



斑节对虾

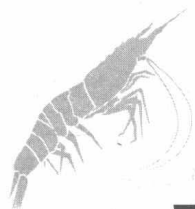
繁育与养殖技术

BANJIE DUIXIA FANYU YU YANGZHI JISHU

黄建华 江世贵 李海燕 杨丽诗 等 编著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



斑节对虾 繁育与养殖技术

BANJIE DUIXIA FANYU YU YANGZHI JISHU

黄建华 江世贵 李海燕 杨丽诗 等 编著

第 1 版 1998 年 12 月
第 2 版 2005 年 12 月
第 3 版 2015 年 12 月



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

斑节对虾繁育与养殖技术/黄建华, 江世贵, 李海燕, 等编著. —广州: 华南理工大学出版社, 2018. 1

ISBN 978 - 7 - 5623 - 5413 - 0

I. ①斑… II. ①黄… ②江… ③李… III. ①斑节对虾 - 对虾养殖 IV. ①S968. 22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 249285 号

斑节对虾繁育与养殖技术

黄建华 江世贵 李海燕 等编著

出版人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

http: //www. scutpress. com. cn E-mail: scutc13@scut. edu. cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 赖淑华

责任编辑: 王魁葵

印刷者: 佛山市浩文彩色印刷有限公司

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 13 字数: 317 千

版次: 2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

定价: 28.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

前 言

对虾养殖是我国水产养殖支柱产业。斑节对虾是养殖对虾类中体形较大、经济价值较高的一种对虾，具有较强的适应环境变化的能力。它不仅仅是我国传统养殖的对虾品种，也是全世界重要的优秀养殖虾种，在 20 世纪末其养殖产量占世界对虾养殖产量的 75% 以上，由此引发世界各国学者对其进行广泛和深入的研究。

《斑节对虾繁育与养殖技术》较为系统地总结了国内外斑节对虾相关研究成果，特别是近二十年来农业部斑节对虾遗传育种中心的江世贵研究员团队在斑节对虾全人工繁育技术、种虾繁育技术、良种选育及良种配套养殖技术方面的研究成果。本书共分五章，第一章主要介绍斑节对虾生物学，包括生态习性、形态特征及繁殖生物学，由周发林、姜松编写。第二章介绍斑节对虾人工繁育技术，包括种虾培育、亲虾培育、生物饵料培育和斑节对虾育苗技术四部分，由黄建华、杨其彬、李海燕编写。第三章介绍斑节对虾遗传育种技术，包括育种技术概述、种质资源评价技术、斑节对虾新品种（系）群体选育、家系选育及分子辅助育种技术及进展，由江世贵编写。第四章介绍斑节对虾养殖技术、良种配套健康养殖技术及示范推广，由黄建华编写。第五章介绍斑节对虾繁育研究中常用实验技术原理、方法、操作及注意事项，由杨丽诗、朱彩艳编写。全书由广州大学李海燕教授审核和统稿。

本书是“广州大学校企协同育人实验班”和广州大学 2016 年中央支持地方高校发展资金建设项目的重要建设内容之一，即校企协同育人核心课程教材，并在出版经费上得到该项目的大力支持。2013—2016 年广州大学协同南海水产研究所深圳试验基地进行教学实践，努力探索创新型与应用型联合培养人才模式，提高人才培养水平。实验班采用 3+1 的模式，遵循应用型人才培养规律，以教学（专业实习和本科毕业论文）、由基地开设水产专业的核心课程、学生参与基地课题组研究为途径，实现培养大学生的实践能力和创新意识。南海水产研究所深圳试验基地负责对虾繁育与养殖的教学和实践任务。本书是在授课老师长期的研究成果和教学内容整理的基础上，参考国内外大量教材和专著后编著而成，在此我们表示最诚挚的谢意！本书适

