

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.01051

湘华鲮消化系统的形态学与组织学研究

梁志强¹, 李传武¹, 刘明求¹, 卞伟¹, 余长生², 杨奠元²

1. 湖南省水产科学研究所, 湖南 长沙, 410153;

2. 怀化市畜牧水产局, 湖南 怀化, 418000

摘要: 采用活体解剖、测量、HE 染色等方法, 对 10 尾体长(28.98 ± 2.69) cm 湘华鲮 [*Sinilabeo decorus tungting* (Nichols)] 消化系统形态学、组织学特征进行了研究, 旨在阐明其消化系统特征, 并探讨其食性及消化、吸收机理。结果表明, 湘华鲮消化系统具有以下特点: (1)消化系统由消化道与消化腺肝胰脏组成, 消化道包括口咽腔、食管和肠 3 部分, 无胃; 肠道极长, 可分为前肠、中肠和后肠, 比肠长 21.42 ± 3.51 , 肠盘旋次数 42 ± 5 。(2)湘华鲮属于碎屑食性鱼类, 其取食方式为刮食。(3)从前肠往后, 黏膜皱褶由网状转变为 Z 形褶, 且逐渐变稀疏, 至中肠的中后段难于分辨。(4)食道和肠道壁均由黏膜层、黏膜下层、肌肉层和浆膜层 4 层组成。前肠、中肠、后肠三者相互之间的黏膜下层厚度存在极显著差异($P<0.01$), 纵肌层的厚度存在显著差异($P<0.05$), 而在皱褶数量、黏膜皱褶高度、环肌层厚度、浆膜层厚度等方面, 前肠、中肠、后肠三者相互之间大部分组织形态指标差异显著。(5)从前咽顶壁开始, 经过肠道, 至肛门处, 湘华鲮消化道各处黏膜中均有黏液细胞的分布, 且黏液细胞呈不均匀分布。(6)食管及整个肠道均具有消化吸收功能。湘华鲮消化道利用其罕见的长肠、丰富的黏膜褶皱及黏液细胞来完成对硅藻等低能量食物的充分消化吸收, 以与其碎屑食性相适应。

关键词: 湘华鲮; 消化道; 形态学; 组织学; 碎屑食性

中图分类号: S94

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)05-1051-10

湘华鲮 [*Sinilabeo decorus tungting* (Nichols)] 俗名“青鱼”, 隶属鲃亚科 (Barbinae), 华鲮属 (*Sinilabeo*), 是湖南省特有的一种大型野生经济鱼类, 1980 年前, 在湘江、资水、沅水、澧水中上游均有分布, 尤以沅水的中上游产量较高^[1], 但 2000 年以后, 资源量急剧减少, 2007 年全年产量不足 0.5 t, 已成为濒危鱼类, 急待进行资源保护^[2]。本课题组从 2007 年开始进行湘华鲮人工繁殖研究, 并取得成功, 4 年中总共繁殖湘华鲮鱼苗 17.68 万尾^[2]。开展消化系统研究是认识和探讨鱼类摄食、消化和吸收生理机制的基础和途径之一^[3], 因而, 也是研制湘华鲮苗种与成鱼饲料的重要基础。目前国内外已经对草鱼 (*Ctenopharyngodon*

idellus)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*Aristichthys nobilis*)、哲罗鱼 (*Hucho taimen*)、波纹唇鱼 (*Cheilinus undulates*)、银鲳 (*Pampus argenteus*)、尼罗罗非鱼 (*Tilapia nilotica*)、大窄尾魮 (*Himantura signifer*) 以及弗氏兔脂鲤 (*Leporinus friderici*) 等多种鱼类消化系统的组织学进行了研究^[4-11]。有关湘华鲮的研究主要集中在湘华鲮的分类、形态、生物学、胚胎发育及营养成分等方面^[12-16], 但对其消化系统的研究尚未见报道。本研究运用解剖学、组织学技术以及 Spot321 图像分析系统对湘华鲮消化系统的形态学与组织学结构进行定量研究, 旨在阐明消化系统的特征, 探讨其食性及消化、吸收机理, 为饲料开发和养殖

收稿日期: 2010-11-30; 修订日期: 2011-05-16。

基金项目: 湖南省科技计划项目(2006NK3128); 湖南省畜牧水产局养殖业科研项目(XMY200608, XMY200710, XMY200806); 湖南省中央财政农业技术推广项目(湘财农指[2008]155 号)。

作者简介: 梁志强(1977-), 男, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事珍稀鱼类保护与利用研究. E-mail: liangzhiqiang@163.com

提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

湘华鲮于 2009 年 5 月从沅水洪江段捕获, 共 10 尾, 体长(28.98 ± 2.69) cm。实验所选用的材料鱼鲜活, 外观检查正常无病变。

1.2 消化系统的形态学观测

分别测量每尾湘华鲮的体长、体质量、头长、吻长、口裂、口咽腔、齿式等生物学指标。采用倪达书等^[5]对消化道肠管的分段方法, 将湘华鲮肠管分成前肠(foregut)、中肠(midgut)和后肠(hindgut)3 段。前肠为肠管中最粗大的一段直管, 将全部肠道最后一个弯曲处作为中肠和后肠的分界线。再将食管、前肠、中肠、后肠各器官分别从前往后分别均等分为 5 小段, 测定每段中点处的直径, 计算出 5 小段直径的平均值即为该器官的直径。比肠长=肠道长/体长, 比肝胰脏重=肝胰脏质量/体质量×100%。用水将肠道冲洗 5 遍, 在肠道中灌满水, 从肠外部观察肠道黏膜褶的分布与排列, 再将整个肠道翻转, 在解剖镜下进行观察。

1.3 消化系统的组织学观测

解剖时先用解剖针毁坏脑脊髓, 然后分离出消化管与消化腺, 将食管、前肠、中肠、后肠各器官从前往后分别等分为 5 小段, 取每小段的中点位置组织块用于组织学观察。材料采用 Bouin's 液固定 1 d, 石蜡包埋, 切片厚度 5 μm, 松节油脱腊, 苏木精-伊红(HE)染色, 在 Olympus BX51 显微镜下观察、拍照。切片多用横切面, 在唇、前肠、中肠和鳃耙也采用了纵切面。测量肠管各段横切面中各层的厚度及黏膜皱褶顶部、中部、基部黏液细胞的数量。

