693 [陈国华, 王永波, 王珺, 等. 波纹唇鱼消化系统的组织学. *水生生物学报*, 2010, 34(4): 685–693]
- Fang J, Zhou Y. Morphological and histological studies on the digestive tracts of *Schizothorax prenaanti* and *Schizothorax davidi*. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 1995, 13(1): 101–106 [方静, 周毅. 齐口裂腹鱼和重口裂腹鱼消化道形态和组织结构的观察. *四川农业大学学报*, 1995, 13(1): 101–106]
- Guo Y, Zhang RM, Cai LG, *et al.* Fishery resources and fisheries of the Bosten Lake. Xinjiang: Xinjiang Science and Technology Press, 2005, 117–120 [郭焱, 张人铭, 蔡林刚, 等. 博斯腾湖鱼类资源及渔业. 新疆: 新疆科学技术出版社, 2005, 117–120]
- Guo Y. Fishes of Xinjiang. Xinjiang: Xinjiang Science and Technology Press, 2012, 34–35 [郭焱. 新疆鱼类志. 新疆: 新疆科学技术出版社, 2012, 34–35]
- Haysa A, Gou Y, Meng W, *et al.* Phylogeny and divergence time estimation of Schizothoracinae fishes in Xinjiang. *Hereditas*, 2014, 36(10): 1013–1020 [海萨·艾也力汗, 郭焱, 孟玮, 等. 新疆裂腹鱼类的系统发生关系及物种分化时间. *遗传*, 2014, 36(10): 1013–1020]
- Huang ZH, Yi JH, Chen DM, *et al.* Morphological and histological observations of digestive system in *Creteuchiloglanis macropterus*. *Freshwater Fisheries*, 2015, 45(2): 8–14 [黄自豪, 易建华, 陈冬明, 等. 大鳍异鲚消化系统形态学和组织学观察. *淡水渔业*, 2015, 45(2): 8–14]
- Ji Q. The study on morphology of feeding organs and the feeding habits of six Schizothorax fishes. Master's Thesis of Huazhong Agricultural University, 2008, 15–19 [季强. 六种裂腹鱼类摄食消化器官形态学与食性的研究. 华中农业大学硕士研究生学位论文, 2008, 15–19]
- Lin HR. Digestive tract of five different feeding habits carp Branch fish. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1962(3): 65–78, 93–95 [林浩然. 五种不同食性鲤科鱼的消化道. *中山大学学报(自然科学版)*, 1962(3): 65–78, 93–95]
- Liu YQ, Li XH, Li YF, *et al.* Study on tissue structure and adaptability characteristic for digestive system of *Mystus guttatus*. *Freshwater Fisheries*, 2019, 49(2): 14–19 [刘亚秋, 李新辉, 李跃飞, 等. 斑鲮消化系统组织结构及适应性特征研究. *淡水渔业*, 2019, 49(2): 14–19]
- Lou YD. Histology and embryology (2nd). Beijing: China Agricultural Press, 1996, 95–114 [楼允东. 组织胚胎学(第2版). 北京: 中国农业出版社, 1996, 95–114]
- Ma YW, Guo Y, Zhang RM, *et al.* Fauna composition and distribution of aboriginal fish in the Tarim River of Xinjiang Uygur Autonomous Region. *Journal of Fisheries of China*, 2009, 33(6): 949–956 [马燕武, 郭焱, 张人铭, 等. 新疆塔里木河水系土著鱼类区系组成与分布. *水产学报*, 2009, 33(6): 949–956]
- McGuckin MA, Lindén SK, Sutton P. Mucin dynamics and enteric pathogens. *Nature Reviews Microbiology*, 2011, 9(4): 265–278
- McVay JA, Kaan HW. The digestive tract of *Carassius auratus*. *Biological Bulletin*, 1940, 78(1): 53–67