合高等院校水产养殖及相关专业的师生、科研人员使用。

限于编者的学识水平，书中难免有不妥之处，请读者批评指正。

黄建华 李海燕

2017年5月

本书可作为高等院校水产养殖及相关专业的师生、科研人员使用。限于编者的学识水平，书中难免有不妥之处，请读者批评指正。

本书可作为高等院校水产养殖及相关专业的师生、科研人员使用。限于编者的学识水平，书中难免有不妥之处，请读者批评指正。

本书可作为高等院校水产养殖及相关专业的师生、科研人员使用。限于编者的学识水平，书中难免有不妥之处，请读者批评指正。

本书可作为高等院校水产养殖及相关专业的师生、科研人员使用。限于编者的学识水平，书中难免有不妥之处，请读者批评指正。

本书可作为高等院校水产养殖及相关专业的师生、科研人员使用。限于编者的学识水平，书中难免有不妥之处，请读者批评指正。

本书可作为高等院校水产养殖及相关专业的师生、科研人员使用。限于编者的学识水平，书中难免有不妥之处，请读者批评指正。

目 录

第一章 斑节对虾生物学	1
第一节 生态习性	1
第二节 形态特征	3
第三节 繁殖生物学	6
第二章 斑节对虾繁育技术	28
第一节 种虾培育技术	28
第二节 亲虾培育技术	33
第三节 生物饵料培育技术	37
第四节 斑节对虾育苗技术	52
第三章 斑节对虾遗传育种技术	65
第一节 育种技术概述	65
第二节 斑节对虾种质资源评价技术	69
第三节 斑节对虾群体选育及“南海1号”新品种推广应用	77
第四节 斑节对虾家系选育	83
第五节 斑节对虾分子辅助育种技术	103
第四章 斑节对虾养殖技术	120
第一节 斑节对虾池塘养殖生态学	120
第二节 斑节对虾养殖模式与配套养殖技术	125
第三节 斑节对虾健康养殖技术	127
第四节 斑节对虾常见疾病与防控技术	140
第五节 斑节对虾健康养殖实例	146
第五章 斑节对虾繁育与育种常用实验方法与技术	156
实验一 基因组 DNA 抽提	156
实验二 聚合酶链式反应 (PCR)	157
实验三 琼脂糖电泳	158
实验四 总 RNA 抽提	160
实验五 逆转录反应	161

实验六	荧光定量 PCR	163
实验七	细菌质粒提取	166
实验八	基因克隆	168
实验九	聚丙烯酰胺凝胶电泳 (SDS - PAGE)	172
实验十	蛋白印迹 (Western blot)	174
实验十一	扩增片段长度多态性 (AFLP)	176
实验十二	微卫星标记的检测	182
实验十三	石蜡切片及 HE 染色	184
实验十四	免疫组化	186
实验十五	细胞冻存和复苏	188
实验十六	细胞计数	190
参考文献		191
附录 分子生物学基本实验试剂常用配方		199

第一章 斑节对虾生物学

第一节 生态习性

一、分类

斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 俗称草虾、竹节虾, 联合国粮农组织通称大虎虾。分类学上隶属于节肢动物门 (Arthropoda)、甲壳纲 (Crustacea)、十足目 (Decapoda)、游泳亚目 (Natantia)、对虾科 (Penaeidae)、对虾属 (*Penaeus*), 是对虾属中最大型种。

二、分布

斑节对虾的自然产地分布较广, 主要分布于印度洋和西太平洋。根据捕捞记录, 该种对虾的天然栖息地主要分布在东经 $30^{\circ} \sim 155^{\circ}$, 北纬 $35^{\circ} \sim$ 南纬 35° 之间的印度洋—太平洋广大沿岸海域。典型的自然栖息地包括日本南部、朝鲜、菲律宾、印尼、马来西亚、新加坡、泰国及澳大利亚西部到北部, 并沿着印度洋的沿海区域延伸到非洲东岸、红海、马达加斯加、毛里求斯、新几内亚、斐济 (Perez Farfante and Kensley, 1997; Dore and Frimodt, 1987), 其世界分布见图 1-1。我国的台湾、海南、广东、广西及福建、浙江南部以及香港与澳门地区沿海水域均有分布。

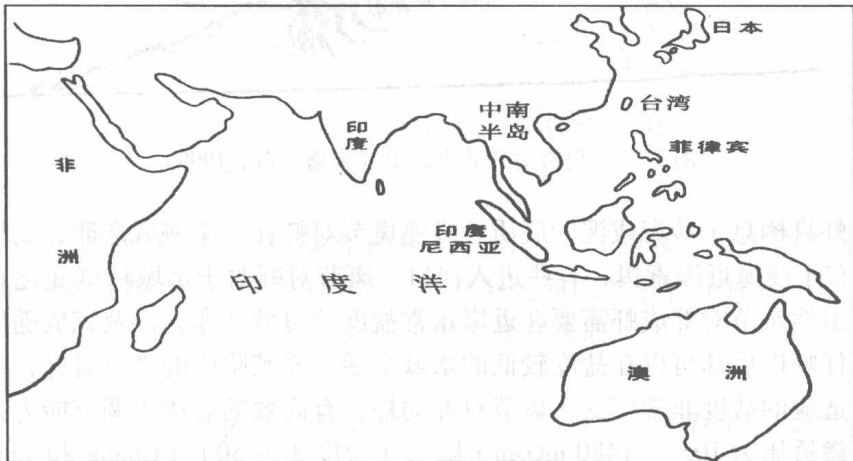


图 1-1 斑节对虾的世界分布图 (宋盛宪等, 1999)

三、生态习性

斑节对虾在不同的生长发育阶段，表现出不同的生态类型。在自然状态下，幼体阶段行浮游生活，经常受海水流动所支配，其水平分布较广。当幼体生长到具有一定活动能力时，常聚集于河口和内湾附近，也能溯河觅食。随着幼虾迅速生长和生理生态上的变化，会逐渐离开河口，游向近岸浅海区栖息活动（图 1-2）。当幼体生长至 80 mm 后，开始移向外海较深的水域生活，随着斑节对虾逐渐长大，其移居深度也渐次变深且喜欢到坡度较大处活动。

自然海区中捕获的斑节对虾最大者体长可达 330 mm，体重达 500 ~ 600 g。据刘瑞玉（1988）报道，我国南海野生斑节对虾种群，仔虾一个月生长体长达 45 mm，体重 0.8 g；两个月体长达 79 mm，体重 4.3 g；6 个月体长达 160 mm，体重 50 g；1 年体长达 240 mm，体重达 100 g。天然水域斑节对虾雌性成熟生殖群体的体长为 300 ~ 350 mm，体重 350 ~ 400 g。可以认为，实际上雌性对虾终生均在快速生长。

