

## 疣吻沙蚕组织切片的观察研究

马定昌<sup>1</sup>, 叶柳荷<sup>1</sup>, 许爱娱<sup>2</sup>, 潘 淦<sup>1,2</sup>, 龙 程<sup>1</sup>

(1. 华南师范大学生命科学学院, 广东 广州 510631; 2. 金洋水产养殖有限公司, 广东 广州 511447)

**摘要:** 文章系统研究了疣吻沙蚕(*Tylorrhynchus heterochaetus*)的组织结构。组织学切片染色发现, 疣吻沙蚕的体壁肌肉发达, 有环肌及纵肌之分, 并且头部体壁有丰富的粘液腺和感觉细胞, 前者包括梨状腺与管状腺, 能分泌黏液, 湿润虫体, 后者可帮助头部判断方向; 疣足有丰富的毛细血管分布并着生刚毛; 消化道中咽肌发达, 食道短, 胃不明显, 分前后肠, 前肠厚且多褶皱, 利于碾磨食物, 后肠薄且富含腺体, 是消化吸收的主要场所; 循环系统为典型的闭管式循环系统, 由背腹大血管、节环血管和血管球构成; 神经系统为链式神经系统, 主要有背侧的1对咽上神经节及腹侧的腹神经链。

**关键词:** 疣吻沙蚕; 组织结构; HE染色

中图分类号: Q 174

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2014)04-0058-06

## A histological study of *Tylorrhynchus heterochaetus*

MA Dingchang<sup>1</sup>, YE Liuhe<sup>1</sup>, XU Aiyu<sup>2</sup>, PAN Gan<sup>1,2</sup>, LONG Cheng<sup>1</sup>

(1. School of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China;

2. Jin Yang Aquaculture Co. Ltd., Guangzhou 511447, China)

**Abstract:** The histological structure of *Tylorrhynchus heterochaetus* was systematically observed. According to histological staining, there were strong muscles (circular muscles and longitudinal muscles) in the body wall of *T. heterochaetus*. The head's epiderm contained many mucous glands (pyriform gland and tubuliform gland) and sensory cells, whose function was to excrete mucus and to help head judge direction. There was a parapodia on each metamere of the worm, inserted with several setae and surrounded by abundant capillaries. The pharyngeal muscle in the pharynx of digestive tract was strong, with a short esophagus and an obscure stomach. The intestinal tract was divided into two parts (foregut and hindgut): the foregut was thicker than the hindgut and consisted of much elevation, which was suitable for milling food, while the hindgut was much thinner but had abundant glands clustered in its inner surface, being important for digesting food and absorbing nutrition. The circulatory system was a typical closed vascular one, containing a big dorsal vessel, a big ventral vessel, a vascular sinus and some small protovertebral vessels. The nervous system consisted of a pair of suprapharyngeal ganglions and a ventral nerve cord.

**Key words:** *Tylorrhynchus heterochaetus*; histological structure; HE staining

疣吻沙蚕(*Tylorrhynchus heterochaetus*)俗称“禾虫”, 属环节动物门、多毛纲、游走目、沙蚕科、疣吻沙蚕属, 生长于暖温带和亚热带沿海咸、淡水

交界地区, 在中国广东、浙江、福建、上海和南京等省市有分布<sup>[1]</sup>。疣吻沙蚕体型细长稍扁, 长短不一, 长40~80 mm, 宽约4~10 mm, 体节约64

收稿日期: 2014-01-15; 修回日期: 2014-03-11

资助项目: 广东省大学生创新性实验计划项目(1057411030); 广东省教育厅高等学校人才引进专项资金项目(C10207)

作者简介: 马定昌(1992-), 男, 本科生, 从事动物组织学研究。E-mail: 13570440624@163.com

通信作者: 龙 程(1964-), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 从事动物生理学研究。E-mail: longcheng@scnu.edu.cn