- Ni DS, Hong XF. The histology of the digestive tract of the grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1963(3): 1–25 [倪达书, 洪雪峯. 草鱼消化道组织学的研究. *水生生物学集刊*, 1963(3): 1–25]
- Nie ZL, Wei J, Cheng Y. The study on *Schizothorax biddulphi* Günther in biology. *Journal of Tarim University*, 2010, 22(3): 113–116 [聂竹兰, 魏杰, 程勇. 塔里木裂腹鱼生物学研究初探. *塔里木大学学报*, 2010, 22(3): 113–116]
- Pu DY, Huang XQ, Wei G. Histological studies and comparison on the digestive tract in *Siniperca kneri* and *Siniperca scherzeri*. *Freshwater Fisheries*, 2013, 43(2): 26–31 [蒲德永, 黄小琪, 魏刚. 大眼鳊和斑鳊消化道组织结构的比较研究. *淡水渔业*, 2013, 43(2): 26–31]
- Shan XJ, Quan HF, Dou SZ. Morphological and histological changes in digestive tract development during starvation in the miiuy croaker. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2016, 42(2): 529–546
- Tuo Y, Xiao TY, Li WC. Morphological and histological characteristics of the digestive system in *Spinibarbus caldwelli*. *Journal of Hydroecology*, 2019, 40(4): 83–92 [庾云, 肖调义, 李伟臣. 刺鲃幼鱼消化系统形态学和组织学研究. *水生态学杂志*, 2019, 40(4): 83–92]
- Wang YM, Shi JR, Zhang YG, *et al.* Histological study on the digestive tract of cultivated *Gobiocypris rarus*. *Sichuan Journal of Zoology*, 2013, 32(3): 410–414 [王永明, 史晋绒, 张耀光, 等. 人工养殖稀有鮡鲫消化道组织学观察. *四川动物*, 2013, 32(3): 410–414]
- Xie CX. *Ichthyology*. Beijing: China Agricultural Press, 2010, 90–91 [谢从新. 鱼类学. 北京: 中国农业出版社, 2010, 90–91]
- Xie JH, Chen ZY, Huang GB, *et al.* Microstructure of liver, gallbladder and pancreas of Pike eel *Muraenesox cinereus*. *Marine Science Bulletin*, 2007, 26(3): 61–65, 86 [谢嘉华, 陈朝阳, 黄国宝, 等. 海鳗肝脏、胆囊及胰腺的显微结构. *海洋通报*, 2007, 26(3): 61–65, 86]
- Xiong HL, Wang ZJ. Histology and ultrastructure of the liver of *Siniperca scherzeri*. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science)*, 2009, 34(2): 43–48 [熊洪林, 王志坚. 斑鳊肝脏的组织学及超微结构. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2009, 34(2): 43–48]
- Xiong HL. Morphological studies on livers and pancreases of *Culter alburnus*, *Mystus macropterus* and *Siniperca scherzeri*. Master's Thesis of Southwest University, 2006, 6–31 [熊洪林. 翘嘴鲌、大鳍鱮和斑鳊肝脏胰脏的形态学研究. 西南大学硕士研究生学位论文, 2006, 6–31]
- Xu GF, Chen XJ, Du J, *et al.* Fish digestive system: It's structure, function and the distributions and characteristics of digestive enzymes. *Chinese Journal Fisheries*, 2009, 22(4): 49–55 [徐革锋, 陈侠君, 杜佳, 等. 鱼类消化系统的结构、功能及消化酶的分布与特性. *水产学杂志*, 2009, 22(4): 49–55]
- Yang YH, Wang LX, Li XZ, *et al.* Comparative study on morphology and histology of digestive system of *Silurus lanzhouensis* and catfish (*Silurus asotus*). *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2017, 41(1): 174–181 [杨元昊, 王立新, 李学智, 等. 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*, 2017, 41(1): 174–181]
- Yue PQ, Chen YY. *China red data book of endangered animals (fishes)*. Beijing: Science Press, 1998, 147–148 [乐佩琦, 陈宜瑜. 中国濒危动物红皮书(鱼类). 北京: 科学出版社, 1998, 147–148]
- Zhang RM, Guo Y, Ma YW, *et al.* A survey on the resource and distribution of *Schizothorax biddulphi* Günther. *Freshwater Fisheries*, 2007, 37(6): 76–78 [张人铭, 郭焱, 马燕武, 等. 塔里木裂腹鱼资源与分布的调查研究. *淡水渔业*, 2007, 37(6): 76–78]
- Zhao XJ, Zhang LY, Zhu AY. Chemical and histochemistry study on the digestive system of *Lateolabrax japonicas*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(30): 111–116, 198 [赵向炯, 章利勇, 朱爱意. 花鲈消化系统组织学与组织化学研究. *安徽农业科学*, 2017, 45(30): 111–116, 198]
- Zhao YH, Ou YJ, Li JE, *et al.* Histology and distribution of mucous cells in digestive system of *Bahaba flavolabiata*. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(3): 80–86 [赵彦花, 区又君, 李加儿, 等. 黄唇鱼消化系统组织结构及黏液细胞分布特征. *渔业科学进展*, 2019, 40(3): 80–86]
- Zhao ZM, Zhao YL, Liu MJ, *et al.* Morphological and histological characterization of the digestive system of *Sinobdella sinensis* Bleeker, 1870. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, 40(6): 1201–1207 [赵子明, 赵媛莉, 刘美剑, 等. 中华刺鲃消化系统形态与组织学研究. *水生生物学报*, 2016, 40(6): 1201–1207]

