

圆尾鲎与中国鲎消化道形态学与组织学观察

陈秀荔¹, 朱威霖², 杨春玲¹, 罗 帮¹, 李琼珍¹,
彭金霞¹, 彭 敏¹, 韦嫔媛¹, 蒋伟明¹, 李咏梅¹

(1. 广西水产遗传育种与健康养殖重点实验室, 广西水产科学研究院, 南宁 530021;
2. 广西大学动物科学技术学院, 南宁 530005)

摘要:比较分析圆尾鲎和中国鲎消化道组织学和形态学特征,为其发育生物学的研究和健康繁育提供理论依据。中国鲎与圆尾鲎均来自于广西合浦县西场镇邻近海域,10龄和14龄均各5只,平均头胸甲宽:圆尾鲎46.78~52.42 mm、中国鲎46.09~55.44 mm。通过形态解剖、组织切片和光镜技术等对消化道的形态学与组织学特征进行研究。结果表明:圆尾鲎与中国鲎消化道外部及解剖形态基本相似;它们的消化道可划分为前肠(口道、食道、前胃、幽门)、中肠和后肠(直肠、肛门);前肠、中肠和后肠都由几丁质层、粘膜层、粘膜下层、肌层及外膜组成,但是中肠不含几丁质层。10龄中国鲎和圆尾鲎的消化道总长以及中肠长度差异显著,消化道其余各部分的长度差异不显著。不同龄同种鲎以及同龄不同种鲎间的所有测量指数差异显著。消化道各部分的结构、组织形态均与其杂食性密切相关。

关键词:圆尾鲎;中国鲎;消化道;形态学;组织学

中图分类号:Q48 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2016)05-0092-09

目前,世界现存的鲎分为2亚科3属4种,美洲鲎亚科(Subfamily Limulinae)仅1属1种即美洲鲎(*Limulus polyphemus*);鲎亚科(Subfamily Tachypleinae)分为蝎鲎属和鲎属,由3种亚洲鲎组成,分别为蝎鲎属的圆尾鲎(*C. rotundicauda*)和鲎属的中国鲎(*T. tridentatus*)与南方鲎(*Tachypleus gigas*)。中国鲎(*Tachypleus tridentatus*)和圆尾鲎(*Carcinoscorpius rotundicauda*)为我国仅有的2种鲎,已有2亿多年的历史,是名副其实的“活化石”(Lamsdell et al, 2013)。

消化道对食物的消化和吸收直接关系到生物体的生长、发育和繁殖等重要生命活动,消化道的形态学与组织学研究是认识和探讨动物摄食、消化和吸收生物机制的重要途径(廖永岩等,2006; Kamaruzzaman et al,2011)。鲎的消化道划分也一直存在争议,吕林兰等(2006)将圆尾鲎消化道划分为前肠(口腔、食道、嗦囊、砂囊)、中肠和后肠(直肠、肛门);刘正琮等(1985)将中国鲎消化道划分为口、食道、胃、幽门、前肠、后肠和肛门等部分;Shin等

(2009)将美洲鲎消化道划分为口、食道、砂囊、瓣膜、胃、肠、直肠、肛门;Spotswood等(2007)通过影像学观察美洲鲎消化道系统,并详细描述了鲎的口道、食道、肠道的结构。本文拟通过组织形态学方法比较研究北部湾地区圆尾鲎与中国鲎消化道结构特征,以期详细揭示2种鲎消化道特征的不同,比较归纳前人研究,对2种鲎消化道进行划分,为其发育生物学研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用中国鲎与圆尾鲎均来自于广西合浦县西场镇邻近海域。10龄和14龄圆尾鲎各5只,平均头胸甲宽46.78~52.42 mm;10龄和14龄中国鲎各5只,平均头胸甲宽46.09~55.44 mm。

1.2 实验方法

解剖鲎后取出消化道,用FA-2004型电子天平称量(精确到万分位),在解剖盘中展平,用数显游标卡尺进行消化道各部分长度的测量(精确到百分位)。活体解剖鲎,迅速取出消化道各部位,用生理盐水冲洗干净后放入Bouin氏液固定24 h以上。固定样品经梯度酒精洗涤至淡黄色,用自动脱水机进行脱水、透明、浸蜡,组织包埋机进行石蜡包埋,转轮式切片机连续切片、厚度为4 μm,烤片机60℃烤片3 h,HE染色,中性树胶封片,分别用Nikon Eclipse

收稿日期:2015-08-13

基金项目:广西自治区主席农业院士顾问专项。

作者简介:陈秀荔,1975年生,女,博士,研究方向为水产遗传学。E-mail:chenxiuli2001@163.com

通信作者:李咏梅。E-mail:liyongmei915@163.com

E100 和 Axioskop 40 显微镜观察和拍照。

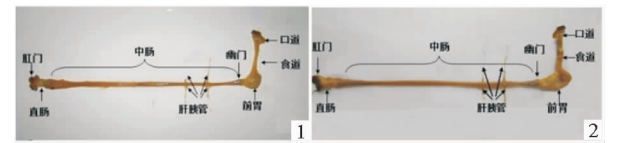
消化道形态指标测定包括口道、食道、前胃、幽门、中肠、直肠、肛门宽的长度以及前肝胰管距幽门末端间距、前后肝胰管间距和消化道总长度。测量数据为随机测定 5 个平行数据的平均值。

