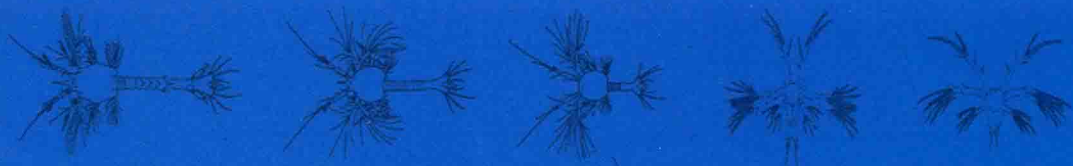
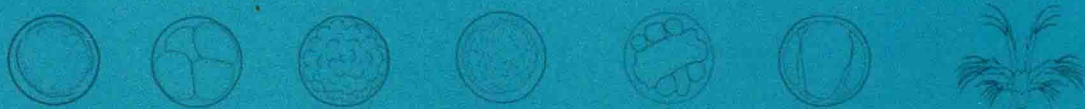


低盐环境下凡纳滨对虾的生理状态和营养调控

Physiological Status and Nutritional Modulation of *Litopenaeus vannamei* under Low Salinity

李二超 陈立侨 ● 著



非
外
借

低盐环境下凡纳滨对虾的 生理状态和营养调控

李二超 陈立侨 著

海洋出版社

2018年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

低盐环境下凡纳滨对虾的生理状态和营养调控/李二超, 陈立侨著. —北京:
海洋出版社, 2018. 6

ISBN 978-7-5210-0130-3

I. ①低… II. ①李… ②陈… III. ①南美白对虾-对虾养殖 IV. ①S968.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 132919 号

责任编辑: 程净净 项翔

责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京文昌阁彩色印刷有限公司印刷 新华书店总经销

2018 年 6 月第 1 版 2018 年 6 月第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 16.25

字数: 350 千字 定价: 88.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

凡纳滨对虾，旧称南美白对虾，是全球养殖规模和产量均居第一的经济甲壳动物。2016年，凡纳滨对虾的全球产量已超过 360×10^4 t。与此同时，凡纳滨对虾作为中国第一养殖对虾，其2016年的产量达 160×10^4 t。无论从养殖产量还是养殖规模的角度来说，凡纳滨对虾养殖都已经是中国虾蟹类养殖的支柱产业，其发展的速度和质量直接影响中国水产养殖业，尤其是虾蟹养殖业的健康发展。因此，以凡纳滨对虾为对象的研究一直受到学术界和业界的高度关注。凡纳滨对虾是海水物种，但对盐度的耐受范围非常广。基于这一生物学特性，凡纳滨对虾内陆低盐度养殖已经成为虾蟹养殖的一大热点，同时由于海洋资源的有限性以及全国养殖业全面发展的需求，该品种内陆低盐度养殖已占据中国对虾养殖产业的半壁江山，年产量约占中国该对虾总产量的一半。然而，随着凡纳滨对虾内陆低盐度养殖规模的不断扩大，各种问题日渐凸显，例如低盐度下对虾生长速度慢、成活率低、抗逆和抗病力差等，极大地限制了该产业的健康与可持续发展。日益扩大的淡化养殖规模，迫切要求我们对低盐度下凡纳滨对虾的营养需求和调控以及能量代谢进行研究。近年来，若干学者围绕低盐度下凡纳滨对虾的营养生理开展了大量的研究，取得了丰硕的成果。迄今，国内外虽有数本有关凡纳滨对虾养殖方面的书籍，但尚没有一本详尽描述低盐度下凡纳滨对虾养殖的专著。因此，亟须总结以往工作，便于有的放矢地深入开展相关研究，使我国凡纳滨对虾淡化养殖产业及相关研究向更好更深的方向发展。

本书是根据著者课题组历经十余年持续系统的研究，在取得大量原创性成果的基础上，综合国内外相关文献撰写而成的技术书籍。全书在概述凡纳滨对虾养殖生物学及产业发展现状的基础上，系统论述了低盐度对凡纳滨对虾的生理影响，分章节介绍了饲料中蛋白质、氨基酸、脂肪、脂肪酸、糖、维生素和矿物质等营养素对低盐度下凡纳滨对虾的生理功能及相应的最新研究进展。此外，本书还从对虾“肝、肠健康”方面介绍了影响机体健康的研究现状，介

绍了提高低盐度下凡纳滨对虾性能的营养学调控手段。该书着眼于低盐度下凡纳滨对虾养殖产业中的突出问题，章节结构清晰，系统性和可读性较强，希望能够成为科学研究者、大专院校学生、养殖用户的参考书籍。

本书中第一章、第六章和第十章主要由陈立侨执笔撰写；其余章节由李二超撰写完成。课题组王晓丹、徐畅、陈科、戚常乐、刘艳、索艳彤、苏玉洁、董扬帆、李会峰、周利、韩凤禄等多名研究生在本书编写过程中给予了热情的协助。本书的正式出版，还部分得益于海南大学科研启动费 [KYQD (ZR) 1736] 的支持，在此一并表示衷心的感谢。