潘 淦(1966-), 男, 副教授, 从事水产养殖研究。E-mail: pg2829@sina.com

个, 雌雄体色不一, 雄虫为红色, 雌虫常为青绿色。关于沙蚕科的研究多集中于繁殖习性、生态习性、生化组成、基因<sup>[2]</sup>、养殖开发<sup>[3-4]</sup>以及沙蚕毒素方面<sup>[5-6]</sup>, 但有关组织结构上的观察不多, 目前仅见于疣吻沙蚕同科双齿围沙蚕(*Nereis succinea*)的相关报道<sup>[7]</sup>。国内外对于疣吻沙蚕的研究甚少, 国外研究的兴趣多集中于对疣吻沙蚕的血红蛋白结构及氨基酸序列的研究<sup>[8-9]</sup>, 中国仅有吴玉刚等<sup>[10]</sup>研究发现疣吻沙蚕的蛋白质和脂肪含量高、氨基酸种类齐全且含量丰富, 具有很高的营养价值, 在人工养殖上具有广阔的前景<sup>[11]</sup>。中国不少地方一直有食用及护养“禾虫”的传统, 但由于最近几年水环境的污染, 导致“禾虫”量少价高, 供不应求, 引来当地农民争相养殖<sup>[12]</sup>。由于对疣吻沙蚕食性及生理结构等方面的研究较少, 人工养殖技术一直未能突破, 养殖效果欠佳。文章通过解剖以及大量的组织切片观察, 较为系统地从器官水平及系统水平分析了疣吻沙蚕的结构特点, 以为疣吻沙蚕的组织学研究及人工养殖提供参考依据。

## 1 材料与方法

试验开始于2011年5月, 完成于2013年9月。每年的3月、4月及8月、9月到广东省中山市神湾镇采集或广州市清河市场购买试验所需疣吻沙蚕。不计个体大小、体色和性别(红色雄虫、青绿色雌虫), 选取成熟健康个体进行固定备用。根据杨威等<sup>[13]</sup>的方法改进, 每次试验取3条体型大小相近的疣吻沙蚕, 经30%酒精麻醉后放入Bouin's固定液中, 再通过梯度酒精脱水(70%酒精1 h、80%酒精45 min、95%酒精30 min、100%酒精20 min×2、50%二甲苯酒精20 min)、二甲苯透明(20 min×2)、石蜡渗透(1 h×3)以及石蜡包埋等步骤, 待蜡块凝固后进行矢状切、冠状切以及水平切, 切片厚度8 μm, 切片经HE染色, 拍照并记录结果。

## 2 结果

### 2.1 体壁

疣吻沙蚕的体壁是典型的皮肌囊的结构, 由外到内分3层: 角质层、表皮层和肌肉层。

2.1.1 角质层 角质层很薄, 呈透明状, 覆盖在沙蚕体表, 头部较明显, 躯干部则较难观察到; 在某些虫体部位发现有新生的角质层及表皮(图版

I-a)。

2.1.2 表皮层 表皮层主要有2种类型: 1)头部的表皮层, 主要以腺细胞及感觉细胞为主, 腺细胞又分2种, 一种呈梨形, HE染色下呈深蓝色, 为体积较大的梨状腺, 胞体通过导管通向体表; 另一种呈细长形, 胞体在导管的中央, 为体积较小的管状腺; 感觉细胞则散布在上皮细胞之间(图版I-c)。2)躯干部的表皮层, 其腺细胞较少, 主要由单层柱状上皮细胞构成。

2.1.3 肌肉层 疣吻沙蚕头部的肌肉复杂多样, 躯干部的肌肉则较为整齐统一, 每一体节的肌肉基本一致, 主要有3种: 环肌、纵肌以及斜肌。背腹侧肌肉有所不同, 背侧有紧贴表皮的一层不连续的环肌, 往下则是一束明显的、贯穿全身的纵肌; 而腹侧的则是很明显的2束纵肌, 贯穿全身; 背腹两侧的肌肉都成对存在, 以身体中线对称。此外, 每一体节靠近腹侧的位置还有1对斜肌, 起于腹侧中线表皮凹陷处, 在疣足处间断(图版I-b、c、d)。