1.4 计量分析

采用 Spot321 图形分析系统对组织切片进行分析, 每个组织块切片 3 片, 每片随机计算 3 个视野。测量各层(黏膜下层、环肌层、纵肌层、浆膜层)的厚度, 计数黏膜皱褶数量及其顶部、中部、基部黏液细胞的数量。分别各统计 45 个视野(5 小段×3 片/小段×3 个视野/片)中以上各指标的平均值, 即为食管、前肠、中肠、后肠各器官的数

量性状。

1.5 数据处理

实验数据使用 SPSS11.5 软件进行生物学统计, 描述性统计值使用平均值±标准差($\bar{x} \pm S.D.$)表示。用 *t* 检验判断有无统计学意义上的差异。 $P < 0.05$ 表示差异显著; $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 消化系统的形态特征

湘华鲮消化系统由消化道与消化腺组成。消化道为一较长的管道, 自口开始, 向后延伸, 经过腹腔, 最后开口于肛门, 可分为口咽腔(oropharyngeal cavity)、食管(Oesophagus)和肠(intestine)3 个部分(图版 -1); 消化腺主要为肝胰脏(hepatopancreas)。

2.1.1 口咽腔 湘华鲮上下唇具有角质边缘(图版 -1、-1), 口下位(图版 -2), 口腔和咽腔之间没有明显分界, 故称口咽腔。没有明显的舌, 口腔形状为宽扁形, 口裂较深, 口张开程度小, 且不能向前伸出, 口裂长/吻长为 1.09 ± 0.13 (表 1), 前咽顶壁具有乳头状突起(图版 -3)。咽部的左右两侧有 5 对鳃裂贯穿, 鳃弓内缘有鳃耙, 鳃耙较短, 其长度明显小于鳃丝。鳃耙较坚硬, 耙状, 鳃耙的近内侧面具有纵列颗粒状小突起, 鳃耙数 $42\sim55 + 45\sim66$ 。上下颌骨均无牙齿, 第 5 对鳃弓的角鳃骨扩大, 上长咽齿, 形状为扁平铲状(图版 -4), 与基枕骨下的角质垫组成咀嚼面。咽齿式有 5 种, 常见的为 $5\cdot4\cdot2/2\cdot4\cdot5$, 此外还发现了 $2\cdot5\cdot4\cdot2/2\cdot4\cdot5\cdot2$ 、 $1\cdot5\cdot4\cdot2/2\cdot4\cdot5\cdot1$ 、 $6\cdot5\cdot2/2\cdot5\cdot6$ 、 $6\cdot4\cdot2/2\cdot4\cdot6$ 等 4 种。

2.1.2 消化管 食管粗短而直, 开始于与气道相连接处, 末端与肠相连(图版 -5); 食管较狭小, 壁较厚, 其与宽大的前肠前端容易区分。

湘华鲮无胃, 肠部比较细长(图版 -6), 前肠为约占全部肠道 1/50 的膨大直管。前肠的直径明显大于中肠与后肠(表 1、图版 -6)。肠的盘旋方式与鲤相似, 为多圈相互重叠, 在腹腔的左右两侧盘旋成较规则的发条状, 而在腹腔的前方中央则不很规则。肠的收缩能力极强, 饱食时肠的直径可达空肠的 2 倍以上。肠部最显著的特征是肠的长度较长, 盘旋次数较多。比肠长 21.42 ± 3.51 ,

表1 湘华鲮消化系统参数
Tab.1 Character of digestive system of *Sinilabeo decorus tungting*

| 性状 character | 数值 value | 性状 character | 数值 value |
|--|-------------|---|-------------|
| 口裂长/吻长 mouth cleft length/snout length | 1.09±0.13 | 比肠长 intestine length/body length | 21.42±3.51 |
| 口咽腔长/头长 oral cavity length/head length | 0.65±0.09 | 食管中段直径/mm middle oesophagus diameter | 6.23±1.16 |
| 口腔容积/头部体积 oral cavity volume/head volume | 0.07±0.01 | 前肠中段直径/mm middle foregut diameter | 9.95±1.87 |
| 肠盘旋次数 spiral number of gut | 42±5 | 中肠中段直径/mm middle midgut diameter | 2.57±0.85 |
| 口腔容积(口张开)/口腔容积(口闭合) ratio of oral cavity volume of open mouth to closed mouth | 2.60±0.36 | 后肠中段直径/mm middle hindgut diameter | 1.90±0.51 |
| 比肝胰脏重/% hepatopancreas weight/total weight | 1.21±0.15 | 咽齿式种类 type of pharyngeal teeth | 5 |

肠盘旋次数 42±5。前肠略带一定的颜色,通常为黄色或深红色,而往后至中肠,肠道颜色逐渐变浅,从中肠前段开始无色透明。

前肠中以网状黏膜皱褶为主(图版 -7、-10),黏膜褶密集,从肠外看清晰可见。在前肠的前 1/3 段,仅见网状黏膜褶;在前肠的 1/3 处附近开始出现 Z 形褶;中肠以 Z 形褶为主(图版 -8、-11),往后皱褶逐渐稀疏;至中肠的中后段,皱褶较少,从肠外难于分辨(图版 -9)。

2.1.3 肝胰脏 肝脏与胰脏彼此密切相连,胰脏弥散性分布在肝脏组织中,形成肝胰脏。肝胰脏在体腔内分成了左右两部分。比肝胰脏重为 1.21±0.15。

2.2 消化系统的组织学特征

2.2.1 组织学结构 湘华鲮的口咽腔壁主要由黏膜层(mucosa layer)、黏膜下层(submucosa layer)及部分肌肉(muscle)组成。黏膜层为复层上皮组织(stratified epithelial tissue),其中包含有味蕾(taste bud)和黏液分泌细胞(mucus-secreting cell)。

吻部外壁黏膜层最外面为角质化的上皮细胞,其下为复层上皮细胞,在黏膜层中有少量黏液分泌细胞分布(图版 -1)。吻部内壁黏膜层也有角质化上皮细胞和复层上皮细胞,最下面还有单层柱状上皮细胞,但在黏膜层中几乎无黏液分泌细胞分布(图版 -2)。

口咽腔壁在复层扁平上皮中散布有大量的黏液分泌细胞及少量的杯状细胞,味蕾也常可见到

(图版 -3)。黏膜层通常没有顶板而有基膜。黏膜下层由不规则排列的网状纤维结缔组织组成,其表层较紧密,纤维束间有许多圆形或椭圆形的核,底层呈疏网状,纤维束间有较大空隙。固有层组织形成大量乳头状突起(图版 -3, -3),在突起中含有味蕾,味蕾呈现不规则的卵圆形。肌肉层厚,由横纹肌纤维组成(图版 -3)。