数据统计分析使用 SPSS17.0 进行,文中数据以平均值 ± 标准误表示, $P < 0.05$ 即认为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 消化道形态学观察

根据外部形态、内部解剖观察及功能研究,将消化道划分为前肠、中肠和后肠。前肠包括口道、食道、前胃、幽门 4 部分;中肠部分有前后 2 对肝胰管和中肠;后肠包括直肠和肛门(图 1)。



肛门 anus;直肠 rectum;中肠 midgut;肝胰管 hepatopancreatica;幽门 pylorus;前胃 proventriculus;口道 cavum buccale;食道 oesophagus

1. 中国鲎;2. 圆尾鲎

图 1 鲎消化道的解剖形态

1. *T. tridentatus*;2. *C. rotundicauda*

Fig.1 Digestive tract anatomy of *T. Tridentatus* and *C. Rotundicauda*

解剖分析发现,前肠、中肠和后肠每部分都包含几丁质层、粘膜层、粘膜下层、肌层及外膜等结构。消化道各部分的长度及占消化道总长度的比例见表

1 和表 2。中国鲎的消化道及各部分器官的长度都比圆尾鲎的长,而且 10 龄鲎的消化道长度和 14 龄鲎的消化道长度之间差距较大;鲎的中肠占消化道总长度的百分比是最大的,其次是食道;中国鲎的口道壁比圆尾鲎的厚;圆尾鲎和中国鲎的前胃壁厚度差距不大,但 14 龄期鲎的前胃壁厚度增长较快。

2.2 消化道不同组织结构形态指标测定

通过测量不同龄圆尾鲎和中国鲎的消化道总长度及口道壁、食道、前胃、幽门、前肝胰管距幽门末端、前后肝胰管间距、中肠、直肠和肛门宽的长度,归纳各部分占消化道总长的百分比,以期分析中国鲎与圆尾鲎消化道的主要区别。测量结果发现除 10 龄中国鲎和圆尾鲎中肠和消化道总长差异显著外其余各指数差异不显著,不同龄同鲎以及不同龄不同鲎间各指数差异显著(表 1);圆尾鲎与中国鲎消化道各部分长度占消化道总长的百分比中口道、幽门前后肝胰管间距、直肠部分差异不显著,10 龄和 14 龄圆尾鲎食道、中肠占消化道总长百分比差异不显著,中国鲎 10 龄和 14 龄食道占消化道总长百分比差异显著,前胃占消化道总长百分比中国鲎和圆尾鲎间差异显著,其余显著差异水平,见表 2。

2.3 前肠组织学观察

鲎的口道是指螯肢和 5 对步足的基节及唇瓣之间的部分,其周围密布刚毛。口道被几丁质层包被,几丁质层游离面有染成深紫色的外缘带和小刺分布,粘膜上皮与粘膜下层向腔面突起形成规则的小型皱襞,横向突向腔面的褶皱几丁质及有弹性的口缘几丁质保护膜具有促进口道自由收缩和扩张的作用。中国鲎和圆尾鲎的口道结构差异比较大。

表 1 圆尾鲎与中国鲎消化道各部分形态指标(平均数 ± 标准误)

Tab.1 Morphological measurement of different segments of the digestive tract in *C. rotundicauda* and *T. tridentatus* (Mean ± SE)

种 类	龄 期	形态指标/mm				
		口道	食道	前胃	幽门	前肝胰管距幽门末端
圆尾鲎	10	3.65 ± 0.02 ^a	7.73 ± 0.12 ^a	6.84 ± 0.06 ^a	2.23 ± 0.13 ^a	5.85 ± 0.05 ^a
<i>C. rotundicauda</i>	14	11.12 ± 0.31 ^b	24.7 ± 0.72 ^b	20.38 ± 0.59 ^b	6.32 ± 0.21 ^b	20.11 ± 0.55 ^b
中国鲎	10	4.32 ± 0.33 ^a	8.97 ± 0.83 ^a	8.12 ± 0.31 ^a	2.62 ± 0.25 ^a	6.54 ± 0.54 ^a
<i>T. tridentatus</i>	14	11.14 ± 1.28 ^b	27.24 ± 1.45 ^b	22.46 ± 1.08 ^b	7.20 ± 0.49 ^b	20.56 ± 0.97 ^b

种 类	龄 期	形态指标/mm				
		前后肝胰管间距	中肠	直肠	肛门宽	消化道总长
圆尾鲎	10	5.69 ± 0.04 ^a	40.60 ± 0.36 ^a	2.82 ± 0.07 ^a	2.55 ± 0.03 ^a	63.87 ± 0.78 ^a
<i>C. rotundicauda</i>	14	18.73 ± 0.48 ^b	125.60 ± 3.91 ^b	9.62 ± 0.56 ^b	8.95 ± 0.29 ^b	197.74 ± 4.45 ^b
中国鲎	10	6.51 ± 0.47 ^a	46.63 ± 2.92 ^c	3.38 ± 0.13 ^a	2.87 ± 0.12 ^a	74.04 ± 3.16 ^c
<i>T. tridentatus</i>	14	18.36 ± 1.03 ^b	136.73 ± 6.22 ^b	9.28 ± 0.52 ^b	8.18 ± 0.56 ^b	214.05 ± 7.29 ^b

注:同列上标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Notes: The different superscript letters within the same column mean statistical significant difference($P < 0.05$).