本书在写作期间，新的研究成果不断涌现，著者尽可能地将相关文献收入书中，但不足之处在所难免。同时，由于个人能力和认知的限制，在一些基础理论阐述和应用技术建议上，也可能存在不足之处，恳请广大读者批评指正，以便今后逐步完善。

最后，我要感谢我的家人长期以来对我工作的大力支持。

李二超

2018年3月

目 录

第一章 凡纳滨对虾的养殖生物学及内陆低盐度养殖现状.....	(1)
第一节 凡纳滨对虾养殖生物学概述.....	(1)
第二节 凡纳滨对虾内陆低盐度养殖现状、问题及解决策略	(6)
第二章 低盐度下凡纳滨对虾的生理状态	(11)
第一节 凡纳滨对虾的渗透压调节策略	(11)
第二节 盐度对凡纳滨对虾蜕壳和生长的影响	(20)
第三节 低盐度下凡纳滨对虾的能量代谢	(25)
第四节 低盐度对凡纳滨对虾机体健康的影响	(38)
第五节 低盐度对凡纳滨对虾品质的影响	(43)
第三章 低盐度下凡纳滨对虾的蛋白质营养	(55)
第一节 蛋白质的分类、组成和生理功能.....	(55)
第二节 不同盐度下凡纳滨对虾对蛋白质和氨基酸的需要	(57)
第四章 低盐度下凡纳滨对虾脂肪营养	(71)
第一节 脂肪的生理功能	(71)
第二节 脂类的消化吸收和代谢利用	(73)
第三节 凡纳滨对虾在低盐度下的脂肪营养研究	(78)
第四节 低盐度下凡纳滨对虾的特殊脂类代谢	(83)
第五章 低盐度下凡纳滨对虾的糖营养	(93)
第一节 糖的种类和生理功能概述	(93)
第二节 甲壳动物糖代谢过程和调控的概述	(95)
第三节 低盐度下凡纳滨对虾饲料中糖营养的研究.....	(100)

第六章 低盐度下凡纳滨对虾的矿物质营养·····	(113)
第一节 矿物质元素的种类和生理功能·····	(113)
第二节 凡纳滨对虾对矿物质元素的需要量研究·····	(114)
第七章 低盐度下凡纳滨对虾对饲料中维生素的需求·····	(129)
第一节 维生素的种类和生理功能概述·····	(129)
第二节 常见甲壳动物饲料中维生素的需要量·····	(132)
第三节 低盐度下凡纳滨对虾对饲料中维生素的需要量·····	(138)
第四节 影响凡纳滨对虾维生素需要量的因素·····	(142)
第八章 凡纳滨对虾肝胰腺健康的影响因素及营养调控·····	(153)
第一节 虾蟹类肝胰腺功能和结构组成·····	(153)
第二节 影响虾蟹类肝胰腺健康的因素及调控策略·····	(161)
第九章 凡纳滨对虾肠道健康的影响因素及营养调控·····	(180)
第一节 凡纳滨对虾肠道组织学结构及其功能概述·····	(180)
第二节 对虾肠道免疫系统构成和肠道健康重要性·····	(184)
第三节 凡纳滨对虾肠道菌群组成、影响因素及其营养调控·····	(189)
第四节 虾蟹类围食膜结构与功能概述·····	(206)
第十章 提高低盐度下凡纳滨对虾性能的营养学手段·····	(224)
第一节 饲料营养对水产动物生理状态的重要调控作用·····	(224)
第二节 缓解低盐度对凡纳滨对虾应激效应的营养调控研究·····	(225)
第三节 饲料中常用功能性物质·····	(230)
附图·····	(245)

第一章 凡纳滨对虾的养殖生物学及内陆低盐度养殖现状

第一节 凡纳滨对虾养殖生物学概述

一、概述

凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*), 旧称南美白对虾, 国内也有人译之为白脚虾、万氏对虾或白脚对虾, 隶属于节肢动物门、甲壳纲、十足目、游泳亚目、对虾科、滨对虾属。凡纳滨对虾原产于美洲太平洋沿岸水域, 主要集中在秘鲁北部至墨西哥桑诺拉一带, 尤以厄瓜多尔沿岸分布最为密集。1988年由中国科学院海洋研究所的张伟权教授从美国夏威夷引进我国后, 于1994年获得小批量育苗的成功, 1999年成功培育出SPF (Specific-pathogen-free, 指不携带特定病原体) 凡纳滨对虾虾苗, 实现了育苗生产的工厂化。由于凡纳滨对虾具有个体大、头胸甲较小、出肉率高、生长快、抗病力和抗逆性强、繁殖期长、耐低盐度和高密度养殖、人工养殖周期短、便于活虾运输等优点, 其规模化健康养殖的开展将我国一度萧条的对虾产业推向了繁盛。目前, 凡纳滨对虾作为世界第一养殖虾类, 全球年产量达 360×10^4 t, 占对虾总产量的70%以上。我国养殖凡纳滨对虾的年产量已经超过 160×10^4 t, 超过养殖对虾总产量的80%, 是我国水产养殖的支柱型产业, 同时也是我国水产品出口的第一大品种, 是渔民增收的重要途径。