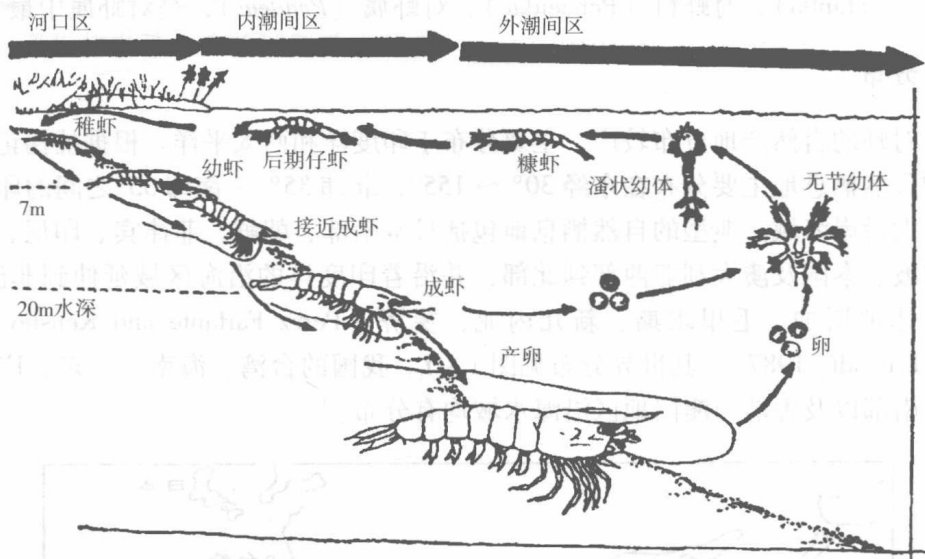


图 1-2 斑节对虾的生活史（宋盛宪等，1999）

斑节对虾喜栖息于沙泥或泥沙底质。成熟斑节对虾在近岸海域产卵，幼体发育完成后，幼虾分布于浅海近岸索饵，有些进入河口。斑节对虾对于水域环境变化具有较强的适应能力，虽然斑节对虾成虾需要在近岸正常盐度的海域产卵，以及完成随后的幼体发育阶段，而仔虾以后却可以在盐度较低的水域生活。养殖阶段的斑节对虾，从仔虾至亚成虾，可以适应的盐度非常广泛。斑节对虾幼虾具有高效的渗透压调节能力，幼虾血淋巴的可调节渗透压为 $103 \sim 1480 \text{ mOsm} \cdot \text{kg}^{-1}$ （盐度 3 ~ 50）（Cheng 和 Liao, 1986），说明幼虾具有高效的渗透压调节能力。体长 80 mm 左右的幼虾甚至可在盐度为 0.55 的低盐度水域养殖（臧维玲等，2001）。而成虾则进入深海水域，往往在 50 ~ 110 m 深的泥质或沙质海底被拖网捕获。一般白天潜底不动，傍晚食欲最强，开始频繁的觅食活动。其盐度适应范围为 10 ~ 25，生存盐度为 0.2 ~ 45，生存水温范围为 15 ~ 35℃，

最适生长水温为 25 ~ 30℃，水温低于 18℃ 停止摄食，水温低于 14℃ 就会死亡。

第二节 形态特征

一、外部形态

斑节对虾呈长筒形，左右侧扁，身体分为头胸部与腹部，由 20 节组成，即头部 5 节，胸部 8 节和腹部 7 节（包括尾节 1 节）；除尾节外，各节均有附肢 1 对（图 1-3）。

1. 头胸部

斑节对虾的头部与胸部结合为一体，称为头胸部；其背部及两侧包被着一片甲壳，称为头胸甲。头胸部的体节已结合而难以分解，但头部 5 对附肢和胸部 8 对附肢仍然存在。头胸甲的前端中央突起，形成尖利的额角（俗称虾枪或额剑），它的额角长度超过第一触角柄的末端。额角上缘有 5 ~ 9 个“背齿”，通常是 7 个，其中有 3 齿位于头胸甲上。额角下缘有 2 ~ 4 个“腹齿”，通常是 3 个，而整个额角稍呈 S 形弯曲。

根据内部器官的位置，头胸部又划分为额区、眼区、触角区、胃区、肝区、鳃区、心区和颊区。

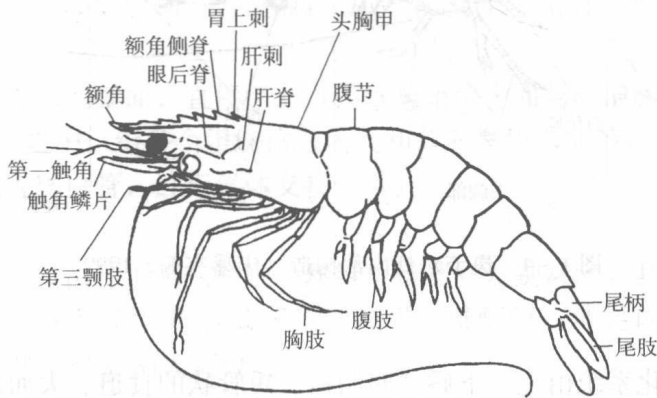


图 1-3 斑节对虾的外部形态（宋盛宪等，1999）

2. 腹部

斑节对虾腹部较长，约为头胸部长度的 2.5 倍，分节明显，由 7 节组成（包括尾节）。各节的背侧包着一片较坚硬的甲壳，节与节之间以关节膜相连接，便于体节的活动和自由屈伸。最后一节为尾节，肛门位于尾节基部腹面。