食道和肠道壁均由黏膜层、黏膜下层、肌肉层和浆膜层 4 层组成。食道黏膜层内面有较多纵褶(18~22 个,图版 -4),黏膜层中分布着大量的黏液细胞(图版 -5)。黏膜下层与固有膜分界不明显,主要由结缔组织组成,其中散布少量的肌纤维。肌肉层分为内外两层,内环肌为平滑肌,外纵肌为横纹肌,食道的前段肌肉纤维以横纹肌为主,而后段以平滑肌为主。

肠道壁的黏膜层有许多复杂而多分支的黏膜皱褶,它们排列紧密,常由 1 个褶皱再分出若干小褶皱,排列的方向有横走、纵走及斜走,且褶皱之间常相互连接,形成了复杂的网状黏膜皱褶,几乎充满整个肠腔(图版 -6、-1)。除柱形上皮细胞和杯状细胞外,未见其他肠腺体构造。由前肠往后,褶皱排列渐规则,由网状褶皱转变为 Z 形褶,到中肠中后段皱褶开始极不明显(图版 -7、-8、-9, -1)。黏膜层的单层柱形上皮细胞排列整齐,椭圆形的核位于细胞中央或稍靠近底部,在上皮细胞顶端可见明显的垂直纤毛状的纹状缘,而在底部有基膜(图版 -7)。在上皮细胞间有大

量的杯状细胞,它们在皱褶顶部、中部与基部均有分布,形状有梨形、圆形与椭圆形等多种,染色呈空泡状,多靠近表层。从肠前端开始到接近肛门处,肠道各段的黏膜层均分布着杯状细胞(图版-6、7,-2、3、5、6)。肠肌肉层分为内外两部分,内为环肌,外为纵肌(图版-8,-4、5)。在前肠的两部分肌肉中均分布着平滑肌与横纹肌,其中内环肌部分肌肉的排列方式为内外各有平滑肌,中间夹着横纹肌(图版-8)。肌肉层中有血管、神经及结缔组织等分布;最外边的浆膜层由一层扁平的间皮细胞组成(图版-8)。

鳃耙的黏膜构造和前咽壁的黏膜层相似,由数层扁平上皮细胞组成,并有较多黏液细胞和味蕾分布,底部有明显的基膜(图版-7)。

肝内有胰腺分布,形成肝胰脏,虽然肝和胰两种组织混在一起,但仍然是两个独立的器官,分泌物由各自的导管输送(图版-8)。肝脏内有大量的脂滴和极少量的双核细胞分布。

2.2.2 消化道组织形态指数及黏液细胞分布特征

前肠的黏膜皱褶数量(44 ± 6)相对最多,极显著多于食管与中肠($P<0.01$);食管肠的黏膜皱褶数量又极显著多于中肠与后肠($P<0.01$);后肠相对最少,仅 8 ± 2 个(表2)。

前肠的黏膜皱褶高度($1207.53\mu\text{m}$)最高,显著高于食管处($P<0.05$),且极显著高于中、后肠($P<0.01$);后肠处黏膜皱褶高度($163.66\mu\text{m}$)相对最低。消化道各处的黏膜下层厚度差异显著,其中食管处最厚,前肠处最薄。食管的环肌层厚度

[$(313.96\pm151.01)\mu\text{m}$] 相对最厚,极显著厚于前、中、后肠($P<0.01$);中肠的环肌层厚度[$(44.88\pm12.25)\mu\text{m}$] 相对最薄,极显著薄于前、后肠($P<0.01$)。消化道各处的纵肌层厚度相互差异显著($P<0.05$),其中前肠处最厚,中肠处最薄。后肠的浆膜层厚度[$(36.08\pm6.48)\mu\text{m}$] 相对最厚,中肠的浆膜层厚度[$(9.89\pm2.14)\mu\text{m}$] 相对最薄。

食管及肠管各处的黏膜皱褶高度值与环肌层厚度均大于纵肌层与浆膜层。除前肠外,食管与肠管的纵肌层厚度相对最薄,均小于同处的黏膜下层、环肌层、浆膜层厚度。

分析肠道前段、中段、后段相互之间的6项组织形态指标的差异,在18个分析结果中有14个存在显著差异($P<0.05$)或极显著差异($P<0.01$),仅以下4个分析结果差异不显著:前肠与中肠之间的浆膜层厚度比较、中肠与后肠之间黏膜皱褶数量及黏膜皱褶高度比较、前肠与后肠之间环肌层厚度比较(表2)。说明前、中、后肠在大部分组织形态指标上差异显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)。

湘华鲮消化道黏膜层和其他鲤科鱼类一样,也分布有2种黏液细胞,分别为黏液分泌细胞(mucus-secreting cell)与典型的杯状细胞(goblet cell)^[5]。黏液分泌细胞分布于口腔到食管-肠括约肌的前半部处,形状有袋形或不规则形,成熟的核压扁在底部,黏液染色很淡,呈网状,多数排列在细胞表面;正在成长中的黏液分泌细胞的核在后部,椭圆形,被包围于染色均匀而较深的黏液中,多位于黏膜层中(图版-3)。典型的杯状细胞分布

表2 湘华鲮消化道组织形态指数
Tab.2 Morphological indices of digestive tract of *Sinilabeo decorus tungting*

| 形态指数 morphological index | 食管 esophagus | 前肠 foregut | 中肠 midgut | 后肠 hindgut | $n=10$; $\bar{x}\pm SD$ |
|---|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 黏膜皱褶数量 plica mucosa number | 20 ± 2^e | 44 ± 6^a | 10 ± 3^e | 8 ± 2^e | |
| 黏膜皱褶高度/ μm plica mucosa height | 736.20 ± 400.68^b | 1207.53 ± 101.24^a | 281.28 ± 125.64^d | 163.66 ± 138.80^d | |
| 黏膜下层厚度/ μm submucosa thickness | 113.08 ± 22.95^a | 21.59 ± 6.76^f | 84.95 ± 15.79^b | 40.35 ± 11.25^d | |
| 环肌层厚度/ μm circular muscle thickness | 313.96 ± 151.01^a | 81.25 ± 18.62^c | 44.88 ± 12.25^c | 69.61 ± 12.80^c | |
| 纵肌层厚度/ μm longitudinal muscle thickness | 3.68 ± 0.77^d | 32.73 ± 20.97^a | 2.41 ± 0.90^e | 9.18 ± 3.71^b | |
| 浆膜层厚度/ μm serosa thickness | 21.36 ± 12.18^b | 16.70 ± 8.16^{bc} | 9.89 ± 2.14^c | 36.08 ± 6.48^a | |

注:同行标有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 denote nonsignificant difference ($P>0.05$). Values with neighboring superscripts in the same row denote significant difference ($P<0.05$). Values with apart superscripts in the same row denote extremely significant difference ($P<0.01$).