二、形态特征

1. 外部形态特征

凡纳滨对虾呈梭形 (图 1.1), 左右两侧略扁, 身体修长, 成体最长可达 24 cm, 与中国明对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 的外形极其相似。身披一层几丁质外壳, 略透明; 体色呈青蓝色或浅青灰色, 且可以随环境的变化而变化, 体壁下面的色素细胞扩大, 体色变深, 色

素细胞缩小，则体色变浅；虾体主要色素是由胡萝卜素与蛋白质共同作用结合形成，在遇高温或与无机酸、酒精相遇时，蛋白质沉淀，虾红素和虾青素析出；全身甲壳不具斑纹。

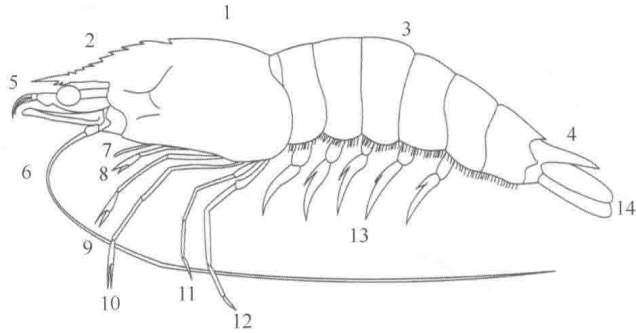


图 1.1 凡纳滨对虾外部形态 (何祝清绘)

1. 头胸甲；2. 额角；3. 腹部；4. 尾节；5. 第一触角；6. 第二触角；7. 第三颚足；8. 第一步足；9. 第二步足；10. 第三步足；11. 第四步足；12. 第五步足；13. 腹肢；14. 尾肢

凡纳滨对虾的身体分为头胸部和腹部两部分，头胸部短，与腹部的长度之比为 1 : 3。头胸部由一个完整而坚硬的头胸甲所包被，额角侧沟短，上下缘具有齿状突起，两侧生有一对可自由活动的眼柄，眼柄末端着生复眼，能够感受周围环境光线的变化并形成各种影像，头胸甲下方包裹着心脏、胃、肝胰腺和鳃等多个脏器，口位于头胸部的腹面。凡纳滨对虾腹部发达，由 7 个体节组成，体节从头至尾依次变小，前 5 节较短，第 6 节较长，末端的尾节形成尖锐的棱锥形，且具有中央沟。整个腹部均外披硬壳，在各个体节之间有膜质的关节，腹部可以自由屈伸运动。

凡纳滨对虾共有 20 个体节，除了尾节外，每一体节均具有一对附肢，各个附肢的位置和形状均与其功能密切相关。头部具有 5 对附肢，第一附肢称为小触角，第二附肢为大触角，第三附肢为大颚，第四附肢和第五附肢分别称为第一小颚和第二小颚。胸部具有 8 对附肢，包括 3 对颚足及 5 对步足，能够辅助呼吸、摄食及爬行。腹部具有 6 对附肢，为游泳足，是凡纳滨对虾的主要游泳器官。雌雄个体的第一、第二附肢具有一定的差异。第六附肢宽大，与尾节合称尾扇。

2. 内部结构

凡纳滨对虾内部器官与其他对虾类似，可以归纳为肌肉系统、循环系统、消化系统、呼吸系统、排泄系统、生殖系统、神经系统、内分泌系统和甲壳（体壁）。凡纳滨对虾的肌肉主要是横纹肌，肌纤维集合形成强有力的肌肉束，主要集中于虾体腹部，也是其主要食用部位；腹部肌肉有力而迅速地收缩和舒张能够支持虾体有力地弹跳，从而躲避敌害。凡纳滨对虾具有开管式循环系统，由心脏、血管、血窦和血液组成。消化系统由消化腺和消化道两部分构成（图 1.2），肝胰腺是对虾的主要消化腺，主要功能是分泌各种消化酶，

进行消化、吸收和营养物质的储存。凡纳滨对虾主要依靠鳃进行呼吸，其位于头胸甲侧甲和体壁构成的鳃腔中，具有较大的表面积，更有利于气体的交换，供给生命活动。大触角腺基部的触角腺是凡纳滨对虾主要的排泄器官，由囊状腺体、膀胱和排泄管组成，虾体主要的代谢废物以氨的形式由此排出，除此之外，触角腺还具有一定的渗透压调节和离子平衡的能力。凡纳滨对虾为雌雄异体，雌性生殖系统包括一对卵巢、输卵管和纳精囊，生殖孔位于第三步足基部，纳精囊属于开放型纳精囊；雄性生殖系统包括一对精囊、输精管和精荚囊，生殖孔开口于第五对步足基部。凡纳滨对虾的内分泌系统由神经内分泌系统和非神经内分泌系统两部分组成，内分泌系统分泌的各种激素调控着对虾的生长、性腺成熟、呼吸、渗透压调节、繁殖活动等重要的生理机能。对虾的体壁最外层是由几丁质、蛋白复合物和钙盐等形成的甲壳，保护和支撑着整个身体，在对虾生长蜕壳时，旧的甲壳被吸收，软化而最终蜕去，由上皮细胞分泌的几丁质逐渐硬化形成新的甲壳。

