

文章编号: 1004 - 7271(2007)05 - 0421 - 05

## 锯缘青蟹雄性腹肢的结构和功能

何文辉<sup>1</sup>, 管卫兵<sup>2,3</sup>, 王桂忠<sup>3</sup>, 李少菁<sup>3</sup>

(1. 上海水产大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 200090;

2. 上海水产大学海洋学院, 上海 200090;

3. 厦门大学海洋学系近海海洋环境科学国家重点实验室, 福建 厦门 361005)

**摘要:**于2000年6月至2002年10月,采用扫描电镜方法对锯缘青蟹(*Scylla serrata*)雄性附肢结构进行观察。结果表明,青蟹雄体输精管在第八胸节通向一个短的肌肉质的阴茎开口。第一腹肢由一个基部原肢和一个延长的内肢组成,表皮环包,形成一个交接管。第二腹肢吻合这个表皮管,而阴茎则放在内肢的基部侧面。交配时,阴茎在肌肉作用下,精液射到第一腹肢的射精管中,射出物在第二腹肢的活塞样的泵作用下,沿着管腔向里推进。第一腹肢顶端侧扁状、具侧缝,前部表面具棘突状和腺体孔,弯曲部棘较大。侧缝处具细长的棘和羽状刚毛,刚毛基部为杯状凹陷。

**关键词:**锯缘青蟹; 雄性腹肢; 结构; 功能; 精液

**中图分类号:**S 917      **文献标识码:**A

## The structure and function of male gonopod of *Scylla serrata*

HE Wen-hui<sup>1</sup>, GUAN Wei-bing<sup>2,3</sup>, WANG Gui-zhong<sup>3</sup>, LI Shao-jing<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

2. Marine Science and Technology College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

3. Department of Oceanography, State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** Structure and function of the gonopod in mud crab, *Scylla serrata*, were studied with electron microscope techniques from June 2000 to December 2002. The ejaculatory duct of *Scylla serrata* opens on the coxae or sternum of eighth segment by short muscular penis. The first gonopod consists of a basal protopodite and an elongated endopodite, in which the cuticle folded the entire length of a tube which functions as an ejaculatory canal. The second pleopod fits into this cuticular fold, while the penis fits into a slit on the lateral side at the base of the endopodite. During coitus, seminal fluid is ejected by muscular action through the penis into the ejaculatory canal of the first pleopod. The ejaculate is further pushed down the canal by the pumping action of the piston-like second pleopod. The first gonopod terminates in a recurved process, at the apex of which the ejaculatory canal opening forms a distinct spout. The cuticular folds are easily distinguished as outer and inner folds and form the lateral slot. Several types of setae are quite conspicuous on the first and second gonopod. There are also some long processes and setae on the lateral slot. Pinnate setae are present on the

收稿日期: 2007-03-27

基金项目: 国家“八六三”重大专项(2002AA603013); 国家自然科学基金(39870563)

作者简介: 何文辉(1971-), 男, 江西抚州人, 副教授, 主要从事水产养殖学研究。Tel: 021-65710883, E-mail: whhe@shfu.edu.cn

通讯作者: 管卫兵, E-mail: wbguan@shfu.edu.cn

medial and lateral margins of the basal part of the endodite and the protopodite. The pinnate setae are inserted via a characteristic annular insertion.

**Key words:** *Scylla serrata*; gonopod; structure; function; seminal fluid

精子传输及受精机制和受精类型相关。短尾类精荚和精液传输都采用交接器官。左右附肢(第一、二腹肢特化)及各自的阴茎组成一个完整的交配单位<sup>[1-5]</sup>。虽然高级甲壳动物授精系统形态上具有相似性,但原始种类,则具有不同程度的多样性<sup>[1]</sup>。这些多样性之间的差异毫无疑问反映不同短尾类交配的授精效率,例如,原始种只交配几分钟,而高级种交配可延续几个小时。另外,高等甲壳动物有一个进化趋势,即第一交接器内肢趋向弯管状,第二交接器内肢的雄性附肢(appendix masculine)的减少和融合<sup>[1]</sup>。据研究,雄性腹肢可能不仅是传递精液,自身也分泌类似副性腺物质,这增加了雄性腹肢研究的复杂性<sup>[2,6]</sup>。另外雄性附肢也是蟹类重要的分类特征。锯缘青蟹作为我国南方重要经济蟹类,其雄性腹肢的研究是其生殖机理及人工授精等相关研究的重要基础。本文重点对青蟹雄性腹肢的结构及其功能作初步的研究。