3. 附肢

斑节对虾除尾节外，各体节均有 1 对附肢，共 19 对。由于着生的部位与功能不同，其形态差异较大，但基本上由基部、内肢和外肢组成。

4. 体色

斑节对虾活虾体色在头胸甲及腹甲上均有红白条纹，步足及游泳足上之刚毛为红色。整个体表呈灰绿或暗绿色，体背面有土黄及黑褐色横带；游泳足之基腹外侧前半侧

为蓝色，后半侧为黄色。第一触角为白色，其上有深绿褐色之斑纹；第二触角触鞭则是灰绿色与透明色，呈宽窄相间；尾肢后半呈乳蓝或黑褐色。其体色随水色和盐度的变化而有很大不同。一般天然捕获的虾体较为鲜艳，呈暗褐色，背部通常有9条极为明显的白色横带，其中3条位于头胸甲上，第二至第六腹节各有1条，尾部亦有1条，有时背部呈1赤褐色纵带。至于鱼塭养成的斑节对虾，体呈草绿色，上述白色横带不明显。总之，体色随着成长阶段、栖息环境及饵料等因素的差异稍有变化。

二、内部构造

斑节对虾的内脏大部分集中于头胸部，而腹部肌肉发达，为横纹肌。肌肉束分为伸肌和屈肌，两者相互协调，作伸屈活动，使虾体可迅速弯曲和进行弹跳运动（图1-4）。

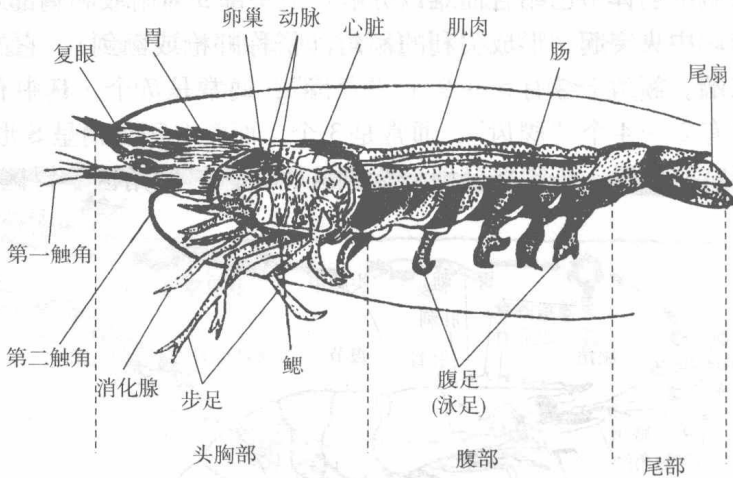


图1-4 斑节对虾内部构造（宋盛宪等，1999）

1. 消化系统

斑节对虾的消化系统由上、下唇之间的口、短管状食道、大而薄的胃、短而粗的中肠、长而细直的直肠及开口于尾节腹面的肛门所组成。消化管道可分为：

- (1) 前肠 从口部开始，包括食道和胃。
- (2) 中肠 自胃部以后到中肠之间的消化道。
- (3) 后肠 自腹节以后到肛门的消化道。

食物由口部摄入后，由大颚切断磨碎，经食道进入胃部。胃可分为前方的贲门胃和后方的幽门胃。贲门胃具有磨碎食物颗粒的功能，即机械性的消化作用是在贲门胃的中央齿（median tooth）及贲门板（cardiac plates）完成。食物研磨成食糜之后，由来自肝脏（或称中肠腺）所分泌的消化液将食糜分解，而进行一连串的化学性消化。一般认为：

- (1) 虾的胃中并没有胃蛋白酶（pepsin）。
- (2) 中肠腺为主要的消化酶分泌器官，可分泌许多蛋白分解酶、糖类分解酶等。
- (3) 胃虽不能分泌胃蛋白酶，但本身也能分泌某些酶素。

中肠腺与胃幽门部之间有一条中肠管相通。食物在幽门部进行分解，主要吸收是在中后肠道中进行，而废弃物经直肠由肛门排出体外。

2. 呼吸系统

鳃是呼吸的主要器官，其气体交换作用是在鳃部进行的。鳃位于胸部的鳃腔里。根据着生位置和功能不同，可分解为侧鳃、足鳃、肢鳃和关节鳃四种，共 25 对。

由于鳃呈枝状，每个鳃上有 1 个鳃轴和许多分支的鳃丝。鳃丝内有入鳃血管和出鳃血管各 1 条，以分支血管通入鳃丝形成血管网。由于第二小颚的颞舟片和支鳃不停地摆动，驱使水流动，水流经鳃腔与鳃丝接触。血液中的 CO_2 被排出而吸收水中的溶解氧，其气体交换作用就是在鳃部进行的。出鳃血管中带着充满氧的血液回到心脏，由心脏负责将血液压出后，经向鳃血管回到鳃部时，再在鳃部换取大量氧。