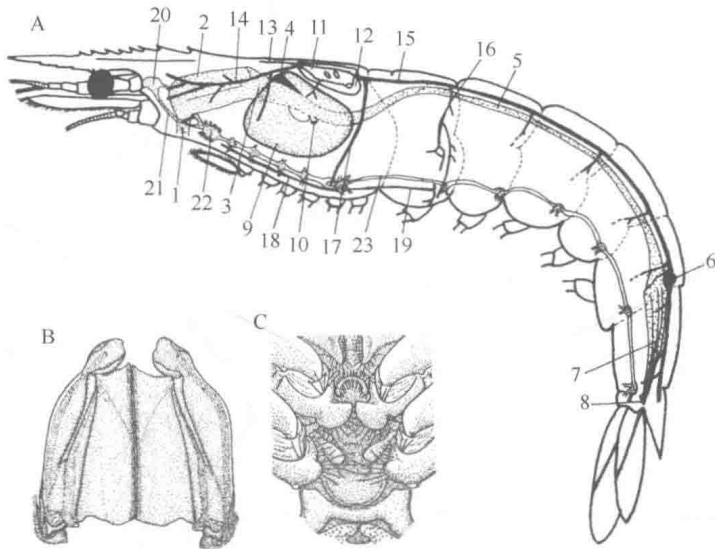


图 1.2 凡纳滨对虾解剖侧面观 (A: 示消化、循环和神经系统) 和雄 (B)、雌 (C) 性交接器

1. 食道; 2. 贲门胃; 3. 幽门胃; 4. 中肠道盲囊; 5. 中肠; 6 中肠后盲囊; 7. 后肠; 8. 肛门; 9. 肝胰腺;
10. 肝孔; 11. 心室; 12. 围心腔; 13. 中央动脉; 14. 前侧动脉; 15. 腹背动脉; 16. 体节动脉; 17. 胸动脉;
18. 胸下动脉; 19. 腹下动脉; 20. 脑神经节; 21. 围食道神经环; 22. 食道下神经节; 23. 腹神经链

资料来源: 王克行, 2008

三、生态习性

1. 食性

凡纳滨对虾的食性为杂食性。在自然水域中，凡纳滨对虾主要栖息于泥质海底，幼体

营浮游生活，常常集中在饵料生物丰富的河口附近海区和海岸潟湖软泥底质的浅海中，以微藻、浮游动物和水中的悬浮颗粒为食，发育至虾苗或仔虾阶段的个体也会摄食部分微藻和浮游动物，生长至成虾阶段后食物组成较为多样，主要以蠕虫、小型贝类、小型甲壳类、多毛类和桡足类等水生动物为食，同时还会摄入部分藻类和有机碎屑等。

凡纳滨对虾的摄食具有节律性，夜间进食比白天多，但在全人工养殖过程中，由于池塘水体中不存在敌害生物，且白天光合作用强，水体溶氧充足，可能会改变对虾的摄食节律。在正常生长的情况下，凡纳滨对虾日均摄食量约占体重的5%，在性成熟期间，尤其是卵巢和精巢发育的中期和后期，摄食量可达到正常生长时期的3~5倍（王兴强等，2004）。

2. 水温

凡纳滨对虾对水温变化的适应能力较强，相比之下，对高温的适应能力要强于对低温的适应能力。对虾对高、低温度忍耐的极限分别为43.5℃和4℃，在18~35℃水温范围内可正常摄食和生长，在24~33℃水温范围内具有良好的摄食并能快速生长，且随水温的升高，对虾的摄食、耗氧和生长都有所增加（Villarreal et al., 1994）。30~33℃是凡纳滨对虾摄食和生长的最适温度，可达到峰值。当水温低于18℃时，对虾会停止摄食，长期处于15℃以下的水体中会导致对虾昏迷，水温低于9℃时导致对虾死亡。水温高于33℃时，对虾抗病力下降，食欲减退或停止摄食（陈昌生等，2001）。但是，不同大小或不同环境下的凡纳滨对虾对温度的容忍能力会有所差异，一般个体较小的幼虾对水温变化的适应能力相对较弱。

3. 盐度

凡纳滨对虾是典型的广盐性虾类，具有很强的盐度适应能力，可以适应的盐度范围为0.5~50。凡纳滨对虾体液的等渗点接近718 mOsm/kg，对应水体盐度约为25（Castille and Lawrence, 1981）。但是由于苗种的来源和大小的区别，众多研究人员对其最适生长盐度意见不一，综合大量研究发现，水体盐度在15~25范围时对虾可获得较适的存活和生长，当水体盐度低于5时，对虾的存活和生长都会受到负面影响，同时还会伴随抗胁迫能力下降、尾部肌肉抽搐、昏迷或无方向性的旋转等行为的出现（Davis et al., 2002）。在淡化养殖的过程中，放养虾苗的水体必须经过渐进式的淡化处理，在低盐水体中养成的对虾口味品质略有下降，一般在收虾前1~2周会逐渐提高水体盐度来提升口感和肌肉品质。