于肠管的各段, 其长度与上皮细胞长度约相等, 末端膨大, 基部极细, 形状常为梨形或椭圆形空泡状(图版 1-7)。从前咽顶壁开始, 经过肠道, 至肛门处, 在湘华鲮消化道各处黏膜中均有黏液细胞分布, 且分布不均匀, 其中食管黏膜皱褶基部处黏液细胞数量相对最多, 达 (2937 ± 475) 个/ mm^2 (表3, 图版 1-5), 而肛门黏膜的黏液细胞数量相对最少, 仅 (145 ± 144) 个/ mm^2 。从前咽顶壁往后至后肠, 各处黏膜顶部的黏液细胞数目依次减少。前咽顶壁与食管黏膜基部中黏液细胞数量均显著高于肠道各段相应部位($P<0.01$)。前、中、后肠之间相应部位杯状细胞的数目也存在差异, 前肠黏膜皱褶中部的黏液细胞数目显著高于中、后肠相应部位($P<0.05$), 而前肠黏膜皱褶基部的情况却相反。肠道中前肠黏膜中部的杯状细胞相对最多, 为 (1650 ± 400) 个/ mm^2 。同一黏膜皱褶中黏液细胞的分布也不均匀。在食管和后肠黏膜皱褶中, 从基部经中部往顶部, 黏液细胞数量逐渐减少; 而在前咽顶壁和前肠黏膜中, 中部黏液细胞的数量多于顶部与基部。

3 讨论

3.1 湘华鲮食性及消化系统的形态学特征

解剖湘华鲮消化道后发现, 湘华鲮的主要食物为曲壳藻(*Achnanthes*)、双菱藻(*Surirella*)和针杆藻(*Syndra*)等硅藻, 偶然食物为浮游动物以及轮虫, 而且食物中还夹带着大量的底泥。对湘华鲮食物的观察结果与王宾贤等^[12]的研究结果接近。根据殷名称对鱼类食性的分类方法^[17], 将湘华鲮食性判断为碎屑食性。湘华鲮口下位, 下颌具有角质

边缘, 具有刮食行为的生理条件。笔者在天然河道中开展湘华鲮资源调查及在人工驯养湘华鲮时, 均观察到湘华鲮刨刮岩石上附着藻类后留下的痕迹, 由此判断湘华鲮的取食方式为刮食。

林浩然^[4]发现不同食性的鲤(杂食性)、草鱼(草食性)、鳡(肉食性)、鳙(浮游动物食性)和鲢(浮游植物食性)的消化管形态均具有不同的明显特征。消化道长度(肠长)与食性常相关^[17]。研究湘华鲮消化管的特征与这些典型鱼类的相似程度, 也可以推测湘华鲮的食性类型。一般典型肉食性鱼类的比肠长小于1; 杂食性鱼类或偏重植物的杂食性鱼类的比肠长在1~3之间; 而纯植物性或碎屑食性鱼类的比肠长在3以上, 如碎屑食性的野鲮的比肠长可达15~20^[17]。湘华鲮消化管最显著的特征是肠道非常长, 其比肠长达到 21.42 ± 3.51 , 说明湘华鲮符合碎屑食性鱼类的特点。湘华鲮比肠长显著大于鲤(1.64~2.45)、草鱼(2.29~2.54)、鳡(0.54~0.63)、鳙(4.63~4.97)和鲢(6.29~7.77)^[4]及碎屑食性鱼类黄尾密鲴(*Xenocypris daaudi*)(6.26)^[18], 而相对接近于鲢和黄尾密鲴。湘华鲮肠道的盘旋次数为 42 ± 5 , 也显著高于鲤(6次)、草鱼(8次)、鳡(0次)、鳙(24次)^[4], 而接近于鲢。同时湘华鲮消化道前肠中后段内壁中具有大量的与鲢^[19]相似的Z型褶, 也说明湘华鲮食性与鲢具有一定的相似性。殷名称发现处于两个类型之间的鱼类极为普遍^[17]。根据消化管的形态推测, 湘华鲮的消化道有着独特的特征, 其食性不仅相对接近于同食性类型的黄尾密鲴, 而且还与浮游植物食性鲢具有一定的相似性, 说明其食性类型虽为碎屑食性鱼类, 但也在一定程度上偏植物食性。

表3 湘华鲮消化道黏膜皱褶中黏液细胞的数目

Tab.3 Numbers of mucous cells on digestive tract of *Sinilabeo decorus tungting*

$n=10$; $\bar{x}\pm SD$; cells· mm^{-2}

| 位置 position | 黏液分泌细胞 mucus-secreting cells | | 杯状细胞 goblet cell | | |
|----------------|--------------------------------|-----------------|------------------|------------------|---------------|
| | 前咽顶壁 prepharynx upper plate | 食管 esophagus | 前肠 foregut | 中肠 midgut | 后肠 hindgut |
| | prepharynx upper plate | esophagus | foregut | midgut | hindgut |
| 顶部 head | 1188 ± 196^a | 788 ± 304^c | 725 ± 243^c | 538 ± 288^{cc} | 338 ± 151^e |
| 中部 middle | 2100 ± 576^a | 1550 ± 355^b | 1650 ± 400^b | 463 ± 151^d | 650 ± 359^d |
| 基部 base | 1925 ± 772^c | 2937 ± 475^a | 237 ± 141^e | 713 ± 352^e | 688 ± 304^e |

注: 同行标有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 denote nonsignificant difference ($P>0.05$). Values with neighboring superscripts in the same row denote significant difference ($P<0.05$). Values with apart superscripts in the same row denote extremely significant difference ($P<0.01$).