3. 循环系统

斑节对虾的循环系统与其他虾类一样，是典型的开放式循环，由心脏、血管、血窦和血液组成。血液无色，血浆内含血青素 (haemocyanin)，它是一种含铜的蛋白，故当血液暴露于空气中时会呈淡青色。

心脏位于头胸甲内，上方靠近第一腹节。从内部解剖来看，位于中肠腺及消化道的上方，被围心窦 (pericardial sinus) 包围，呈黄白色。心脏与心囊分别与前、后、腹、侧等各动脉相连接，当心脏收缩时，血液自心脏部位向各动脉流动，经由各动脉分支而达于全身各部。

血液的流向由背面到腹面，直接流入身体各部组织中而与体液相混合，即血液进入“血腔”或血窦系统之中，给各个组织输送氧气和营养物质；血液经各大小血窦收集流入胸血窦，然后流入鳃血管，进行气体交换。

4. 生殖系统

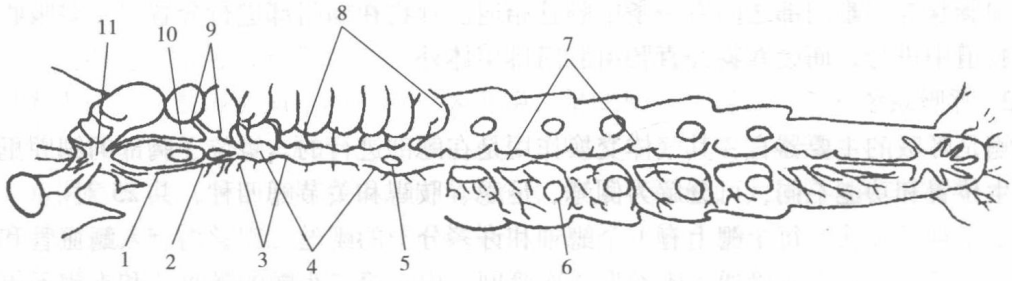
斑节对虾的性别可由外形直接判别，雌雄生殖器官差别甚大。其生殖器官可以分成外部生殖器（雌虾第 4 和第 5 步足基部具纳精囊，雄虾第一泳足内肢演化为交接器）和内部性腺（卵巢和精巢）两大部分。

5. 排泄系统

排泄器官位于第二触角（大触角）基部，即触角腺，由 1 个囊状腺体、薄壁膀胱和排泄管组成，排泄物近似尿酸，呈绿色，故触角腺又称为绿腺。在腺体之后有 1 排泄管与膀胱相连接，开口于大触角基部的乳突薄膜上，这就是排泄孔。

6. 神经系统

神经系统由包括脑部及以下的各神经节连接而成。脑 (brain) 即食道上神经节，是神经中枢，由 3 对神经节结合而成，然后由前向后延伸。神经自脑分出到眼、小触角、大触角，形成视觉神经和触角神经，并分出 1 对环食道神经与食道下方的胸神经相连接。胃下神经节是 6 对与口器相关的神经节愈合而成。从第 10 体节开始，即在每一体节上分为两叶之腹神经节 1 个，前后以神经相连而成 1 条神经索，其后以神经索纵向贯串于躯体的腹面中央。斑节对虾和各体节均有分支神经通向附肢、肌肉和全身各部，见图 1-5。



1—食道抱接神经环；2—横神经；3—颚足神经；4—胸部神经节；5—胸动脉；6—泳足神经；7—腹部神经节；8—步足神经；9—小颚神经；10—食道；11—脑神经节。

图 1-5 斑节对虾的神经系统（宋盛宪等，1999）

斑节对虾的许多生理现象，如蜕皮、生殖、代谢及体色变化等，与其内分泌关系十分密切。而环境因素又往往能刺激神经与分泌系统的作用，在此可以用一个简单的方式表现它们之间的相互关系：环境刺激→内分泌系统作用→生理反应。而虾类的内分泌又可分为两大类：

- (1) 神经内分泌器官，例如眼柄内的 X-Organ、窦腺（sinus gland）等。
- (2) 非神经内分泌器官，例如 Y-Organ 及雄性腺等。

神经内分泌系统是指分泌荷尔蒙的细胞（神经细胞）。实际上神经即指成束的神经纤维，细胞借着这些纤维状的构造来传递神经冲动，就像一条电线中有许多铜丝（神经纤维），而电流（神经冲动）就靠这些铜丝来传递。

斑节对虾的 X-Organ 是非常典型的神经性内分泌器官，它和窦腺共同支配许多重要的生理现象，正如我们所熟悉的单边眼柄切除以诱导性腺成熟，就是这些神经内分泌相互作用的结果。应该指出，从目前对内分泌器官的了解程度及眼柄切除的结果来看，这些荷尔蒙相互作用的机制可能相当复杂，有许多存疑的内分泌现象仍有待更进一步地研究。

7. 感觉器官

斑节对虾的感觉器官有 1 对复眼，着生在 2 个长而能转动的眼柄上。复眼由很多小眼组合而成。第一触角基部丛毛中有平衡囊，能使身体平衡；第一触角外肢上的刚毛有嗅觉作用。第一及第二触角的触鞭及各部刚毛都有触角作用，特别是附肢边缘刚毛很发达，因此对虾的感觉器官十分敏锐。