4. pH值

养殖池塘水体的pH值的变化与诸多因素有关，如微藻数量、光照强度、溶氧度及氨氮含量等，因此pH值的变化往往也是养殖水体理化反应和物种运动状况的综合反映。凡

纳滨对虾偏好弱碱性的水体，在 pH 值为 7.5~8.5 的范围内生长较为合适。当水体 pH 值低于 7 时，会影响凡纳滨对虾正常的蜕壳，生长和活动也会受到限制，当水体 pH 值过高，水中氨氮的毒性便会大大增加，对对虾的生长十分不利，因此实时检测水体 pH 值的变化对健康养殖十分重要 (Wang et al., 2009; Pante, 1990)。

5. 溶解氧

水体中的溶解氧含量是影响水生生物存活和生长至关重要的因素之一，更是封闭式循环水养殖系统中的重要因子。在天然或养殖池塘水体中，溶解氧会随气候、温度、盐度、有机体的腐败程度和生物的呼吸代谢程度的变化而变化。当池塘中对虾放养密度过大时，水色变浓，透明度降低，水体的溶解氧含量也会产生变化 (Wyban and Lee, 1987)。封闭式养殖系统中，随着养殖时间的延长，对虾体型增大，水中残饵、粪便等物质氧化分解耗氧量也逐渐增加，水体溶氧含量会显著降低 (Williams and Davis, 1996)。当水体溶氧低于 2 mg/L 时，凡纳滨对虾的生长会受到明显的抑制，其缺氧窒息点在 0.5~1.53 mg/L。对虾个体越大，呼吸含氧量增加，耐低氧能力越差，在对虾蜕壳期间，对水体溶氧的需求还会有所增加，且长期低氧状态会使凡纳滨对虾死亡率升高，甲壳变软，残食现象严重。当水体溶氧升高时，凡纳滨对虾的饲料转化效率和消化酶活力都会增加，从而保证其存活 (段妍等, 2013)。

养殖水体中微藻的丰富度对溶解氧的含量有显著的影响。当天气晴好、阳光充足时，水体中微藻的光合作用产生的氧气含量会远超过动物体呼吸作用的耗氧量，能够保证对虾生长；若在连续阴雨天或夜间，微藻光合作用效率降低，水中动物大量消耗氧气，溶解氧含量大幅下降，威胁对虾的存活，尤其是养殖后期。在低密度养殖水体中，建议溶氧在 4 mg/L 以上，而在高密度养殖水体中，建议溶解氧含量不低于 5 mg/L，以保证对虾的存活和生长 (Mcgraw and Teichert-coddington, 2001; 杨逸萍等, 1999)。

四、繁殖和发育

凡纳滨对虾雌雄个体的第一、第二附肢存在一定的差别。雄性个体的第一附肢内侧特化形成雄性交接器，在与雌性个体进行交配时，交接器用于传递精荚，第二附肢内侧另有小型的附属肢节，用于辅助交配；雌性个体的第一附肢内肢变小，以便于交配。凡纳滨对虾具有开放型的纳精囊，交配行为通常发生在性腺成熟的雌虾产卵前的 4~12 h，交配行为是在雌虾硬壳状态下完成的，交配后，精荚能够依靠自身的黏附性贴在雌虾第 4~5 对步足之间，交配后的雌虾排卵时，精荚内的精子释放，在水中完成受精作用。自然海域中，12 个月以上、头胸甲长度 40 mm 左右的对虾便会出现抱卵现象，且凡纳滨对虾的繁殖期长，在主要分布区域，常年可见抱卵亲虾。池塘养殖条件下的凡纳滨对虾的卵巢不易