(编辑 马瑾艳)

Morphology and Histology Studies of the Digestive System of *Schizothorax biddulphi*

REN Yongli^{1,2}, NIE Zhulan^{1,2}①, YANG Zhijun^{1,2}, ZHANG Sheng^{1,2}, WEI Jie^{1,2}

(1. College of Animal Science, Tarim University, Alar 843300; 2. Key Laboratory of Tarim Animal Husbandry Science and Technology, Xinjiang Production & Construction, Alar 843300)

Abstract This study aimed to investigate the morphological and histological features of the digestive system of *Schizothorax biddulphi* using conventional HE-stained paraffin sections. The digestive system of *S. biddulphi* consisted of a digestive tract and a digestive gland. The digestive tract comprised the oropharynx, esophagus, and intestine (anterior intestine, middle intestine, posterior intestine, and rectum). A pharyngeal tooth had developed in the oropharynx, but no stomach was present; the intestine adjoined the esophagus and the anterior intestine was inflated. The general structure of the digestive tract consisted of the mucosa, submucosa, muscular layer and serous membrane; however, the oropharyngeal cavity only had the mucosa and muscular layer. The mucosal layer showed the greatest difference, mainly in the following aspects. First, the tunica mucosa of the oropharynx was made of a stratified squamous epithelium with taste buds and numerous mucous cells. Second, the esophagus was thick and short, and the mucosa consisted of a stratified squamous epithelium. Third, there was a large number of blood vessels in the lamina propria. Last, the intestinal epithelial cells were single columnar epithelial cells, and the number of goblet cells increased gradually from the anterior intestine to the rectum, while the mucosal fold height gradually decreased. The digestive gland of *S. biddulphi* is composed of a liver and pancreas. The hepatic lobule of the liver was not obvious, but the distribution of hepatic sinuses and central veins was regular, however, the portal area of the liver was not typical. The pancreas was an independent structure, separated from the liver, and not found in any tissue other than the mesentery. The veins were more obvious in the pancreatic lobule, and there were numerous nucleated red blood cells in the vascular system. The relationship between morphological and histological features of the digestive system and feeding behavior of *S. biddulphi* was discussed, in order to enrich the biological research of *S. biddulphi* and to provide a theoretical basis for the analysis of its trophic behavior and development of its bait.

Key words *Schizothorax biddulphi*; Digestive system; Morphology; Histology

① Corresponding author: NIE Zhulan, E-mail: niezh12004@163.com