表 2 圆尾鲎与中国鲎消化道各部分长度占消化道总长的比例(平均数±标准误)

Tab. 2 Proportions of different segments of the digestive tract to alimentary canal in *C. rotundicauda* and *T. tridentatus* (Mean ± SE)

种类	龄期	消化道各部占消化道总长的比例/%							
		口道	食道	前胃	幽门	前肝胰管 距幽门末端	前后肝胰 管间距	中肠	直肠
圆尾鲎	10	4.68 ± 0.16 ^a	10.66 ± 0.91 ^{ab}	7.93 ± 0.22 ^a	3.57 ± 0.39 ^a	7.33 ± 0.54 ^a	7.67 ± 0.25 ^a	66.73 ± 0.17 ^a	3.89 ± 0.05 ^a
<i>C. rotundicauda</i>	14	5.45 ± 0.05 ^a	12.14 ± 0.23 ^{ac}	8.60 ± 0.31 ^a	3.14 ± 0.12 ^a	9.93 ± 0.24 ^b	9.23 ± 0.16 ^a	65.81 ± 0.55 ^{ab}	4.70 ± 0.21 ^a
中国鲎	10	5.77 ± 0.49 ^a	10.17 ± 0.99 ^b	11.21 ± 0.31 ^b	3.77 ± 0.37 ^a	8.63 ± 0.42 ^{ab}	8.68 ± 0.33 ^a	64.59 ± 1.19 ^{bc}	4.53 ± 0.32 ^a
<i>T. tridentatus</i>	14	5.12 ± 0.63 ^a	12.24 ± 0.76 ^c	11.91 ± 0.57 ^b	3.58 ± 0.67 ^a	9.78 ± 1.19 ^b	9.34 ± 1.23 ^a	63.17 ± 0.93 ^c	4.41 ± 0.33 ^a

注:同列上标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Notes: The different superscript letters within the same column mean statistical significant difference($P < 0.05$).

中国鲎的皱襞呈锥形或指状,排列不规则(图 2-1),固有层与粘膜下层界限不明显,均为疏松结缔组织,此外还可见成束的纵肌散在分布;纵肌与环肌间则有结缔组织分布(图 2-2);粘膜下层分布有众多空泡状脂肪细胞(图 2-3)。

圆尾鲎的皱襞呈低矮的钟形,规则排列;粘膜上皮细胞均为单层柱状,细胞排列紧密,胞核椭圆形位于细胞中下部,基膜明显可见(图 2-4);口道中分布有自几丁质层发起的粗大横纹肌束,贯穿粘膜下层与肌层,疑为放射肌,较中国鲎粗大,排列更为紧密(图 2-5);此外还散布呈椭圆形或心形的游走细胞,

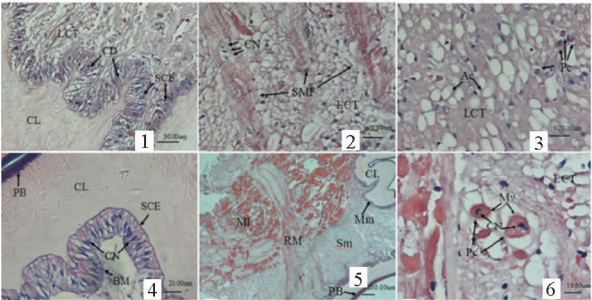
胞核椭圆形被染成深紫色,细胞膜上均匀分布着 2 μm 长的纤毛(图 2-6)。

鲎的食道为连接口道与前胃的短而直的管道,自两复眼中部下方向上延伸至中央眼下面的前胃处。食道的几丁质层较口道薄,且厚度不均,与粘膜层及粘膜下层共同向腔面突起形成大型皱襞。

圆尾鲎与中国鲎肌层均为横纹肌束,结缔组织及肌层中均有放射肌分布,近腔侧以连续环肌为主,远腔侧纵肌束散在分布(图 3-1、图 3-2)。

中国鲎粘膜层和粘膜下层共同突向管腔,形成 6 个粗大的褶皱,3 个小型褶皱;上皮细胞排列较紧密,细胞核为椭圆形,位于细胞基底部,核仁清晰可见(图 3-3)。圆尾鲎粘膜层突向腔面形成 6 个大型褶皱,底部各有 1 个小型褶皱,褶皱顶端形态不规则,褶皱内的几丁质突向远腔侧,形成形状各异的小型突触,有的深入结缔组织形成管腔。黏膜上皮细胞均为单层柱状,界限明显,胞核位于基底部,基膜清晰(图 3-4)。

鲎的前胃是食道末端膨大囊状部分,食道纵褶末端膨大深入前胃并形成高低不等的波浪形次级皱褶,以加强前胃的伸缩功能。纵剖观察显示前胃由前后两部分组成:前半部常处于收缩状态,褶皱波浪形排列且粘膜褶高度自前向后逐渐降低,几丁质层较后半部薄,称之为喙囊;后半部褶皱锯齿形排列整齐,几丁质层粗大坚硬,棕黑色外缘带清晰可见,具有磨碎食物的作用。中国鲎与圆尾鲎前胃的粘膜层和粘膜下层共同突向管腔,形成粗大的褶皱,褶皱顶端成锥形或钟形,宽度差异较大(图 4-1、图 4-4)。几丁质层较厚,其中粘膜褶顶部的几丁质层最厚,外缘带尤为明显,亦可观察到部分粘膜上皮细胞深入几丁质层环绕形成的血腔隙(图 4-2、图 4-3)。上皮细胞为单层柱状细胞,几丁质层深入结缔组织成指状突起,上皮细胞紧密排列其上,细胞胞间界限不明显,细胞核椭圆形(图 4-5)。固有层与粘膜下层界