第三节 繁殖生物学

一、繁殖习性及其理化因子

1. 繁殖习性

斑节对虾的自然繁殖水域属于温暖海域，繁殖季节很长，几乎全年每个月均有虾产卵。自然种群对虾的月龄结构复杂，使整个种群具有产卵期不集中的特性。天然水域的斑节对虾，成虾通常需要进入近海较深水域才能完成性腺成熟，分布区往往在 110 m 深

以上直至 162 m 的泥质或沙质海底 (Motoh, 1981)。野生斑节对虾性成熟栖息地、产卵场远离海岸区。栖息地的海洋环境水质优良,理化因子日变化小而稳定。调查和实验表明,温度、盐度、光照周期、光质、光量、酸碱度、溶解氧、氨氮、重金属离子、水槽空间、水槽壁的颜色、底质条件、放养密度等环境参数,均可以影响斑节对虾种虾性成熟、产卵行为、卵子数量、卵子质量、孵化率、幼体质量等。

斑节对虾为雌雄异体。成熟雌虾的平均体长显著大于雄虾。雌虾和雄虾的外生殖器明显不同。雌虾具有封闭型纳精囊,由一个前板和两个侧板构成,储藏交配后的精荚。纳精囊位于第 4 和第 5 对步足之间的腹部,生殖孔位于第三步足的基节。雄虾具有第 1 对泳足内肢异化形成的交接器,且第 2 对泳足内侧有小型附属雄性附肢,精荚排出口即生殖孔位于第 5 对步足基节。

斑节对虾的雌虾比雄虾大 (Primavera, 1985)。在野生状态下,雄虾性成熟具有精荚的最小个体头胸甲长为 37 mm,体重约为 35 g。雌虾成熟的最小个体的头胸甲长为 47 mm,体重约为 67.7 g (Motoh, 1981)。雌虾怀卵量或产卵量因大小不同而有变化,通常野生斑节对虾的产卵量为 248 000 ~ 811 000 粒/(尾·次)。因此它也是繁殖力最强的对虾种类之一。

2. 理化因子

目前认为,适宜的水质参数如下:盐度 28 ~ 36;温度 26 ~ 28℃;pH 值 7.8 ~ 8.0;日光周期,14 h 光照,10 h 黑暗;光照强度 200 Lux 以下,光质以绿色和自然光为宜;溶解氧 5 mg/L 以上;氨态氮、亚硝酸态氮极微或测不出(总氨氮小于 0.02 ~ 0.04 mg/L,亚硝酸态氮小于 0.01 ~ 0.02 mg/L,硝酸态氮小于 0.1 ~ 0.2 mg/L)。虽然上述环境因子在对虾适应的范围内的影响力,远远小于内分泌激素和营养要素,但是仍然不应忽视这些因素,尤其是温度、盐度和光照等环境因子对于内分泌活动的影响。这些因素往往可强化或者削弱激素的作用,很可能有些影响的细节我们至今还没有认识清楚。

(1) 盐度

天然水域的野生斑节对虾性腺成熟时期的栖息地的盐度均是 33 ~ 34 的高盐度。对虾类多数种类的受精卵、胚胎发育及幼体发育期,对盐度的适应范围较窄,通常在 30 ~ 35 盐度水域。许多学者证实高盐度有利于雌性性腺发育。Theeranuj Sapayasant 等人 (1991) 研究发现,在封闭系统内盐度为 30 和 40 的情况下,除了切眼柄外,高盐度驯化适应肯定对成虾的成熟有促进作用。亚成虾切眼柄后分别在盐度为 30 和 40 的情况下驯化 45 d,两者的对虾血淋巴浓度没有显著差别。而未切眼柄的成虾,高盐度驯化者加速对虾性腺发育,而且与驯化时间、性腺发育速度呈正线性相关。亚成虾状态下,切眼柄的反应取决于对虾的体型大小(体重 48 ~ 60 g)。切眼柄只对体型大的对虾性腺发育起作用,增加性腺发育指数。最好的结果是在高盐驯化下同时切除眼柄,在 30 d 以内,性腺可以发育。

Supon Tansuwan 等 (1998) 和 Sittichoke Janyong (2002) 分别报道盐度对池养斑节对虾种虾培育、卵巢发育、交配的影响的实验结果。Supon Tansuwan 等发现 25、30、35 三个盐度下的雌虾怀卵的虾数分别为 44.44%、50.00%、61.11%,交配率分别为

5.56%、22.22%、22.22%。在这三个盐度下，种虾的繁殖力、交配率没有显著差异。但是不同盐度下的卵子孵化率有显著的差别。盐度30下孵化率最高，盐度25下孵化率最低。Sittichoke Janyong 研究结果证实，在盐度为10的情况下，对雌虾实施人工授精，雌虾的性腺不能发育到第四期（成熟产卵期）。然而在盐度为20和30的条件下，雌虾的性腺可以发育到第四期并且分别有43.6%和50.0%的产卵率。虽然在盐度为20情况下卵子质量良好，但卵子不能孵化出无节幼体。只有在30的盐度下，才可以孵化出无节幼体。受精率和孵化率分别为79.4%和64.2%，一直发育至15 d的仔虾，成活率达20.1%。