### 2.2 疣足

疣足是每个体节体壁向两侧垂直伸出的肉质扁平叶, 其内空腔与沙蚕体腔连通。疣足壁的结构与躯干部体壁的一样, 肌肉类型则主要是环绕疣足的纵肌。在生殖季节, 疣足空腔内有生殖细胞。卵子体积大, 核明显, HE染色呈紫红色, 胞质呈粉红色; 精子体积小, 数量巨大, 呈紫黑色。疣足体表还着生刚毛数条, 其最大特征是有丰富的毛细血管环绕(图版I-e)。

### 2.3 消化系统

疣吻沙蚕的消化道主要包括口、咽、食道、胃、前肠、后肠、肛门。口咽部发达, 食道很短, 胃-肠管的管壁主要分为肌层及黏膜层, 外膜层及黏膜下层不明显。

2.3.1 口腔 口腔结构主要有舌、缘状突起, 细胞结构主要有角质层、黏膜层、黏液下层以及肌层构成。疣吻沙蚕口腔的角质膜及绒毛发达, 黏液下层嗜碱性粘液细胞丰富, 肌层则在外周包裹着(图版I-f)。

2.3.2 咽 咽是一个特异膨大的肌肉质结构, 成囊状, 体积相对庞大, 富含肌肉, 有3个腔, 中间为主咽腔, 旁侧2个腔为次咽腔, 通向消化盲囊, 3个腔都最终通向同一条肠道(图版I-g)。结构上主要分2层, 一是角质层, 二是肌层。角质层位于咽的内表面, 接触食物, HE染色下呈特殊

的黄色透明状；肌层占据了咽的大部分体积，主要有3种肌肉，外层的为包裹咽的环肌，向里有环行肌与纵行肌相间(图版I-h)。

**2.3.3 肠道及肛门** 肠道主要有胃、前肠、后肠和肛门。胃是前肠前端膨大的部分，其结构与前肠无异；前肠的褶皱与肌肉较为丰富，壁较厚，解剖镜下呈棕褐色，肠壁主要有2层，外层为肌层，内层为黏液层，主要是形状不规则的单层柱状上皮，纹状缘明显，内富含黏液细胞(图版I-i、k)；相比之下，后肠则少有褶皱，壁薄，解剖镜下呈墨绿色，由排列紧密的腺体构成(图版I-j、l)，后肠较前肠短，两者长度比约为3:1；肛门则是后肠膨大的末端，其结构与后肠相同。

## 2.4 循环系统

疣吻沙蚕的循环系统较为简单，属典型的闭管式循环系统，由背大血管、腹大血管、节小血管、血管球以及疣足的毛细血管网等构成。背大血管上方紧贴背侧体壁，下方在后肠段紧贴后肠，腹大血管则紧贴腹侧体壁，两者贯穿全身(图版I-n)；节小血管则位于每一节的中央，为环血管，连通背腹侧2大血管；腹侧大血管在约15节处形成一个异常膨大的血管窦，并发出辐射状的多条辐散性小血管，最后这些小血管收拢并接在背侧大血管上，所形成的一个网状血管球，即疣吻沙蚕的“心脏”(图版I-m)。

## 2.5 神经系统

疣吻沙蚕的神经系统主要包括2大部分：由两叶咽上神经节构成的“脑”(图版I-p、q)以及贯穿全身的腹下神经索。脑又分两叶，其细胞结构主要有3层，最上一层为神经胞体层，神经元胞体体积大，HE染为深蓝色，多个神经元胞体发出轴突聚成大的神经纤维束，构成中间的神经纤维层；最下一层为胶质细胞层，神经胞体层也夹杂着胶质细胞(图版I-o)；腹下神经索的神经元胞体聚集在外周，并发出神经纤维组成中央束状的神经纤维层，胶质细胞也同样是夹杂在神经元胞体间(图版I-r)。