1. 中国鲎口道皱襞;2. 中国鲎口道粘膜肌层;3. 中国鲎口道粘膜下层;4. 圆尾鲎口道皱襞;5. 圆尾鲎口道粘膜肌层;6. 圆尾鲎口道粘膜下层

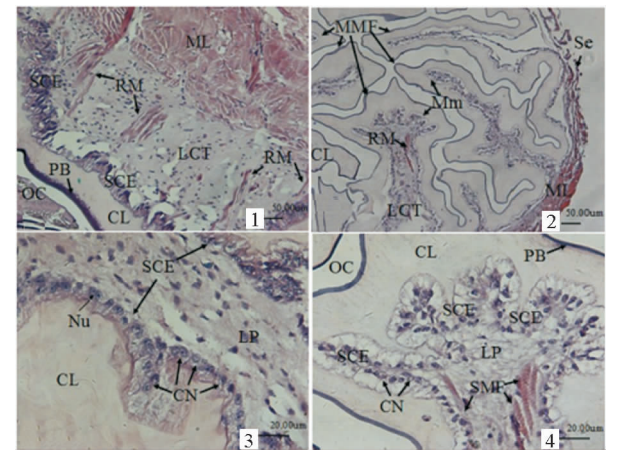
图 2 口道 HE 染色观察

1. *T. tridentatus* stomodeum plica;2. *T. tridentatus* stomodeum mucosal muscularis; 3. *T. tridentatus* stomodeum submucosa;4. *C. rotundicauda* stomodeum plica;5. *C. rotundicauda* stomodeum mucosal muscularis;6. *C. rotundicauda* stomodeum submucosa

Fig. 2 Stomatodeum structure observed by hematoxylin-eosin (HE) straining

Ac:脂肪细胞 Adipose cell;BM:基膜 Basement membranae;CD:几丁质突 Chitin process;CL:几丁质层 Chitin layer;CN:细胞核 Cell nucleus;LCT:疏松结缔组织 Loose connective tissue;ML:肌层 Muscle layer;Mm:粘膜层 Mucosal layer;Mv:微绒毛 Microvilli;PB:外缘带 Outer belt;Pc:游走细胞 Wandering cells;RM:放射肌 Radial muscles;SCE:单层柱状上皮 Simple columnar epithelium;SMF:横纹肌纤维 Striated muscle fibersAc;Sm:黏膜下层 Submucosa

限不明,均为疏松结缔组织,厚度则因粘膜褶高低而有不同,有未知游离细胞及椭圆形血窦(图 4-5、图 4-6)。肌层均以连续的横纹环肌为主,中国鲎环肌层间尚有少量结缔组织(图 4-1),圆尾鲎环肌层紧密排列(图 4-4)。外膜为浆膜,由疏松结缔组织和外表面的间皮构成。



1. 中国鲎食道结缔组织;2. 圆尾鲎食道;3. 中国鲎粘膜层 4. 圆尾鲎粘膜层

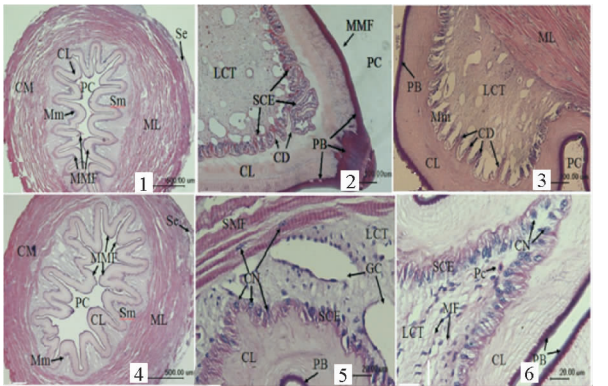
图 3 食道 HE 染色观察

1. *T. tridentatus* esophagus;2. *C. rotundicauda* esophagus;3. *T. tridentatus* mucosa;4. *C. rotundicauda* mucosa

Fig. 3 Esophagus structure observed after hematoxylin-eosin (HE) staining

CL:几丁质层 Chitin layer;CN:细胞核 Cell nucleus;LCT:疏松结缔组织 Loose connective tissue;LP:固有层 Lamina propria;ML:肌层 Muscle layer;Mm:粘膜层 Mucosal layer;MMF:黏膜皱褶 Mucosal folds;OC:食道腔 Esophageal cavity;PB:外缘带 Outer belt;RM:放射肌 Radial muscles;SCE:单层柱状上皮 Simple columnar epithelium;Se:浆膜层 Serosal layer;SMF:横纹肌纤维 Striated muscle fibers

鲎的幽门部为前肠和中肠的套叠部位,前端与前胃相连,末端开口伸入肠腔,幽门有延缓前胃内容物排空和防止肠内容物逆流至前胃的作用。鲎的幽门结构差异不大,幽门壁内壁几丁质层无明显外缘带、厚度不一,幽门壁外壁及肠腔上皮细胞表面则无几丁质层覆盖。内壁的粘膜层和粘膜下层共同突向腔面形成树状突起的大型皱襞,有多个次级突起,外壁则由纤毛柱状上皮细胞组成,近末端两侧外壁的纤毛柱状上皮同时折向粘膜下层形成两条细长突起,而留出形似开口的“门状结构”。内壁粘膜褶皱增多,一部分突向腔内形成树枝状皱襞,一部分突向肠腔,并沿着“门状结构”的弧形开口不规则紧密分布(图 5-1)。内壁单层柱状上皮为不规则矮柱状细胞,外壁及肠壁上皮细胞游离面有纤毛带(亦称纹状缘),基底面深红色均质基膜亦清晰可见(图 5-