3.2 肠道分段及结构与消化吸收的关系

鲤科鱼类一般无胃, 肠道各段的分界也不太明显, 这增加了鲤科鱼类肠道分段的难度。目前, 对鲤科鱼类肠道的分段, 有着多种不同的观点。林浩然^[4]认为食道之后便是肠, 没有分段的必要。倪达书等^[5]主张将肠道分为前肠、中肠和后肠3部分。笔者发现湘华鲮肠道的不同部位在外观颜色、直径及组织形态学指标等方面均存在明显的差异, 因此在湘华鲮肠道划分时采用倪达书等^[5]的分段方法, 将消化道划分为前肠、中肠和后肠3段。

从湘华鲮前咽顶壁开始, 消化道黏膜中分布着高密度的黏液细胞, 能分泌大量的黏液和消化酶, 在食管和前肠处黏膜皱褶的数量较多, 黏膜皱褶较高, 同时含有丰富的各类消化酶和血管, 说明食物进入前咽后即开始进行消化, 食管和前肠处是食物重要的消化与吸收场所。而黏膜皱褶、消化酶在中、后肠处依然存在, 说明中、后肠也具有消化吸收功能。湘华鲮有着极长的肠道, 从前咽处开始即能对食物进行消化, 且整个肠道均保持着对食物进行消化吸收的功能。其比肠长和肠的盘旋次数均极大, 在鱼类中较为罕见, 极长的肠道可适应大量吞食, 充分消化、吸收食物中的营养成分。

肠黏膜皱褶的高度由肠道前端向后逐渐降低, 皱褶个数逐渐减少, 与各段消化吸收功能的强弱有关。食道发达的横纹肌, 强力收缩有助于食物的吞咽。肠前段厚的肌肉层加强了肠的蠕动, 有助于食物和消化液的充分接触与消化。肠中段变薄的肌肉层可减缓食物向肠后运动, 增加食物消化吸收的时间。后肠较厚的肌肉层有利于食物残渣的排出。叶元土等^[20]认为肠道对食物的消化、吸收主要与黏膜表面结构和肠道的分泌能力有关。湘华鲮是碎屑食性鱼类, 具有较长的肠道及丰富的黏液细胞, 能分泌大量的黏液, 减少食物对肠黏膜的机械损伤, 有利于肠的蠕动以便消化液与食物更充分的混合, 这一特点与刘怀如等^[21]对南方大口鮰(*Silurus meridionalis*)的研究结果相似。口腔、食管和鳃耙等黏膜层内含有黏液细胞和少量的味蕾, 这些细胞分泌的大量黏液不仅能够

保护上皮细胞免受机械损伤、细胞感染, 同时也可辨别和选择食物, 便于食物顺畅地转移到肠道中。据有关报道, 上述结构还和离子吸收有关^[22]。

从湘华鲮前肠前段到后肠后段均有蛋白酶、脂肪酶及淀粉酶的分布, 使湘华鲮摄食的硅藻等低能食物在消化道中能得到充分的消化与吸收, 相关研究结果将另文发表。

湘华鲮消化道具有极长的肠道, 前、中、后肠均具有丰富的黏膜皱褶、黏液细胞和消化酶, 使湘华鲮能从摄取的硅藻等低能量食物中充分吸收营养, 保证机体能量的需要, 与其碎屑食性相适应。

参考文献:

- [1] 湖南省水产科学研究所. 湖南鱼类志[M]. 长沙: 湖南人民出版社, 1976: 103–104.
- [2] 卞伟, 李传武, 梁志强, 等. 湘华鲮引种驯养及繁育技术研究[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(5): 53–57.
- [3] 楼允东. 组织胚胎学 [M]. 第2版. 北京: 中国农业出版社, 1998: 95–114.
- [4] 林浩然. 五种不同的鲤科鱼的消化管[J]. 中山大学学报, 1962(3): 65–77.
- [5] 倪达书, 洪雪峰. 草鱼消化道组织学的研究[J]. 水生生物学集刊, 1963, 3: 1–25.
- [6] 关海红, 匡友谊, 徐伟, 等. 哲罗鱼消化系统形态学和组织学观察[J]. 中国水产科学, 2008, 15(5): 873–879.
- [7] 陈国华, 王永波, 王珺, 等. 波纹唇鱼消化系统的组织学[J]. 水生生物学报, 2010, 34(4): 685–693.
- [8] 高露姣, 施兆鸿, 严莹. 银鲳仔鱼消化系统的组织学研究[J]. 中国水产科学, 2007, 14(4): 540–546.
- [9] Morrison C M, Wright J R. A study of the histology of the digestive tract of the Nile tilapia [J]. J Fish Biol, 1999, 54: 597–606.
- [10] Kannika C, Ricardo M, Jintana P, et al. Histology of the digestive tract of the freshwater stingray *Himantura signifer* Compagno and Roberts, 1982 (*Elasmobranchii, Dasyatidae*) [J]. Anat Embryol, 2006, 211(5): 507–518.
- [11] Albrecht M P, Ferreira M F, Caramaschi E P. Anatomical features and histology of the digestive tract of two related neotropical omnivorous fishes (Characiformes; Anostomidae) [J]. J Fish Biol, 2001, 58: 419–422.
- [12] 王宾贤, 刘素文, 田习初. 湘华鲮的生物学研究[J]. 水生生物学集刊, 1982(4): 455–470.
- [13] 梁启焱. 湖南的鱼类区系[J]. 湖南师范学院学报, 1966(5): 85–111.
- [14] 伍献文. 中国鲤科鱼类志(下卷)[M]. 上海: 上海人民出版社, 1977: 338–340.

- [15] 赵明蔚, 黄文郁, 王祖熊. 温度对湘华鲮胚胎与胚后发育的影响[J]. 水产学报, 1982(4): 345-349.
- [16] 梁志强, 李传武, 欧燎原, 等. 湘华鲮肌肉营养成分分析与评价[J]. 营养学报, 2009, 31(4): 411-413.
- [17] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京:中国农业出版社, 1995: 64-78.
- [18] 徐如卫, 吴振兴, 罗仙池. 新安江水库黄尾密鲴 *Xenocypris davidi* Bleeker 生物学研究[J]. 浙江水产学院学报, 1996, 15(3): 184-196.
- [19] 孟庆闻, 苏锦祥, 李婉端. 鱼类比较解剖[M].北京:科学出版社, 1987: 152-198.
- [20] 叶元土, 林仕梅, 冯兴无, 等. 长吻𬶏和南方大口𬶏胃肠道消化能力的研究[J]. 动物学研究, 1997 (3): 72-80.
- [21] 刘怀如, 张耀光. 南方鮀消化道杯状细胞分布及类型探讨[J]. 四川动物, 2002(1): 6-8.
- [22] Humbert W, Kirsch R, Meister M F. Scanning electron microscopic study of the oesophageal mucous Layer in the eel, *Anguilla anguilla*[J]. Fish Biol, 1984, 25:117-122.