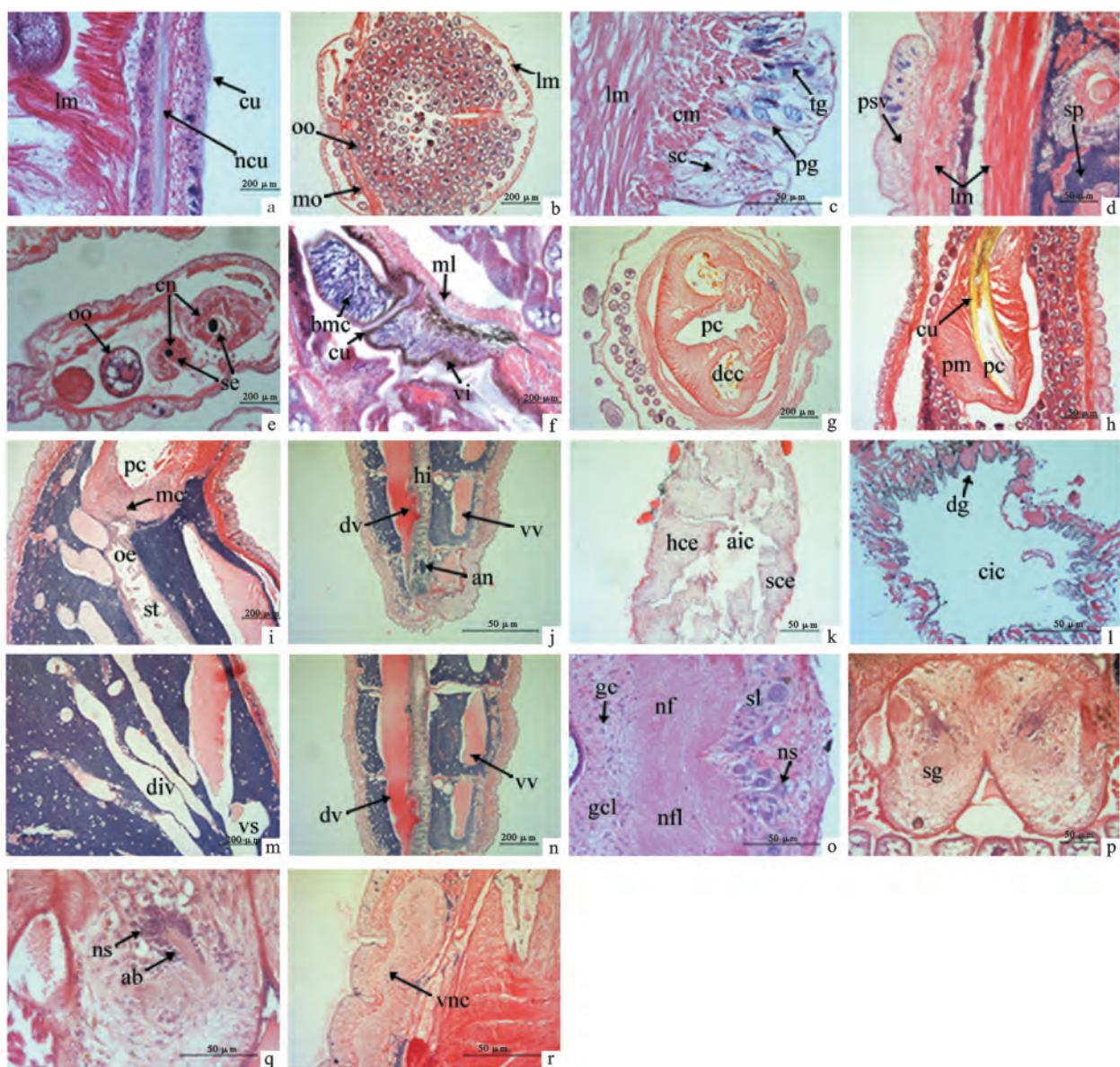
## 3 讨论

疣吻沙蚕的体壁很薄、易破，尤其在生殖态，沙蚕体腔内充满生殖细胞的浆液，极难解剖。体壁的分层与双齿围沙蚕<sup>[7]</sup>和环毛蚓(*Pheretima tschilensis*)<sup>[1]</sup>相似，但壁体腔膜不明显或没有。角质层