1. 中国鲎前胃横切;2. 圆尾鲎前胃粘膜皱褶;3. 中国鲎前胃粘膜皱褶;4. 圆尾鲎前胃横切;5. 中国鲎前胃横切;6. 圆尾鲎前胃横切

图 4 前胃 HE 染色观察

1. *T. tridentatus* proventriculus crosscutting;2. *C. rotundicauda* proventriculus mucosal folds;3. *T. tridentatus* proventriculus mucosal folds;4. *C. rotundicauda* proventriculus crosscutting;5. *T. tridentatus* proventriculus crosscutting;6. *C. rotundicauda* proventriculus crosscutting

Fig. 4 Foregut structure observed after hematoxylin-eosin (HE) staining

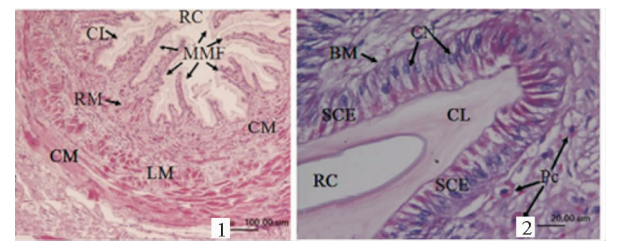
CD:几丁质突 Chitin process;CL:几丁质层 Chitin layer;CM:环肌 Circular muscle;LCT:疏松结缔组织 Loose connective tissue;MF:肌纤维 Muscle fiber;ML:肌层 Muscle layer;Mm:粘膜层 Mucosal layer;MMF:黏膜皱褶 Mucosal folds;PB:外缘带 Outer belt;PC:前胃腔 Proventriculus cavity;Pc:游走细胞 Wandering cells;Se:浆膜层 Serosal layer;Sm:黏膜下层 Submucosa;SCE:单层柱状上皮 Simple columnar epithelium

2)。幽门壁内壁固有层与粘膜下层的疏松结缔组织丰富且界线清晰,固有层高度随粘膜褶的高低而不同,内有细条纵肌分布,中间亦散布波浪形排列的环肌纤维。粘膜下层结缔组织中分散环肌与纵肌,纹肌粘膜肌层较薄且不连续,有血细胞与游走细胞分布(图 5-3)。幽门肌层为内环外纵,主要集中在幽门壁内壁与肠壁连接处,环肌呈条带状,不连续,纵肌在远肠处均匀分布;两端衔接处有放射肌自肠壁肌层向内壁粘膜上皮延伸分布,其间分布疏松结缔组织及游走细胞(图 5-4)。中国鲎幽门壁外壁及肠壁粘膜上皮细胞呈高柱状,胞核呈椭圆形或杆状,位于细胞中下部,细胞间隙较明显(图 5-5)。圆尾鲎幽门壁外壁粘膜上皮细胞为高柱状,肠壁上皮细胞形态不规则,且细胞间排列紧密间隙模糊,胞核卵圆形位于细胞基底部,染色质散在分布,胞质多呈空泡状(图 5-6)。

2. 4 中肠组织学观察

肝胰管为鲎的消化腺,由幽门下部、消化道的 1/4 处对称发出,左右各 2 条,前肝胰管距幽门的距离与后肝胰管间距大致相等。肝胰管自根部发出后

侧环肌与纵肌则较为粗大且分布集中,纵肌为圆形或椭圆形成束排列。外膜为浆膜,由间皮和间皮下薄层疏松结缔组织组成(图 8)。



1. 圆尾鲎直肠横切;2. 中国鲎直肠粘膜上皮细胞横切

图 8 直肠 HE 染色观察

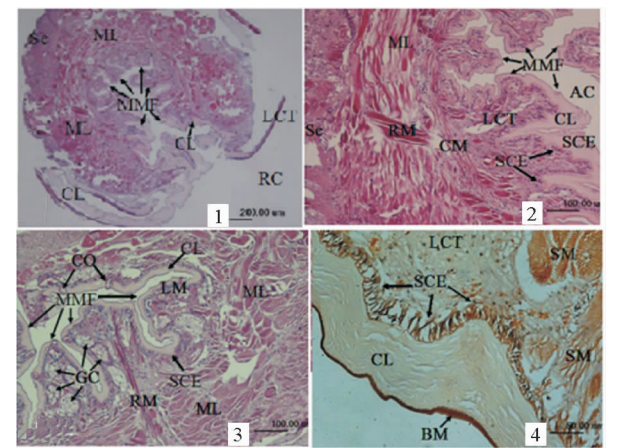
1. *C. rotundicauda* rectum crosscutting;2. *T. tridentatus* rectal mucosa epithelial cells crosscutting

Fig.8 Rectum structure observed after hematoxylin-eosin (HE) staining

CL,几丁质层 Chitin layer;CM,环肌 Circular muscle;LM,纵肌 Longitudinal muscle;RC,直肠肠腔 Rectal cavity;RM,放射肌 Radial muscles;SCE,单层柱状上皮 Simple columnar epithelium。