成熟，但我国工厂化的育苗技术已经较为完善，苗种的批量化生产有力地推动了我国凡纳滨对虾养殖产业的快速发展（王广军，2000）。

凡纳滨对虾的生长发育可分为受精卵、无节幼体、蚤状幼体、糠虾幼体、仔虾、幼虾和成虾 7 个阶段，仔虾、幼虾和成虾均属于对虾的养成阶段，此前的阶段均属于幼体发育阶段（图 1.3）。无节幼体（nauplius）分为 6 期（N I ~ N VI），每期蜕皮一次，躯体不分节，有 3 对附肢，无完整口器，因此不能够摄食，依靠自身的卵黄维持生命活动，经过 2 d 即可变态至蚤状幼体。蚤状幼体（zoea）分为 3 期（Z I ~ Z III），此期趋光性强，躯体开始分节，形成头胸甲、完整的口器和消化器官，开始主动摄食，约每天经历一期，3 d 左右变态为糠虾幼体。糠虾（mysis）幼体有 3 期（M I ~ M III），约每天经历一期，此时的躯体分节更加明显，腹部的附肢开始形成，头重脚轻，常常在水中呈现倒立状态，此时对虾的摄食能力有所增强，可捕食细小的浮游生物，3 d 后，进入到仔虾（juvenile）阶段。仔虾的外部形态和成虾基本相同，以经历的天数进行分期，一般在生长到 P V 期时可进行出售、淡化或者强化培育。苗种体长增至 0.8~1 cm 时，即可放入池塘进行虾苗标粗。成虾（adults）的寿命 1~2 年，期间约蜕皮 50 次，蜕壳多发生在夜间，蜕壳前，对虾的活动剧烈，甲壳蓬松，腹部向胸部折叠，反复屈伸，头胸甲翻起，身体从甲壳中蜕出，继续弹动身体将尾部和附肢从旧的甲壳中抽出。刚刚蜕壳的成虾身体防御机能弱，活动能力也弱，此时可通过喂功能饲料，加大充气量或勤换水等方式，尽量使同一塘中的成虾的蜕壳频率一致，减少相互蚕食的发生。

第二节 凡纳滨对虾内陆低盐度养殖现状、问题及解决策略

一、养殖现状

凡纳滨对虾对盐度的适应范围很广，为 0.5~50，因此，凡纳滨对虾的养殖可以打破地域的局限。过去的 20 多年，凡纳滨对虾的养殖区域逐渐从我国东部沿海向内陆扩展，在咸淡水交汇的低盐度河口区、盐碱地、水源充足的江河流域和淡水湖周边进行大面积的养殖，其中以长三角和珠三角地区的养殖为主。除此之外，在安徽、辽宁、河北、广西等地具有一定规模的凡纳滨对虾淡水养殖也正在如火如荼的进行中。养殖规模的不断扩大，使得产量也逐年增加。2000 年，低盐度养殖已在部分地区开展，在养殖管理等均较好的前提下，每公顷最高产量为 2.5×10^4 kg。而我国目前内陆低盐度养殖凡纳滨对虾，每公顷平均产量可达 7.0×10^4 kg，目前的低盐度养殖面积保守估计已达 1.5×10^4 hm²。近几年，凡纳滨对虾全国的产量达 160×10^4 t，其中海水养殖的产量约为 85×10^4 t，低盐度养殖的产量

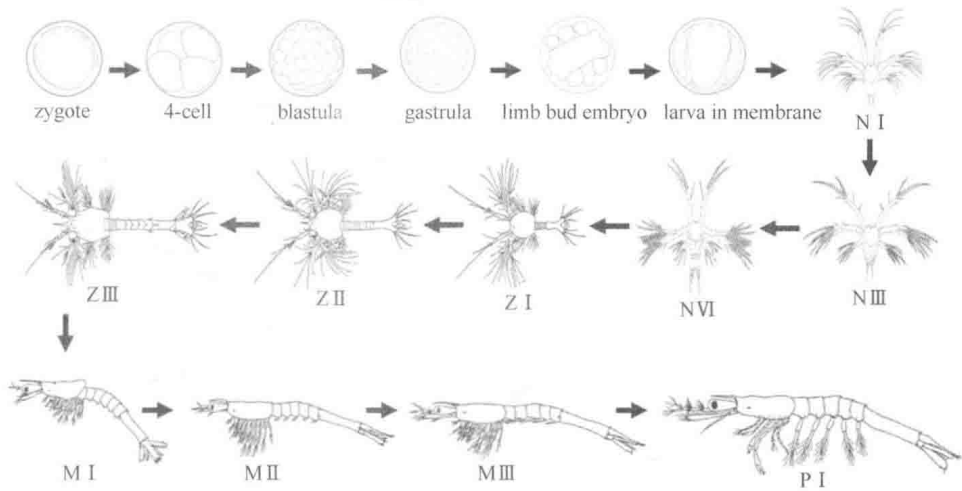


图 1.3 凡纳滨对虾早期胚胎发育过程示意图

zygote: 受精卵; 4-cell: 卵裂期; blastula: 囊胚期; gastrula: 原肠胚期; limb bud embryo: 肢芽幼体期; larva in membrane: 膜内幼体期; N I, N III, N VI: 无节幼体 I, III 和 VI 期; Z I ~ Z III: 溞状幼体期; M I ~ M III: 糠虾幼体期; P I: 仔虾期

资料来源: Wei et al., 2017

约为 75×10^4 t, 产值超过 500 亿元。

二、主要问题

巨大的数字背后也隐藏了诸多的问题, 虽然低盐度养殖的产量逐年攀升, 但亩产量仍然与海水养殖下的亩产量存在不小的差异 (Laramore et al., 2010; Ogle et al., 1992)。因此, 若能有效地解决低盐度养殖环境下抑制对虾生长的因素, 提高低盐度凡纳滨对虾的亩产量, 将获得更为可观的产值和经济效益。据统计分析, 近年来, 低盐度凡纳滨对虾的养殖成功率仅为 2~3 成, 如何提高养殖的成功率成为养殖户迫切关注的核心问题。