薄，由表皮细胞分泌而成，具有保护身体及防止水分丧失的功能<sup>[14]</sup>。笔者观察发现，角质层和表皮可再生，表明沙蚕有蜕皮的习性；头部的角质层要比躯干部的角质层要丰富，这与沙蚕头部经常进行钻挖泥土、构筑洞穴的习性相适应；此外，头部的黏液腺与感觉细胞也比躯干部发达得多。梨状腺与管状腺可向外分泌黏液湿润泥土及身体，有助于头部的钻挖活动；而感觉细胞则帮助头部感知并判断周围环境<sup>[14]</sup>。头部的肌肉复杂多样，利于头部做各种动作以进行爬行及摄食；躯干部的肌肉则统一整齐。环肌的收缩可使虫体做横向收缩，躯体变细变长；纵肌收缩可使虫体做纵向收缩，躯体变粗变短<sup>[15]</sup>，纵肌与环肌的协同运作可使虫体向前运动；而斜肌的收缩与舒张则可帮助虫体在左右方向运动，且每一节斜肌的协同作用可使虫体发生弯曲，增加虫体的灵活性<sup>[7]</sup>。疣吻沙蚕的肌肉系统与双齿围沙蚕的肌肉系统有所不同，后者体壁的纵肌有4束，背、腹各2束<sup>[7]</sup>，而疣吻沙蚕体壁的纵肌只有3束，背侧1束，外侧紧贴一层环肌，腹侧2束。这种特点与疣吻沙蚕腹侧扁平，主要做纵向的伸缩及附着泥土，而背侧及身体两侧除了纵向的收缩外，还要做横向收缩的运动特点相关。

疣吻沙蚕每一节都有1对向左右垂直生长的疣足，扁平肉质，有触觉和运动功能，这一点与双齿围沙蚕一致<sup>[7]</sup>。疣足最大的特点就是毛细血管网丰富及着生刚毛，毛细血管网围绕刚毛可为其摆动提供充足的能量供应；刚毛由刚毛囊底部一较大的毛原细胞所分泌的几丁质构成<sup>[10]</sup>，在生殖交配时有一定的作用<sup>[11]</sup>。疣足以及刚毛是疣吻沙蚕及多数海产种类的运动器官，其他的环节动物没有疣足，仅有刚毛<sup>[16]</sup>。在生殖季节期间，疣足腔内有生殖细胞，丰富的毛细血管网可为其提供营养。此外，在毛细血管网进行气体交换是沙蚕呼吸的重要途径之一<sup>[7]</sup>。

消化系统的最大特点是咽部特别发达，咽以及外周肌肉为取食特化，胃进化不完善，前后肠差异明显。咽部是富含肌肉的囊状膨大体，内表面是坚硬的角质层，用以磨碎食物，外部环行肌和纵行肌发达，交错分布，形成肌肉鞘包围口咽部，类似于双齿围沙蚕<sup>[7]</sup>以及宽体金钱蛭<sup>[17]</sup>；肌肉鞘使咽腔可做不同幅度与不同方向的收缩，帮助沙蚕更好地摄食及磨碎食物，咽腔两侧的盲囊可暂时储存食物。咽后为很短的食道，有研究报道，沙蚕食道附



图版 I 疣吻沙蚕的组织结构

a ~ d. 体壁结构; a. 躯干部表皮矢状切面( $\times 40$ ); b. 躯干部冠状切面( $\times 5$ ); c. 头部背侧表皮矢状切面( $\times 40$ ); d. 躯干部腹侧表皮矢状切面( $\times 20$ ); e. 疣足结构(冠状切面 $\times 20$ ); f. 口腔部矢状切面( $\times 20$ ); g. 咽冠状切面( $\times 5$ ); h. 咽矢状切面( $\times 5$ ); i. 前肠矢状切面( $\times 5$ ); j. 尾部矢状切面( $\times 5$ ); k. 前肠冠状切面( $\times 20$ ); l. 后肠冠状切面( $\times 40$ ); m. 血管球矢状切面( $\times 5$ ); n. 躯干部矢状切面( $\times 20$ ); o. 神经节局部放大( $\times 40$ ); p. 双叶神经节冠状切面( $\times 20$ ); q. 单叶神经节局部放大( $\times 40$ ); r. 腹侧神经索矢状切面( $\times 10$ ); cu. 角质层; ncu. 新角质层; oo. 卵细胞; se. 刚毛; f ~ l. 消化道结构; bmc. 碱性黏液细胞; ml. 肌层; cu. 角质层; vi. 绒毛; pc. 咽腔; dce. 消化盲囊腔; pm. 咽肌; oe. 食道; st. 胃; hi. 后肠; an. 肛门; dv. 背血管; vv. 腹血管; hce. 高柱状上皮; sce. 矮柱状上皮; aic. 前肠腔; dg. 消化腺; cic. 后肠腔; m ~ n. 循环系统; div. 辐散性血管; vs. 血管窦; dv. 背血管; vv. 腹血管; o ~ r. 神经系统; gcl. 胶质细胞层; nfl. 神经纤维层; sl. 胞体层; gc. 胶质细胞; nf. 神经纤维; ns. 神经元胞体; sg. 咽上神经节; ab. 轴突束; vnc. 腹神经索