肛门为直肠末端,有几丁质层保护,纵褶延伸并膨胀紧缩于肛门开口处,似括约肌作用。肛门与直肠连接处,几丁质层较厚,且有明显的暗红色外缘带;粘膜层突向肠腔,并在一端折向两侧构成几丁质层包裹的形似开口的“门状结构”,外侧几丁质层十分平坦,固有层高度随粘膜褶高低而不同,粘膜肌层以环肌为主,并有放射肌分布(图 9-1)。肛门几丁质层表层形态各异,厚度较为均匀,有明显的外缘带且布满小刺,部分几丁质深入粘膜下层形成树枝状突起(图 9-2)。粘膜上皮由高低差异较大的矮柱状细胞组成,细胞核椭圆形,核仁明显,染色质为空泡状或淡红色,且基膜不明显(图 9-3)。固有层由疏松结缔组织组成,高度随着粘膜褶而有不同,其中有血隙及游走细胞散在分布,还有粗大的横纹肌束及放射肌(图 9-4)。此外,结缔组织中还观察到大量腺体,围成腺体的腺细胞呈椭圆形、锥形或柱状,胞核卵圆位于细胞中下部,胞质则呈泡沫状。粘膜下层亦为疏松结缔组织,散在分布椭圆形的纵肌纤维(图 9-2)。中国鲎肌层为内环外纵,中间夹杂有粗大的放射肌层。近腔侧的环肌为连续发达的横纹肌,远腔侧的纵肌也很发达,粗大的放射肌束由肌层发出深入粘膜上皮,近腔侧亦有成束的纵肌分布(图 9-2)。圆尾鲎粘膜肌层则为环肌层与纵肌层交替组成,另有粗大的放射肌分布其中,自近腔面至远腔面依次为:紧贴粘膜下层的是成束的椭圆形纵肌层、连续环肌层、纵肌层、环肌层、纵肌层,厚度差异明显,其间亦有结缔组织填充,还有放射肌和纵肌束

深入粘膜下层和固有层(图 9-4)。



1. 中国鲎肛门横切;2. 中国鲎肛门肌层横切;3. 圆尾鲎肛门横切;4. 圆尾鲎肛门粘膜上皮细胞

图 9 肛门 HE 染色观察

1. *T. tridentatus* anus crosscutting;2. *T. tridentatus* anus muscle layer crosscutting;3. *C. rotundicauda* anus crosscutting;4. *C. rotundicauda* anal mucosa epithelial cells

Fig.9 Anus structure observed after hematoxylin-eosin (HE) staining

AC:肛门腔 anal opening;CL:几丁质层 Chitin layer;CO:几丁质小洞 Chitin hole;GC:腺腔 Glandular cavity;LCT:疏松结缔组织 Loose connective tissue;ML:肌层 Muscle layer;MMF:黏膜皱褶 Mucosal folds;RC:直肠肠腔 Rectal cavity;RM:放射肌 Radial muscles;SCE:单层柱状上皮 Simple columnar epithelium;Se:浆膜层 Serosal layer;SM:横纹肌 Striated muscle

3 讨论

3.1 消化道的划分

动物的消化系统自原肠动物开始即已演化为完整的具有前肠、中肠和后肠的消化系统,胚胎发育时期外胚层内陷形成了前肠和后肠,内胚层则演化形成中肠(Lamsdell et al,2013)。有关鲎的消化道划分尚有争议(刘正琮等,1985;Gaines et al,2002;Hajeb,2005)。本文按照外部形态、内部解剖观察及功能研究,将中国鲎与圆尾鲎消化道划分为前肠、中肠和后肠。其中口道、食道、前胃、幽门属于前肠,直肠和肛门属于后肠,前、后肠内壁均有几丁质层包裹,说明其起源于外胚层(Hajeb,2005),而中肠内壁无几丁质覆盖,亦是其起源于内胚层(Hajeb,2005)的证据。这种划分方法与刘正琮等(1985)对中国鲎消化道、吕林兰等(2006)对圆尾鲎的划分均有不同,但与 Chatterji 等(1988)的划分及描述相符。

刘正琮等(1985)将中国鲎消化道划分为口、食道、胃、幽门、前肠、后肠和肛门等部分,并指出前肠

是幽门后狭长肠管中位于头胸甲的部分,后肠则是位于腹甲部的肠管,两者组织结构基本相似且内壁均无角质层(即几丁质层)。这与本研究中所描述的中肠结构相同,且两者除所在位置的不同无组织结构的显著差异;另外,基于对蜆消化道系统发育的体现,本研究认为将幽门后狭长肠管统一划分为中肠更为合适。

本研究对前肠的纵剖观察表明,前胃与 Elzinga (1988)所描述的嗦囊-砂囊结构相符合,前胃前半部经常处于收缩状态,纵剖可见褶皱波浪形排列且粘膜褶高度自前向后逐渐降低,后半部褶皱锯齿形排列整齐,几丁质层粗大坚硬、厚度为消化道之最。基于按照外部形态对消化道划分的直观性,统一将此结构称为前胃,而不做嗦囊-砂囊结构的分述。按照吕林兰等(2006)圆尾蜆消化道模式图,其所描述的嗦囊结构即是前胃。而作者对前胃后部深入肠腔又悬在其中的幽门结构的划分与刘正琮等(1985)、Spotswood 等(2007)的划分及描述相符,却并未在吕林兰等(2006)有关圆尾蜆的消化道研究中呈现,模式图中展示的砂囊结构与幽门相似,但内部解剖结构却又明显不同,故认为其有关圆尾蜆消化道的描述有失全面,划分欠妥。本研究表明中国蜆与圆尾蜆消化道外部形态及解剖形态基本相似,故将其消化道划分为前肠(口道、食道、前胃、幽门)、中肠和后肠(直肠、肛门)更为妥当。