## 1 材料与方法

不同发育阶段雄青蟹,计10只左右,于2000年6月-2002年10月购于厦门市场,全部为活体材料。迅速解剖出雄性第一、二腹肢。于2.5%戊二醛和1%锇酸双重固定,酒精系列脱水,入丙酮、醋酸异戊酯。HCP-II临界点干燥仪,S-520型扫描电镜观察拍照。

## 2 结果

和其它高等短尾类一样,青蟹左右腹肢及阴茎组成一个完整的授精单位。青蟹第一和第二雄性腹肢一般形态和普通滨蟹(*Carcinus maenas*)<sup>[4]</sup>、美味优游蟹(*Callinectes sapidus*)<sup>[3]</sup>及牧人魁蟹(*Chionoecetes opilio*)<sup>[2]</sup>基本一致,但局部的结构是有很大差异的。

### 2.1 青蟹雄性第一腹肢

第一腹肢由一个基部的内肢和一个延长的外肢组成,内肢表皮折叠形成一个射精的管腔。第二腹肢吻合于这个折叠腔,插入顶部接近第一腹肢的中部,而阴茎置于内肢基部侧表面的斜槽中。从阴茎来源的射精物,在第二腹肢的泵状运动下,沿射精腔向下推送。第一腹肢为第二腹肢的3~4倍长。

第一腹肢末端有一个弯曲突起,射精管腔开口形成独特的喷口,可能由于交配的缘故,腹肢前端破损严重,同时可见开口处存在大量的微生物(图版-1)。腹肢前端并不成完全封闭的管腔,前有一侧缝,前端侧缝间存在小的棘状突,具有大量规则排列的棘状突和腺体孔,弯曲部的棘较为密集,部分变得细长(图版-2),此处可能起到控制腹肢在纳精囊的插入深度作用。后端侧缝中间夹有短的小型羽状刚毛(图版-3),腹肢前端侧缝处的羽状刚毛常粘附有碎屑(图版-4),羽状刚毛只有一次分支,刚毛基部呈现凹陷的杯形(图版-5)。第一腹肢的第二腹肢插入处,即第一腹肢侧缝末端的刚毛非常密集,开口处的刚毛则较为稀疏(图版-6),不太成熟雄蟹的此处的刚毛也较少。在第一腹肢近第二腹肢的入口处,环射精管腔的表皮内部存在GTG。

### 2.2 青蟹雄性第二腹肢

第二腹肢比第一腹肢小得多,内肢柄状区成弯曲趋势,侧面也有一类似第一腹肢的缝状,但已封闭,似是进化的遗迹(图版-7)。顶部改变很大,成典型的叉状,有许多突起,叉状部也称为雄性附肢(appendix masculina)(图版-7,8)。按动外肢基部区,顶部叉状会自动分开,第二腹肢内部为中空状,但顶部叉状基部是封闭的。

## 3 讨论

高等短尾类和十足目原始种类相比有许多进化趋势,其中显著的趋势是第一腹肢内肢呈现弯曲和

第二腹肢内肢的退化和融合<sup>[1]</sup>。青蟹第一腹肢的弯曲有助于精液的转移。青蟹第二腹肢的弯曲、侧缝及中空的管状都说明其与第一腹肢具有同源性。青蟹第一腹肢的弯曲有着重要的生殖意义,一是不在同一水平轴面上的弯曲和雌蟹纳精囊的空间结构相对应,同时可以撑开窄小的阴道,确保精子能输入其中;二是弯曲管道可以保证其内含物运输时,受力较为分散,形成侧向的分力,促进前向运动,有效地防止精液产物在管道的堆积和堵塞。另外顶部的喷嘴结构,形如注射器的针头,可以助于精液有效的侧向流出,避免平顶端的交配器头部接触纳精囊内壁或产物时产生较大的阻力。中后部的长棘助于第一腹肢在纳精囊中的插入深度。