Morphological and histological observation of the digestive system in *Sinilabeo decorus tungting* (Nichols)

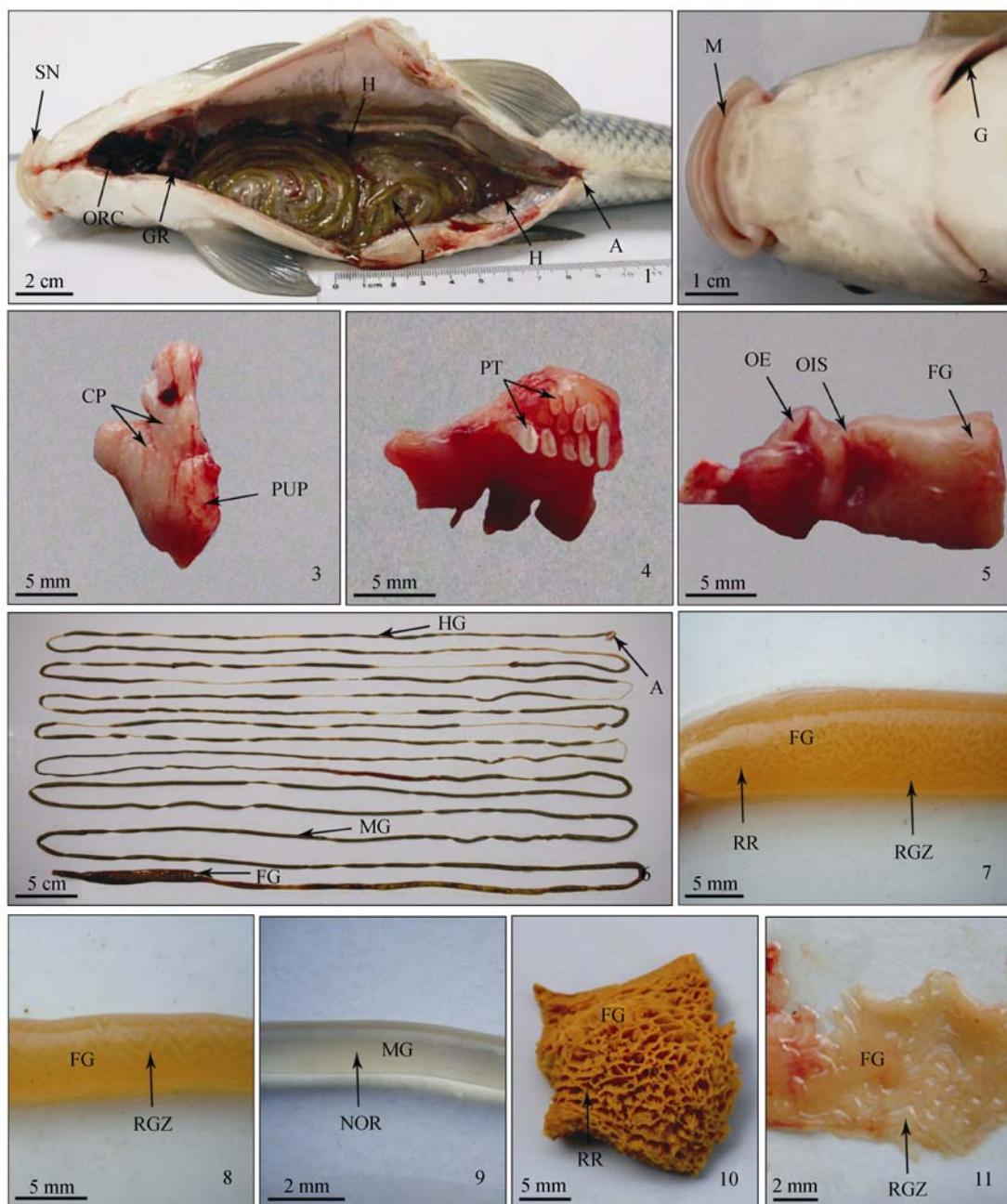
LIANG Zhiqiang¹, LI Chuanwu¹, Liu Mingqiu¹, BIAN Wei¹, YU Changsheng², YANG Dianyuan²

1. Fisheries Research Institute of Hunan Province, Changsha 410153, China;

2. Animal Husbandry and Aquatic Products Bureau of Huaihua City, Huaihua 418000, China

Abstract: *Sinilabeo decorus tungting* (Nichols) is indigenous to Hunan province, China. This species is currently listed as endangered however little is known about its biology. To address this, we successfully propagated *S. decorus tungting* in captivity and used the offspring to document the morphology of the digestive system by light microscopy observation of tissue sections. The digestive system consisted of the digestive tract, which was composed of mouth, pharynx, esophagus, and intestine, and digestive gland. The specimens we examined had an inferior mouth, no stomach, 2 pairs of barbels, 5 types of pharyngeal teeth (typically 5•4•2/2•4•5), and 42-55+ 45-66 lateral line scales. The intestine was extremely long and twisted 42±5 times. The ratio of intestine length to body length was 21.42±3.51, and that of hepatopancreas weight to total weight was 1.21±0.15. *S. decorus tungting* is a detritivore that scratches food with its lip. The walls of the intestine and esophagus consisted of mucosa, submucosa, muscular coat, and serosa layers. The mucosal layer of the prepharynx upper plate, esophagus, and intestine was covered with wrinkles. The thickness of each layer differed among the segments of the digestive system. The thickness of the submucosa differed significantly between the foregut, midgut, and hindgut ($P<0.01$). Similarly, the thickness of the longitudinal muscle differed between the foregut, midgut, and hindgut ($P<0.05$). The submucosa and circular muscle were thicker in the esophagus than in the foregut, midgut, and hindgut. Similarly, the mucosal and submucosal thickness was greater in the plica than in the hindgut. The foregut mucosa had 44±6 wrinkles, and the number of wrinkles decreased from the foregut to the hindgut. The density of mucous cells was highest in the mid-plica mucosa of the esophagus (2100 ± 576 cells/mm²). The density of mucous cells was higher in the plica mucosa of the prepharynx than in the goblet cells of the intestine, and higher in the foregut than in the hindgut. The density of mucous cells differed between the plica mucosa in different regions of the gut and decreased from the base to the head of the plica mucosa in the esophagus and hindgut. Similarly, the density of mucous cells differed between the plica mucosa of the foregut, midgut, and hindgut. The density in the head of the plica mucosa tended to decrease between the foregut and hindgut. Food was absorbed in both the esophagus and the intestine. The morphology of the gut was consistent with that of other detritivores, being characterized by a long intestine, rich plica mucosa, and high density of mucous cells.