3.2 消化道结构与功能相适应

蜆的自然饵料涵盖面极广且混杂。稳定同位素研究显示美洲蜆随着年龄和生长食物链不断升级(Elzinga, 1988),研究表明较小龄期的幼蜆主要依赖腐屑及粘附在基底质上的有机微粒,而后随着年龄的增长开始寻找多毛类及甲壳类食物,成蜆觅食更为明显,以更大的双壳类及腹足类猎物为食。虽然亚洲蜆并没有相似的同位素数据,但圆尾蜆、中国蜆幼蜆也喜欢昆虫幼虫、小型多毛类等较小的猎物(Zadeh et al, 2009)。通过对外部形态观察及形态测量、组织切片观察及形态指数的定量分析,证明中国蜆与圆尾蜆消化道形态组织结构与其杂食性是密切相关的。

口道位于头胸甲腹面,是指由螯肢、5对步足的基节及唇瓣组成的口器所包围的密布刚毛的部分。螯肢前面有一圆丘状突起的嗅感器,有嗅觉和光感受器的功能。螯肢则可自由伸展,用以捕捉蠕虫、薄壳的软体动物和其他猎物。其他5对附肢围绕于口周围,用于爬行及发掘底栖饵料,每个步足的基节内

侧均有长刺,用以剥离和撕碎食物并将其送入口中。结缔组织中有放射肌层的分布,使得口道可伸缩自如,同时几丁质层坚硬厚密,可保护口道初步磨碎吞食饵料而不受损伤。

食道短粗,内附几丁质层,保护食道不受坚硬食物损伤。粘膜褶皱发达,组织切片观察发现其厚度可达壁厚的 $3/5 \sim 4/5$ 且附有次级褶皱,食物与食道壁的接触面积不断增加,也使得食道能暂时容纳一定量的食物,作为食物进入前胃的缓冲。同时结缔组织及肌层中放射肌的分布更加强了食道迅速而强大的收缩能力,使食道能强有力地推进食物进入前胃。

前胃又称嗦囊-砂囊结构。前半部与嗦囊结构相似,纵剖可见14~16列粗大褶皱波浪形排列,使其可自由收缩扩充来储存食物。波浪形粘膜褶高度自前向后逐渐降低,至后半部褶皱高度均匀锯齿形排列整齐即为砂囊结构,其几丁质层粗大坚硬,外援带明显,同时横纹环肌连续发达,肌层厚度约为壁厚的 $1/2$,使其能迅速而有力的将食物磨碎为食糜,又不受食物外壳等伤害。结缔组织中分布的未知腺腔,可能具有分泌功能,起到食物润滑和消化功能。

幽门是前胃末端开口伸入肠腔的部分。组织切片观察发现其内壁粘膜上皮突起形成8~10个呈树状的大型皱襞,肌层内环外纵,排列紧密,使其能自由伸缩,延缓前胃内容物排空使不被消化的鱼骨或较大的壳类被回流至前胃进行再次消化,同时防止肠内容物逆流至前胃,内被几丁质层进行保护。外壁粘膜上皮细胞高大,游离面有纤细且排列紧密的微绒毛,可对内壁滤出的食糜团进行初步的消化和吸收。

中肠内壁无几丁质层,是消化吸收的主要场所。组织切片观察发现粘膜褶皱发达,厚度约为肠壁的 $1/3$,且数量多(32~35个),大大增加了肠道的吸收面积。黏膜上皮细胞高大,细胞游离面微绒毛发达,吸收面积进一步加大。在两对肝胰腺管开口于中肠前段 $1/6$ 至 $1/3$ 处,不断输送分泌物进入中肠进行消化,经前段消化后进一步的吸收,中肠长度约占消化道的 $3/5$,促使消化吸收更彻底。

直肠粘膜层突向肠腔,形成11~13个褶皱,加大与食物残渣的接触面积,使其能够对食物残渣中的水分和无机盐进行充分的回收利用,而达到调节血液的渗透压和离子平衡的作用(Gaines et al, 2002),同时褶皱的存在也使得肠腔较中肠狭窄,便于粪便的暂时储存。肌层均为横纹肌,连续的环肌

层与成束的纵肌层十分发达,放射肌亦粗大强健,使直肠可不断收缩促使食物残渣向肛门移动。

肛门几丁质层较厚,且有明显的暗红色外缘带并布满小刺,说明其不参与营养物质或水分的吸收但能有效地保护肛门不受粪便损害。组织切片观察发现粘膜层突向肠腔,形成 11 个高低不等的粘膜褶,固有层中有众多腺腔的分布,推测其分泌物有润滑粪便的作用。同时肛门肌层发达,肌层厚度为壁厚 1/2 以上,其间有放射肌的分布,且均为横纹肌,使肛门收缩功能强大,将粪便排出体外。