在初期, 由于海水养殖的病害频发以及旅游业的快速发展, 低盐度的凡纳滨对虾养殖逐渐兴起。低盐度养殖能够从水源上切断海水中的病原体传染而导致的继发性病毒性疾病, 有效地缓解了海水养殖疾病暴发的压力。但随着凡纳滨对虾内陆低盐度养殖面积的不断扩大, 新的问题也随之而来。目前, 我国 90% 以上的城市淡化水源已受到不同程度的污染, 而由于低盐度养殖大量地抽取地下水, 严重破坏了淡水资源, 土壤的蓄水和排水能力均受到严重的影响, 造成区域土地生产性能的下降, 耕种地面积减少, 同时, 为了调节盐度所添加的卤水或粗盐也对土壤造成了潜在的破坏, 加之养殖技术更新的进程缓慢, 造成低盐度养殖向不可持续发展的方向进行。

长时间的低盐度养殖使苗种的退化严重, 部分苗种携带病毒导致病害暴发, 例如“黑

脚偷死”病、肌肉白浊、黑斑病等，这使对虾生长迟滞。越来越多的新型病害的暴发也使得水产药物市场变得混乱，很多不能对症下药，不能及时地解决问题；同时，养殖污水的大量排放使有毒、有害的藻类和细菌大量繁殖，外源污染日益严重。除此之外，由于低盐度水体的金属离子含量少，对虾软壳现象较多，导致抗离水能力差，而对虾表皮钙化速度迟缓，易受到病菌的感染，严重时甚至导致死亡。低盐度或淡水环境的总碱度常常低于白对虾对总碱度的需求（70~150 mg/kg），当水体碱度较低时，水质容易变动，pH值的浮动范围变大，对虾易出现不间断的蜕壳、软壳、蜕壳不遂等情况，导致对虾机体免疫力下降，病原体感染的概率大大增加。适当并合理的肥水有助于提高水体的总碱度。另外，水体肥度的提高在一定程度上能够增加水体的天然饵料生物的丰富度，提高对虾的营养摄入。硬度值是另一个低盐度水体不同于海水的特点，我国绝大多数内陆淡水环境的总硬度均小于100 mg/L，较低的硬度也会导致对虾出现蜕壳难和软壳的现象，因此，适当地提高水体的硬度不仅仅对有机物的转化、有毒物质毒性的降低具有重要作用，而且对藻类和对虾的生长发育都具有不可或缺的积极作用。

三、解决当前问题的策略

在凡纳滨对虾低盐度养殖过程中，对疾病的控制有诸多关键的环节，对于大部分对虾养殖户来说，虾苗的选择至关重要。为了提高成活率，一般选择体表无污染，体质健康且规格较大的虾苗进行放养。在养殖过程中要以预防为主，时刻关注水体质量的变化，及时关注对虾的生长状态，根据天气和对虾生长阶段对饲料进行调配，进行合理科学的投喂。已有诸多学者证实，进行营养干预能够有效地改善凡纳滨对虾在低盐度环境下的生长及免疫状况，是低盐度养殖凡纳滨对虾的重要调控手段（Li et al., 2015; 2008）。合理的饲料调控还能够缓解低盐度养殖带来的凡纳滨对虾口感较差的问题，提高对虾的风味。在养殖模式方面，除了要大面积地推广环境友好型的健康养殖技术和质量保障型的标准化养殖技术，以“养护”模式代替“消杀”模式，合理的采用“轮养”、“混养”和“隔养”等生态高效养殖模式外，我们更要限制养殖规模，尤其是严格禁止内陆提高盐度增加亩产量的行为，并适当地采用微生态制剂进行防控，在技术和管理上多花心思，促进低盐度养殖凡纳滨对虾产业的可持续发展。

在整个低盐度养殖过程中，多种营养元素要通过人工添加才能满足对虾的生长需求，如维生素C的添加能够改善对虾机体的免疫力，缓解水体质量不稳定对对虾的负面影响（刘襄河等，2007）。矿物质元素的添加能够有效地缓解对虾软壳现象的出现、提高水体的碱度、维持微生物的丰富度及平衡。因此，定期使用微生态制剂进行全池的泼洒能有效地防止蓝藻的大量繁殖并有效地控制有害指标的负面影响。而提高水体的总硬度在一定程度上相当于提高水体中钙镁离子的总浓度，在养殖条件允许的情况下，适量地注入新水并加

入一些生物制剂,可以稳定水体的底质和 pH 值,增强养殖水体的缓冲能力,还能减轻养殖水体中重金属对对虾的毒性效应。水体的氨氮、亚硝酸盐等因素的变化均能导致水环境 pH 值的波动, pH 值是多种指标变化的综合反映,因此,时刻关注水体 pH 值的波动对于成功养殖有重要意义。适当的肥水,控制水体藻类及浮游动物的种类,调节水体的碱度和硬度都能够进一步保证水体 pH 值的稳定(曹煜成等,2007)。因此,在整个养殖的过程中,各种因素的协调和及时合理的处理突发状况对对虾的成功养殖具有至关重要的意义。