Plate I Histological structure of *T. heterochaetus*

a ~ d. somatic structure; a. sagittal section of epiderm; b. coronal section of trunk; c. sagittal section of dorsal epiderm; d. sagittal section of ventral epidermis; e. parapodial structure (coronal section); f. sagittal section of oral cavity; g. coronal section of pharynx; h. sagittal section of pharynx; i. sagittal section of foregut; j. sagittal section of tail; k. coronal section of foregut; l. coronal section of hindgut; m. sagittal section of glomus; n. sagittal section of trunk; o. magnification of ganglion; p. coronal section of double ganglion; q. magnification of single ganglion; r. sagittal section of ventral nerve chain; cu. cuticle; ncu. new cuticle; oo. ootid; mo. musculus obliquus; m: longitudinal muscle; cm. circular muscle; tg. tubular gland; pg. pyriform gland; sc. sensory cell; psv. protovertebral small vessel; sp. sperm; cn. capillary network; oo. ootid; se. seta; f ~ l. structure of alimentary tract; bmc. basophilic mucous cell; ml. muscle layer; cu. cuticle; vi. villus; pc. pharynx cavity; dce. digestive caecum cavity; pm. pharynx muscle; oe. oesophagus; st. stomach; hi. hindgut; an. anus; dv. dorsal vessel; vv. ventral vessel; hce. high columnar epithelia; sce. short columnar epithelium; aic. anterior intestine cavity; dg. digestive gland; cic. caudal intestine cavity; m ~ n. structure of circulating system; div. divergent vessel; vs. vascular sinus; dv. dorsal vessel; vv. ventral vessel; o ~ r. structure of nervous system; gcl. glial cell layer; nfl. neural fiber layer; sl. soma layer; gc. glial cell; nf. neural fiber; ns. neural soma; sg. suprapharyngeal ganglion; ab. axon bundle; vnc. ventral nerve chain

近有1对大而不分支的食道腺,能分泌消化液入食道<sup>[16]</sup>。环毛蚓(*Pheretima tschiliensis*)等陆生种类的食道腺能分泌钙质,中和食物中的腐殖质酸,以保持体内酸碱平衡,这与蚯蚓以腐殖质为主要食物相关<sup>[14]</sup>。由此可见,食道腺功能上的差异及分化与动物的食性密切相关。食道后紧接着胃——实际上是前肠膨大的部分,食道、胃与前肠的结构无明显差异,且都富含黏液细胞,这些细胞可分泌黏液(其中可能有消化酶)润滑食物,并帮助前肠碾磨食物。不同的黏液细胞所分泌的黏液物质功能不同,中性黏液物质与吸收有关,而酸性黏液物质则与分泌有关<sup>[18]</sup>。与双齿围沙蚕直管式的胃-肠不同,疣吻沙蚕的肠道分为结构形态明显不同的2段,前肠壁厚,肌肉较为发达,短且弯曲,主要起摄取、软化和磨碎食物的功能;后肠壁薄,只有一层肠壁肌,蠕动能力较弱,类似于多毛纲岩虫(*Marphysa sanguinea*)<sup>[19]</sup>、环毛蚓<sup>[20]</sup>以及太平洋革囊星虫(*Phascolosoma pacificum*)<sup>[21]</sup>,主司消化吸收及营养功能;后肠长且直,贯穿大部分虫体,肠内壁有丰富的腺体结构,分泌消化液,辅助消化食物。肠外壁紧贴背侧大血管,周围有丰富的毛细血管网围绕,利于营养物质吸收进入血管;而前肠则位于虫体中央,与血管联系不紧密。与环毛蚓<sup>[20]</sup>、宽体金钱蛭(*Whitmania pigra*)<sup>[17]</sup>、太平洋革囊星虫<sup>[21]</sup>等相比,疣吻沙蚕的肠壁外膜层及黏膜下层不明显,黏膜下层具有与双齿围沙蚕<sup>[7]</sup>及岩虫相似的特点,提示这几种动物的消化功能较为低下。疣吻沙蚕的后肠末端膨大并开口于虫体尾部,形成结构简单的肛门。总之,相对于寡毛类动物环毛蚓及蛭类动物宽体金钱蛭等,沙蚕类动物的消化系统结构较为简单,功能不完善,这也符合环节动物门内不同纲之间进化程度高低的关系。