Key words: *Sinilabeo decorus tungting* (Nichols); digestive system; morphology; histology; detritivores



图版 I 湘华鲮消化系统的形态学观察

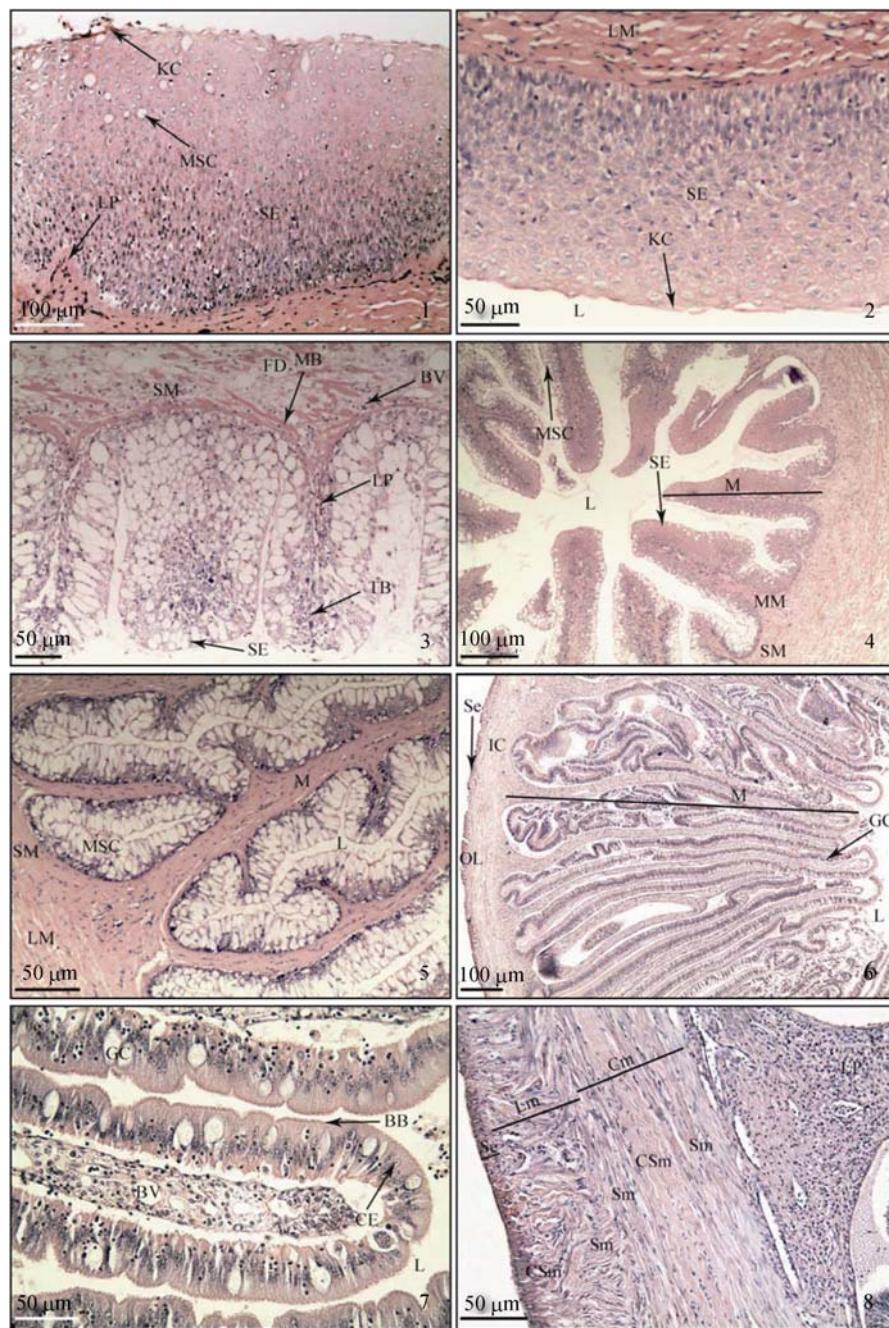
1.消化系统解剖图; 2.口位; 3.前咽顶壁; 4.咽齿; 5.食管与肠连接处; 6.消化道; 7. 前肠前段; 8.前肠后段; 9.中肠; 10.前肠前段内面观; 11.前肠后段内面观。

A: 肛门; CP: 乳头状突起; FG: 前肠; G: 鳃; GR: 鳃耙; H: 肝胰脏; HG: 后肠; I: 肠道; M: 口; MG: 中肠; NOR: 无明显皱褶; OE: 食管; OIS: 食道-肠括约肌; ORC: 口咽腔; PUP: 前咽顶壁; PT: 咽齿; RGZ: Z 形褶; RR: 网状褶; SN: 吻部。

Plate I Morphological observations of digestive system in *Sinilabeo decorus tungting*

1. dissection of digestive system; 2. mouth position; 3. prepharynx upper plate; 4. pharyngeal teeth; 5. esophag-gastric junction; 6. digestive tract; 7. anterior segment foregut; 8. posterior segment foregut; 9. midgut; 10. anterior segment foregut interior; 11. posterior segment foregut interior

A: anus; CP: convex papillate; FG: foregut; G: gill; GR: gill raker; H: hepatopancreas; HG: hindgut; I: intestine; M: mouth; MG: midgut; NOR: no obvious reductus; OE: oesophageal; OIS: oesophageal-intestine sphincter; ORC: oropharyngeal cavity; PUP: pre-pharynx upper plate; PT: pharyngeal teeth; RGZ: reductus group Z; RR: reticulate reductus; SN: snout.