对虾的消化系统比包括鱼类在内的脊椎动物的消化系统简单,主要依赖肝胰腺和肠道行使机体营养物质消化、转运、吸收等功能。因此,对虾的肝肠功能比鱼类等高等动物更复杂、更强大。同时,肝胰腺是对虾体内最重要的解毒器官,而肠道因其在机体应对外界病原过程中起到的物理(肠道结构的完整性)、化学(免疫炎症反应)和生物(肠道微生物菌群共生)屏障作用,使其成为对虾机体重要的免疫器官之一。在凡纳滨对虾的养殖过程中,各种常见疾病(如 EMS、白便症等)的发生,在一定程度上均与对虾肝胰腺和肠道健康状态相关。对虾的肝肠健康一旦受到影响,会直接影响对虾机体的整体生理活动。因此,保肝、护肝及维持对虾肠道完整性和菌群平衡,对于对虾的健康养殖具有十分重要的现实意义。

参考文献

- 曹煜成,李卓佳,杨莺莺,等. 2007. 浮游微藻生态调控技术在对虾养殖应用中的研究进展 [J]. 南方水产科学, (3): 70-73.
- 陈昌生,黄标,叶兆弘,等. 2001. 南美白对虾摄食、生长及存活与温度的关系 [J]. 集美大学学报, (6): 296-300.
- 段妍,张秀梅,张志新. 2013. 溶解氧对凡纳滨对虾生长及消化酶活性的影响 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 43: 8-14.
- 王克行. 2008. 虾蟹类健康养殖原理与技术 [M]. 北京: 科学出版社.
- 王广军. 2000. 南美白对虾的生物学特性及繁殖技术 [J]. 水产科技情报, 27: 128-132.
- 王兴强,马牲,董双林. 2004. 凡纳滨对虾生物学及养殖生态学研究进展 [J]. 海洋湖沼通报, (4): 94-100.
- 杨逸萍,王增焕,孙建,等. 1999. 精养虾池主要水化学因子变化规律和氮的收支 [J]. 海洋科学, (1): 15-17.
- Castille F L, Lawrence A L. 1981. The effect of salinity on the osmotic sodium and chloride concentrations in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus *Penaeus* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, Part B, 68, 1: 75-80.
- Davis D A, Saoud I P, McGraw W J, Rouse D. 2002. Considerations for *Litopenaeus vannamei* reared in inland low salinity waters [C]. In: Cruz-Suarez L E, Ricque-Marie D, Tapia-Salazar M, et al. (eds). Advances

- in Nutrition Acuicola VI. Proceedings of the VI International Symposium on Nutrition Acuicola. 3 to 6 September 2002. Cancun, Quintana Roo, Mexico.
- Laramore S, Laramore C R, Scarpa J. 2010. Effect of low salinity on growth and survival of postlarvae and juvenile *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 32: 385-392.
- Li E, Chen L, Zeng C, et al. 2008. Comparison of digestive and antioxidant enzymes activities, haemolymph oxyhemocyanin contents and hepatopancreas histology of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at various salinities [J]. Aquaculture, 274: 80-86.
- Li E, Wang X, Chen K, et al. 2015. Physiological change and nutritional requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* at low salinity [J]. Reviews in Aquaculture, 7: 1-19.
- Mcgraw W, Teichert-coddington D R, Rouse D B, et al. 2001. Higher minimum dissolved oxygen concentrations increase penaeid shrimp yields in earthen ponds [J]. Aquaculture, 199: 311-321.
- Ogle J T, Beaugez K, Lotz J M. 1992. Effects of salinity on survival and growth of postlarval *Penaeus vannamei* [J]. Gulf & Caribbean Research, (8): 415-421.
- Pante M J R. 1990. Influence of environmental stress on the heritability of molting frequency and growth rate of the Penaeid shrimp, *Penaeus vannamei* [D]. University of Houston-Clear Lake, Houston, TX.
- Villarreal H, Hinojosa P, Naranjo J. 1994. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of laboratory produced *Penaeus vannamei*, postlarvae [J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part A, 108: 331-336.
- Wang W, Zhou J, Wang P, et al. 2009. Oxidative stress, DNA damage and antioxidant enzyme gene expression in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* when exposed to acute pH stress [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C, 150: 428-435.
- Wei J, Zhang X, Yu Y, et al. 2014. Comparative transcriptomic characterization of the early development in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* [J]. PLoS One, (9): e106201.
- Williams A S, Davis D A, Arnold C R. 1996. Density-dependent growth and survival of *Penaeus setiferus* and *Penaeus vannamei* in a semi-closed recirculating system [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 27: 107-112.
- Wyban J A, Lee C S, Sato V T, et al. 1987. Effect of stocking density on shrimp growth rates in manure-fertilized ponds [J]. Aquaculture, 61: 23-32.