青蟹第二腹肢前端为封闭状,仅起到将阴茎射出的精液向其第一附肢末端推动作用,相当于泵的作用。其管径小于第一腹肢,减少两者的磨擦。向前推动时,其顶部的叉会分开,增大泵的接触面。向后抽出时,叉会自动合拢,确保交配时第二腹肢在第一腹肢中的迅速的泵状运动。对性成熟期的青蟹第一腹肢表面进行刺激,则会产生有规律性的抖动,短暂小幅快速抖动后,紧接着为一大慢速抖动,顶部抬起。同时有一个显著现象,即第一腹肢中段,第二腹肢插入孔上方的组织,呈现一张一合状,原因是其内部有强大的沿腹肢长轴方向的肌肉。同时第一腹肢抬起时,第二腹肢则跟着第一腹肢的抖动被动的进入第一腹肢。

蟹类雄性附肢棘的结构和功能还没有研究清楚<sup>[2,7]</sup>。但是根据它们在表皮上的位置、方向、结构和附着可以推测有几种功能。青蟹雄性第一腹肢内肢表面有大量向后突起的棘,有助于交配时在阴道中的稳定作用。青蟹第一腹肢近刚毛区的表面下陷,为表皮局部变薄。普通滨蟹触角上的下陷具有化学感觉作用<sup>[8]</sup>,这些刚毛的杯形基部使其能向各个方向自由运动,表明其具有机械感觉功能,有助于交配时第一腹肢的定位作用。值得注意的是,青蟹第一腹肢内肢刚毛及其弯曲的结构,是否同牧人魁蟹雄性第一腹肢顶部的长刚毛有相似的功能<sup>[2]</sup>,即雄性第一腹肢的刚毛及弯曲的顶部用于交配时将纳精囊中其它蟹的交配产物移走,从而实现精子竞争作用。乡居鲸螯虾(*Orconectes rusticus*)<sup>[9,10]</sup>的这种行为可以减少纳精囊中精子的竞争。青蟹雄性第一和第二腹肢基部的羽状刚毛形态上和天鹅龙虾(*Panulirus cygnus*)触角上的刚毛相似<sup>[11]</sup>。可能用于调节沿着触角轴的振动。青蟹的羽状刚毛可能有相似功能,第一腹肢的羽状刚毛在交配时和胸部接触,而第二腹肢则和第一腹肢的外肢相磨擦。在性成熟阶段,雄蟹胸部与第一腹肢相邻处也有较长的刚毛,应该起相同的感受功能作用。除外,在青蟹第一腹肢内肢侧缝边和第二腹肢及阴茎的入口处,都存在大量的羽状刚毛。这些刚毛有一显著的功能,即起到过滤海水中颗粒物质作用。交配时,海水将从侧缝和两个入口处一同和精液混合,羽状刚毛的过滤作用,确保不将外源大量污染物质带到雌蟹的纳精囊中去。

青蟹不完全封闭的交配系统,使得交配时导致一定量外源海水和雄性产物一同进入纳精囊。另外第二腹肢的泵状作用也会导致海水的涌入。实际上第一腹肢较小的内径,以及精液的强粘性都需要海水的稀释作用,精液才能顺利转移。牧人魁蟹交配时外源海水中也会发现精荚<sup>[12]</sup>,也证实交配器的“渗漏”特性。中华绒螯蟹交配时对盐度要求并不十分严格。在盐度 9~33 的范围内,都能交配,有时在淡水中也可交配,但交配后不能产卵<sup>[13]</sup>。原因可能是交配时外源的淡水会进入纳精囊,破坏了其中的精荚或精子,从而不能产卵。因此中华绒螯蟹成熟季节进行生殖洄游,到海水中进行交配,是和其生理机制相适应的。而没有生殖洄游习性的长江华溪蟹,在长期进化后,已适应淡水生活,其产卵数则很少,仅有 100~200 粒,左右纳精囊往往也只有一个精荚,反映其交配行为简单<sup>[14]</sup>,或许也是对不能进行生殖洄游的一种适应。中华绒螯蟹雄性第一腹肢为封闭型,和青蟹相比,其交配时进入的海水相对较少,这也可能是其适应盐水交配的进化机制。据研究,交配时进入的海水有助于稀释粘稠的精液物质,也有人认为对于精荚裂解及精子的激活有作用,其具体作用机制有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Hartnoll R G. Copulatory structure and function in the Dromiacea, and their bearing on the evolution of the Brachyura[J]. Publicationes Statione Zoologica Napoli, 1975, 39: 657 - 676.
- [2] Beninger P G, Elnor R W, Poussart Y. Gonopods of the majid crab *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius) [J]. J Crust Bio, 1991, 11: 217 -