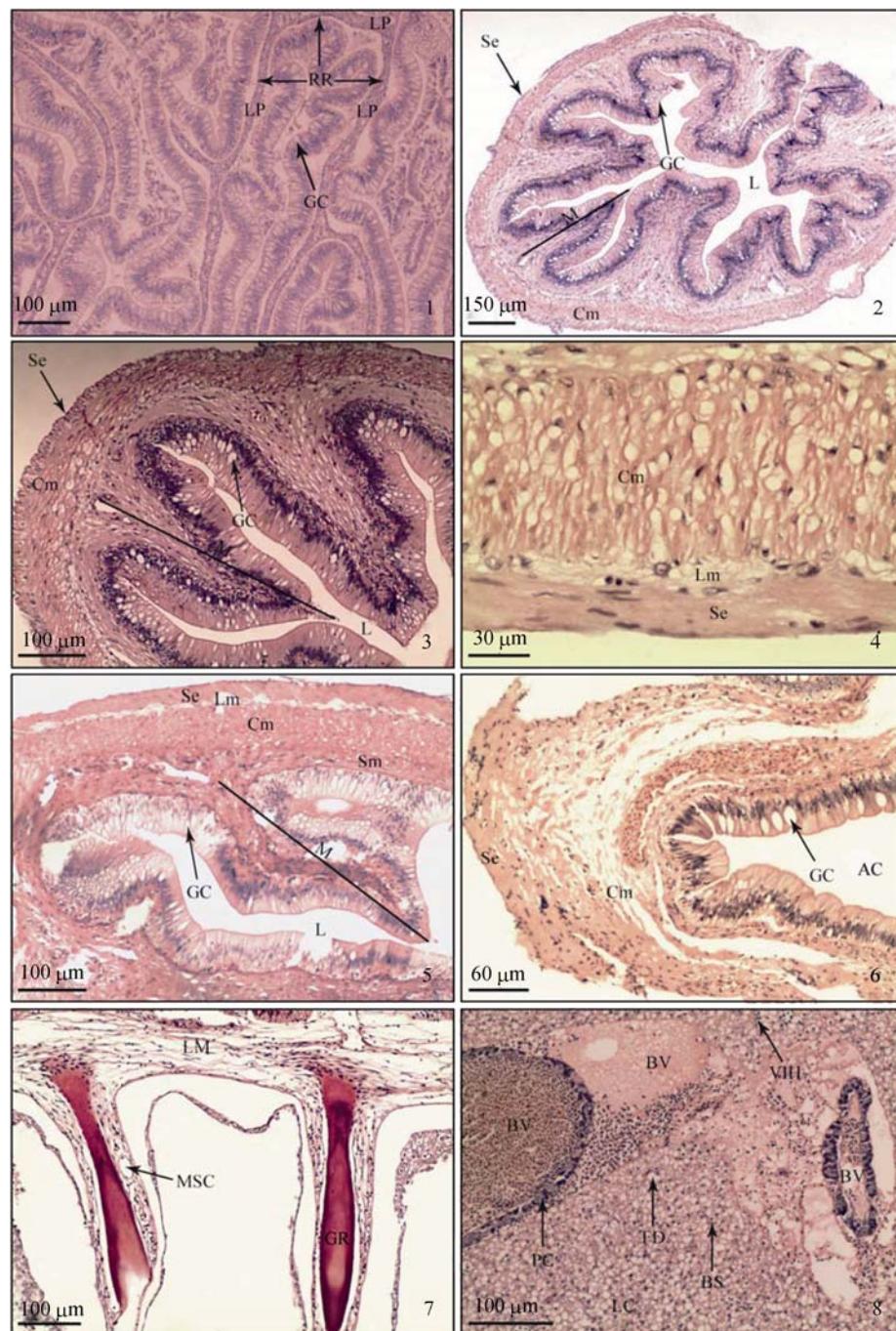


图版II 湘华鲮消化系统(唇-前肠)组织学观察

1.上唇外侧纵切; 2.上唇内侧纵切; 3.前咽顶壁横切; 4.食管横切; 5.食管黏膜皱褶基部横切; 6.前肠横切; 7.前肠黏膜皱褶顶部横切; 8.前肠壁横切。BB: 纹状缘; BV: 血管; CE: 柱状上皮细胞; Cm: 环肌层; CSm: 横纹肌; FD: 脂肪滴; GC: 杯状细胞; IC: 内环肌; KC: 角化细胞; L: 腔; LM: 肌层; Lm: 纵肌层; LP: 固有膜; M: 黏膜层; MB: 肌肉束; MM: 黏膜肌层; MSC: 黏液分泌细胞; OL: 外纵肌; SE: 复层扁平上皮细胞; Se: 浆膜; SM: 黏膜下层; Sm: 平滑肌; TB: 味蕾。

Plate II Histological observation of digestive system from lip to foregut in *Sinilabeo decorus tungting*

1. longitudinal section of outside upper lip; 2. longitudinal section of inside upper lip; 3. cross-section of prepharynx upper plate; 4. cross-section of oesophagus; 5 cross-section of mucosa base of oesophagus; 6. cross-section of foregut; 7. cross-section of spiral valve head of foregut; 8. cross-section of foregut wall. BB: brush border; BV: blood vessel; CE: columnar epithelium; Cm: circular muscle; CSm: cross-striated muscle; FD: fatty drop; GC: goblet cell; IC: inside circular muscularis; KC: keratinocyte; L: lumen; LM: lamina muscularis; Lm: longitudinal muscle LP: lamina propria; M: mucosa; MB: muscle bundle; MM: muscularis mucosae; MSC: mucus-secreting cell; OL: outside longitudinal muscularis; SE: stratified squamous epithelium; Se: serosa; SM: submucosa; Sm: smooth muscle; TB: taste bud.



图版III 湘华鲮消化系统(前肠-肛门)组织学观察

1. 前肠黏膜皱褶纵切; 2. 中肠横切; 3. 中肠局部横切; 4. 中肠壁纵切; 5. 后肠横切; 6. 肛门处横切; 7. 鳃耙纵切; 8. 肝胰脏

AC: 肛管; BS: 血窦; BV: 血管; Cm: 环肌层; FD: 脂肪滴; GC: 杯状细胞; GR: 鳃耙; L: 腔; LC: 肝细胞; Lm: 纵肌层; LP: 固有膜; M: 黏膜层; MSC: 黏液分泌细胞; PC: 胰脏细胞; RR: 网状褶; Se: 浆膜; Sm: 平滑肌; VIH: 肝小叶间静脉

Plate III Histological observation of digestive system from foregut to anus in *Sinilabeo decorus tungting*

1. longitudinal section of foregut mucosa; 2. cross-section of midgut; 3 cross-section of midgut part; 4. longitudinal section of midgut wall; 5. cross-section of hindgut; 6. cross-section of anus; 7. longitudinal section of gill-rakers; 8. hepatopancreas

AC: anus conduit; BS: blood sinusoid; BV: blood vessel; Cm: circular muscle; FD: fatty drop; GC: goblet cell; GR: gill-rakers; L: lumen; LC: Liver cell; Lm: longitudinal muscle; LP: lamina propria; M: mucosa; MSC: mucus-secreting cell; PC: pancreas cell; RR: reticulate reductus; Se: serosa; Sm: smooth muscle; VIH: venae interlobulares hepatic.