循环系统属于闭管式循环系统,纵行的背血管、腹血管以及各体节的环行小血管构成了躯体大部分的血管网系统。背血管中的血液由后向前流,经环血管入腹血管,其血液自前向后流动<sup>[16]</sup>。躯体前端约15节处的网状血管球是沙蚕的“心脏”,起泵血的功能,这里的血管壁厚,收缩力强,类似于蚯蚓的“动脉弧”——位于蚯蚓10节左右的4对相对平行的环血管<sup>[14]</sup>。疣吻沙蚕的血管系统与蚯蚓的相似,但是前者没有两侧的侧血管及腹血管下方的神经下血管,关于沙蚕血液循环的特点有待研究。笔者在解剖疣吻沙蚕时观察到,经过血管球后

背腹血管中血液颜色由鲜红色变为淡绿色,推测可能与血液的气体交换有关,但具体机制有待研究。

环节动物的神经系统属于典型的链状神经系统,其神经中枢是位于身体前端、咽背面的脑。脑由两叶咽上神经节构成,并发出神经到头部各感觉器官。脑与1对围咽神经和1对咽下神经节相连,此后即与腹神经索相连,并贯穿全身,成为腹神经链<sup>[14,22]</sup>。大多数环节动物的腹神经索中都存在一种直径较大的巨纤维(或称巨轴突),其功能是参与动物的逃避反应<sup>[16]</sup>。笔者观察发现,疣吻沙蚕脑有2叶,结构上明显分为3层,上层是神经元胞体聚集的地方,神经元很大,胞体明显,为胞体层;神经元胞体以区域式地集聚成多个神经元群体,并发出神经纤维形成大的神经纤维束,所有的神经纤维集中分布在中层,形成神经纤维层;下层主要分布着胶质细胞,当然,其他区域也夹杂着胶质细胞。这种分层特点与王晓安和郑哲民<sup>[22]</sup>报道的环毛蚓的神经系统相似,即咽上神经节的中央部位神经胞体较大,两侧各有一团小的神经元,其中大神经元胞体直径约为10~39 μm,小神经元胞体直径约为4~5 μm。沙蚕脑这种分层分区的结构特点,极有可能预示着脑区域之间的分工合作。BASKIN<sup>[23]</sup>提出胶质细胞层分2层:1)环绕中间神经纤维网的内层,由胶质细胞紧密堆积的突起及其胞突构成,突起还会渗透并分叉于神经纤维网;2)主要的胶质细胞层,包围在神经元胞体的周围,起支持及营养作用,在电镜下还能观察到夹杂着糖原粒、粒细胞、桥粒等结构。胶质细胞伸出的纤维状突起掺杂在神经成分中,把它们联结在一起,并把神经节固定在表皮上<sup>[24]</sup>。

#### 4 结语

疣吻沙蚕有重要的经济价值,研究其组织结构将有助于全面了解该物种。文章系统描述了疣吻沙蚕各个系统的组织结构,并讨论了结构与功能的关系,但有关结构与习性、食性、生理的关系以及指导人工养殖等研究仍有待于进一步开展。

致谢:林秋鹏同学帮助照片排版,谨此致谢!