(2) 温度

斑节对虾成虾生活的自然海域是热带温暖海洋，其栖息地在海平面下30~60 m，有些甚至在更深海底生活。据钟振如等（1999）在海南省斑节对虾产卵场的调查，水温变动在17~29℃范围内，常年大部分时间温度在22~26℃，表明斑节对虾维持正常生理活动的适宜温度范围很广。虽然在33℃以下的温度范围内胚胎发育、幼体发育随着温度升高而加快，然而对于种虾性腺发育要求的温度，多数人认为应该在26~28℃。过高的温度并不总是有利。Martin Perez 和 Velazquez 等（2000）研究温度对凡纳滨对虾种虾精子质量影响的报告指出，48.0 g的雄虾在26℃、29℃和32℃培养42 d，结果在26℃条件下，雄虾精子平均高达18.6百万个，其中只有36.7%不正常；在29℃条件下，雄虾只有0.1百万个精子，而且99.7%的精子不正常；在32℃条件下，精子不发育，没有精子。这个事例提醒我们，不适当的高温对于对虾性腺发育有害。特别是在养殖池塘养殖种虾，经常会遇到32℃以上的高温。

(3) 光照

光线对对虾类的行为及生理有重要影响。20世纪80年代以后许多学者已经注意到弱光以及光周期的变化可以有效地调控对虾的繁殖（Beard 和 Wickins, 1980; Emmer-son 等, 1980）。Primavera（1992）比较系统地研究了光照对斑节对虾繁殖的影响，认为适宜的光色和光强与切眼柄相配合，可以减轻切眼柄的负面影响，增强斑节对虾的繁殖性能，如增强繁殖力、提高繁殖率和孵化率等。试验表明，不切眼柄的雌虾在绿色的光线下，可以取得最好的繁殖性能。试验使用来源于野生的种虾，增加了成熟产卵尾数，达25%，显著高于对照组和其他光色组。同时每尾虾的产卵量、无节幼体量也最高，其次是自然光较好。自然光条件下孵化率最高，其次是绿色光。在白色和蓝色光条件下，所有的繁殖特性最差。如果在红色、蓝色光条件下，不切眼柄的种虾，即使成熟也很不完善，基本上不能产卵。只有切除眼柄，才可成熟产卵。在绿色光条件下比较切眼柄雌虾和不切眼柄雌虾的繁殖性能显示：切眼柄雌虾绝大多数可重复成熟产卵，不但总卵量多，而且每尾雌虾的产卵量也多，但是每尾雌虾的无节幼体数量和平均孵化率，两者无显著差别。对野生种虾雌虾切眼柄，雄虾不切眼柄进行自然光、绿色光、白色光三种不同光色对繁殖性能的比较，结果发现：在自然光和绿色光条件下，对虾的繁殖特性没有显著差异，但是在白色光条件下，对虾繁殖习性有显著的差异。关于光强的效应，通常认为光线的强度对于雌虾性腺发育的影响，其重要性比光色更重要。在自然光100 Lux 以下，或者人工光40~70 Lux 情况下最有利于雌虾性腺发育成熟。

二、生殖系统

(一) 雄性生殖系统

雄性生殖器官可分为内部生殖器官及外部生殖器官两大部分。对虾属 (*Penaeus*) 不同种的生殖系统较相似 (King, 1948; Hug, 1980; 陈倅等, 1986), 包括精巢、输精管、分泌管道、精囊及交接器 5 个部分。

1. 外部构造

交接器 (petasma), 又称雄性生殖辅助器。由第一对泳足内肢异化而成, 为位于第一对泳足之间的膜状结构。随着对虾的生长逐渐发育增大, 最终结合形成大致呈半管形的特殊结构。不同对虾的交接器形状略有不同, 有时也可作为分类的依据。

(1) 雄性生殖器官辅助器 (petasma) 又称交接器, 属于第一泳足之内肢, 由对称的 2 叶合成, 呈钟形, 两侧缘坚硬, 前端各曲成小钩构造, 可以相互锁住 (图 1-6)。

(2) 附属肢体 (appendix masculina) 位于第二泳足之内肢上, 一般呈椭圆形状 (图 1-7)。

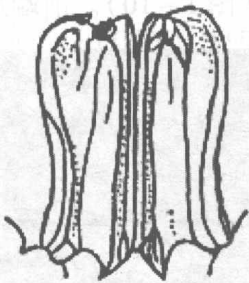


图 1-6 雄性生殖辅助器 (宋盛宪等, 1999)

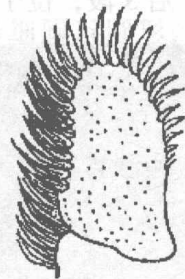


图 1-7 雄性附肢 (宋盛宪等, 1999)

2. 生殖腺及其附属器官

雄性性腺由成对的精巢 (testes)、输精管 (vas deferens) 及末端壶腹 (terminal ampoules) 组成 (图 1-8)。

(1) 精巢 未发育期的精巢呈透明状, 成熟的精巢呈半透明的乳白色, 位于头胸甲围心窝的前下方, 紧贴附于肝胰腺之上, 左右两侧各 7 叶, 由 1 对前叶及 6 对侧叶所组成。前两叶短小, 第二叶左右两侧精巢在基部愈合, 其余各叶细长, 最后一叶贴附于输精管外壁之上。精巢每叶之内侧相互连接, 并与输精管相通。