- 228.
- [3] Cronin L E. Anatomy and histology of the male reproductive system of *Callinectes sapidus* Rathbu [J]. J Morph, 1947, 81: 209 - 240.
  - [4] Spalding J F. The nature and formation of the spermatophore and sperm plug in *Carcinus maenas* [J]. Journal of Microscopical Science, 1942, 83: 399 - 422.
  - [5] Elner R W, Gass C A, Campbell A. Mating behaviour of the jonah crab, *Cancer borealis* (Stimpson) (Decapoda, Brachyura) [J]. Crustaceana, 1985, 48: 34 - 39.
  - [6] Beninger P G, Larocque R. Gonopod tegumental glands: a new accessory sex gland in the Brachyura [J]. Marine Biology, 1998, 132 (3): 435 - 444.
  - [7] Nishimura S. Male first pleopods of the majid brachyurans *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius) and *C. japonicus* Rathbun from the Japan Sea [J]. Publ Seto Mar Biol Lab, 1967, 15: 165 - 171.
  - [8] Fontaine M T, Passelecq-Gerin E, Bauchau A G. Structures chemoreceptrices des antennules du crabe *Carcinus maenas* (L.) (Decapoda, Brachyura) [J]. Crustaceana, 1982, 43: 271 - 283.
  - [9] Berrill M, Arsenault M. The breeding behavior of a northern temperate orconectid crayfish, *Orconectes rusticus* [J]. Animal Behaviour, 1984, 32: 333 - 339.
  - [10] Snedden W A. Determinants of male mating success in the temperate crayfish *Orconectes rusticus*: chela size and sperm competition [J]. Behaviour, 1990, 115: 100 - 113.
  - [11] Phillips B F, Macmillan D L. Antennal receptors in puerulus and postpuerulus stages of the rock lobster *Panulirus cygnus* (Decapod: Palinuridae) and their potential role in puerulus navigation [J]. J Crust Bio, 1987, 7: 122 - 135.
  - [12] Watson J. Mating behavior in the spider crab, *Chionoecetes opilio* [J]. J Fish Research Board Can, 1972, 29: 447 - 449.
  - [13] 堵南山. 甲壳动物学(下册) [M]. 北京: 科学出版社, 1993.
  - [14] 王 兰, 堵南山, 赖 伟. 长江华溪蟹输精管的超微结构与精荚形成的研究 [J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(4): 373 - 379.



图版 Plate

1. 第一腹肢顶部的勺状开口(TA)(bar = 100  $\mu\text{m}$ ); 2. 第一腹肢前端具侧缝(\*), 表面腺体孔(Dp)和棘突(SS)(bar = 1 000  $\mu\text{m}$ ); 3. 第一腹肢侧缝中具有羽状刚毛(PS)和长的棘(LS)(bar = 1 000  $\mu\text{m}$ ); 4. 第一腹肢羽状刚毛粘附颗粒物(↑)(bar = 100  $\mu\text{m}$ ); 5. 第一腹肢刚毛基部具环状凹陷(AI)(bar = 10  $\mu\text{m}$ ); 6. 第一腹肢的第二腹肢入口具有大量刚毛(\*) (bar = 1000  $\mu\text{m}$ ); 7. 第二腹肢侧缝完全闭合, 仅有遗迹(↑)(bar = 100  $\mu\text{m}$ ); 8. 第二腹肢顶部折皱状突起(\*) (bar = 10  $\mu\text{m}$ )