#### 参考文献:

- [1] 孙瑞平,杨德渐.中国动物志:无脊椎动物 环节动物门 多毛纲(二)(第33卷)[M].北京:科学出版社,2002: 10~22.

- [2] 蒋霞敏, 柳敏海. 沙蚕科的研究进展[J]. 海洋科学, 2008, 32(4): 82-85.
- [3] 顾晓英, 郑忠明, 蒋霞敏, 等. 沙蚕养殖技术[J]. 中国水产科学, 2002(7): 64-65.
- [4] 时冬晴, 叶建生. 沙蚕的养殖方式及其应用开发现状[J]. 河北渔业, 2006(10): 44-46.
- [5] 于观平, 王刚, 王素华, 等. 沙蚕毒素类杀虫剂研究进展[J]. 农药学学报, 2011, 13(2): 103-109.
- [6] 黄浩刚. 沙蚕毒素检测方法的建立及初步应用[D]. 长春: 吉林大学, 2005: 18-42.
- [7] 宋贞坪, 李霞, 王福景, 等. 双齿围沙蚕主要器官组织学的研究[J]. 大连海洋大学学报, 2010, 25(4): 320-323.
- [8] GREEN B N, SUZUKI T, GOTOH T, et al. Electrospray ionization mass spectrometric determination of the complete polypeptide chain composition of *Tylorrhynchus heterochaetus* hemoglobin[J]. J Biol Chem, 1995, 270(31): 18209-18211.
- [9] SUZUKI T, GOTOH T. The complete amino acid sequence of giant multisubunit hemoglobin from the polychaete *Tylorrhynchus heterochaetus*[J]. J Biol Chem, 1986, 261(20): 9257-9267.
- [10] 吴玉刚, 庞存枫, 温山鸿, 等. 疣吻沙蚕营养成分分析与评价[J]. 水利渔业, 2006, 26(3): 86-88.
- [11] 宋月林, 王伟洪. 沙蚕养殖前景研究[J]. 河北渔业, 2012(3): 51-54.
- [12] 李奕雯, 陈石娟. 中山·神湾禾虫[J]. 海洋与渔业, 2012(11): 16.
- [13] 杨威, 陈康, 李活, 等. 以江蓠为栖息环境养殖的双齿围沙蚕性腺发育[J]. 广东海洋大学学报, 2012, 32(1): 17-23.
- [14] 姜乃澄, 丁平. 动物学[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2007: 139-158.
- [15] 张子惠. 动物的肌肉[J]. 生物学通报, 2004, 39(8): 20.
- [16] 刘凌云, 郑美光. 普通动物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997: 182-187.
- [17] 陈立婧, 王熙宇, 臧德法. 宽体金线蛭消化道的组织学观察[J]. 生物学杂志, 2010, 27(6): 25-28.
- [18] GRAU A, CRESPO S, SARASQURTR M C, et al. The digestive tract of the amberjack *Seriola dumerilli*, Risso: a light and scanning electron micro-scope study[J]. J Fish Biol, 1992, 41(2): 287-303.
- [19] 毛昕, 朱丽岩, 郑家声. 岩虫消化管组织学、组织化学和超微结构的初步研究[J]. 中国海洋大学学报, 2007, 37(6): 961-967.
- [20] 谭竹钧, 韩雅莉, 张福仁. 直隶环毛蚓消化道扫描电镜观察[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 1994, 25(5): 540-545.
- [21] 邓中日, 黄勃, 方再光, 等. 太平洋革囊星虫消化道解剖学观察[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(1): 65-70.
- [22] 王晓安, 郑哲民. 无脊椎动物神经系统比较解剖学研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2003: 65-73.
- [23] BASKIN D G. The fine structure of neuroglia in the central nervous system of *Nereid polychaetes*[J]. Z Zellforsch Mikrosk Anat, 1971, 119(3): 295-308.
- [24] BASKIN D G. Fine structure, functional organization and supportive role of neuroglia in *Nereis*[J]. Tissue Cell, 1971, 3(4): 579-587.