(2) 输精管 自精巢主轴末端处延伸而出, 与第五步足底节 (coxopod) 中央处的生殖孔连接。每一个输精管包含了 4 个不同部位: ①近端短而狭长部位; ②位于中央之肥大部位; ③远端细长的输精管; ④末端壶腹。

(3) 末端壶腹 为球状构造, 成熟雄虾内含精荚, 具有很厚的肌肉层, 肌肉内均为柱状上皮细胞, 且中间有 2 个腔室, 一个腔室含精原细胞, 另一个腔室则有一些灰色物质。壶腹在第五步足底节基部处有一开口。

(4) 精子 很小之球状细胞, 分成头部及尾部, 头部很圆, 直径为 $3\ \mu\text{m}$, 尾部短而肥厚。一般而言, 精子是可以运动的 (图 1-9)。

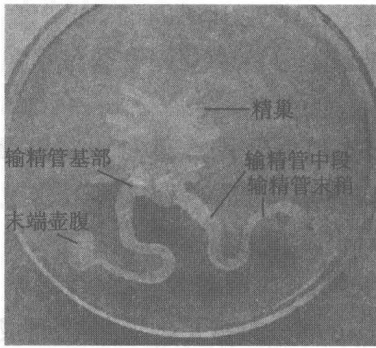


图 1-8 斑节对虾雄性性腺

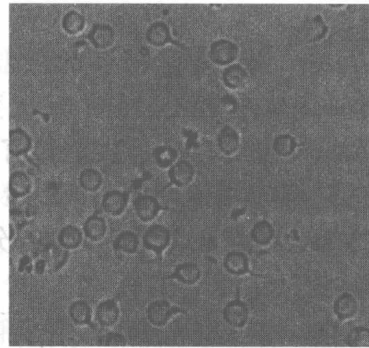


图 1-9 斑节对虾精子

3. 性腺组织学

精巢外包结缔组织薄膜，细胞扁圆，内部由同样的结缔组织围成许多弯曲的盲管，盲管之间有血窦存在。生发区紧贴于盲管内侧。

输精管及分泌管道 (secretory channel)：按输精管的管径大小及内部结构差异，可分为前、中、后 3 段，位于头胸甲与腹部交接的空腔 (图 1-10)。前端从各精巢小叶

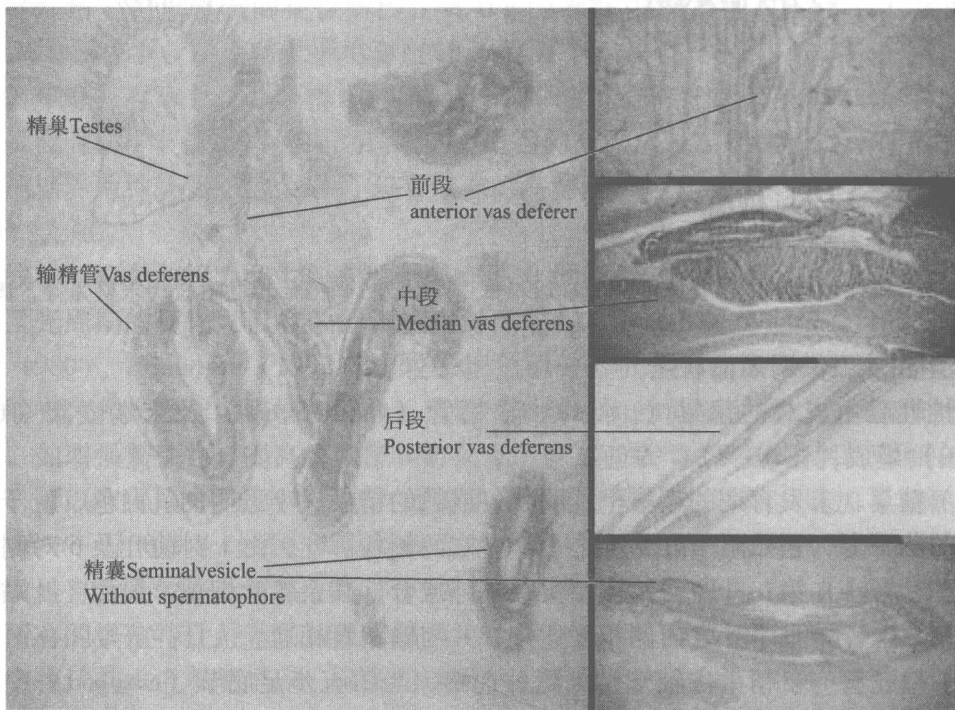


图 1-10 斑节对虾雄性性腺组织学结构图 (江世贵等, 2013)

的基端伸出，多支细管汇成一主管。中国明对虾、长毛对虾，日本囊对虾与斑节对虾几种对虾结构相似，输精管前端肉眼难以辨别。输精管中段较为粗大，直径 2 ~ 3 mm，弯曲地伸向头胸甲两侧，外观清晰，可分为白色混浊和透明部分，其内分别为分泌管道和输精管道。输精管中段沿鳃后缘下行，之后管径又逐渐变细通达第五步足的基部，与精囊相连。