参考文献

- 廖永岩,刘金霞,2006. 亚洲海域鲎的种类和分布[J]. 热带海洋学报, 25(6): 85–90.
- 吕林兰,董学兴,2006. 圆尾鲎消化道形态及组织学观察[J]. 南方水产, 2(5): 12–18.
- 刘正琮,上官步敏,颜素芬,1985. 中国鲎消化道的形态组织学与组织化学的研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 24(2): 263–274.
- Chatterji A, Vijayakumar R, Parulekar A H,1988. Growth and morphometric characteristic in the horse-shoe crab, *Carcinoscorpius rotundicanda* (Latreille) from Canning (West Bengal), India[J]. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research, 31:352–353.
- Elzinga R J,1998. Microspines in the alimentary canal of arthropoda, onychophora, annelida[J]. International Journal of Insect Morphology and Embryology, 27(4): 341–349.
- Gaines E F, Carmichael R H, Grady S P, et al,2002. Stable isotopic evidence for changing nutritional sources of juvenile

- horseshoe crabs[J]. The Biological Bulletin, 203(2): 228–230.
- Hajeb P,2005. Reproductive Biology of Horseshoe Crab (*Carcinoscorpius Rotundicauda*) with Emphasis on Gonad and Gamete Morphology[D]. Kuala Lumpur :Universiti Putra Malaysia.
- Kamaruzzaman B Y, John B A, Megat M H, et al, 2011. Bioaccumulation of Heavy Metals in Horseshoe Crabs (*Tachypleus gigas*) from Pekan, Pahang, Malaysia[J]. Research Journal of Environmental Toxicology, 5(3): 222–228.
- Lamsdell J C, Xue J, Selden P A., 2013. A horseshoe crab (Arthropoda: Chelicerata: Xiphosura) from the Lower Devonian (Lochkovian) of Yunnan, China[J]. Geological Magazine, 1(1): 1–4.
- Shin P K S, Li H Y, Cheung S G,2009. Horseshoe crabs in Hong Kong: current population status and human exploitation[M]//JT Tanacredi, ML Botton, DR Smi. Biology and conservation of horseshoe crabs. Springer US:347–360.
- Spotswood T, Smith S A,2007. Cardiovascular and gastrointestinal radiographic contrast studies in the horseshoe crab (*Limulus polyphemus*)[J]. Veterinary Radiology & Ultrasound, 48(1): 14–20.
- Zadeh S S, Christianus A, Saad C R, et al,2009. Comparisons in prosomal width and body weight among early instar stages of Malaysian horseshoe crabs, *Carcinoscorpius rotundicauda* and *Tachypleus gigas* in the laboratory[M]// JT Tanacredi, ML Botton, DR Smi. Biology and Conservation of Horseshoe Crabs. Springer US:267–274.

(责任编辑 张俊友)

Morphological and Histological Observations on the Digestive Tract of *Carcinoscorpius rotundicauda* and *Tachypleus tridentatus*

CHEN Xiu-li¹, ZHU Wei-lin², YANG Chun-ling¹, LUO Bang¹, LI Qiong-zhen¹, PENG Jin-xia¹,
PENG Min¹, Wei Pin-yuan¹, JIANG Wei-ming¹, LI Yong-mei¹

(1. The Key Laboratory of Aquatic Genetic Breeding and Health Cultivation of Guangxi,

Guangxi Institute of Fisheries, Nanning 530021, P. R. China;

2. College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530005, P. R. China)

Abstract: Morphological and histological studies are important for exploring and understanding the ingestion, digestion and absorption mechanisms of animals. The way that Chinese scientists segment the digestive tract of horseshoe crabs differs from the segmentation developed by scientists outside of China. In this study, the morphological and histological characteristics of the digestive tracts of *Carcinoscorpius rotundicauda* and *Tachypleus tridentatus* from the northern gulf of Guangxi Province were investigated using anatomical methods, paraffin tissue sections and optical microscopy. The differences in the digestive tract structure of *C. rotundicauda* and *T. tridentatus* were determined and the segmentation of the digestive tract of the two species was completed based on our results and previous research by other scientists. The study extends research in developmental biology and provides information for breeding healthy horseshoe crabs. Ten and fourteen-year old *C. rotundicauda* (carapace width 46.78 – 52.42 mm) and *T. tridentatus* (carapace width 46.09 – 55.44 mm) were collected from the sea near Guangxi Hepu town, with five individuals in each of the four groups. The digestive tracts removed and weighed and morphological parameters were measured, including lengths of the entire digestive tract, stomodaeum, esophagus, proventriculus, pylorus, midgut and hepatopancreatica, width of the anus and distance from hepatopancreatica to pylorus. The morphological and histological characteristics of the digestive tracts of *C. rotundicauda* and *T. tridentatus* were similar. The digestive tract can be divided into foregut (cavum buccale, esophagus, proventriculus, and pylorus), midgut and hindgut (rectum and anus). The foregut, midgut and hindgut are composed of chitin layers, mucosa, submucosa, muscular layer and adventitia, but the midgut does not contain chitin. The total and midgut lengths of the digestive tract were significantly different between the two species, but no significant differences were found in the lengths of other parts of the digestive tract. There were significant differences in all parameters measured between the two age groups of the same species. These results indicate that the morphological and histological structures of the digestive tract are adapted to omnivorous feeding.

Key words: *Carcinoscorpius rotundicauda*; *Tachypleus tridentatus*; digestive tract; morphology; histology