

Current Situation and Development Direction of Shrimp Engineering Culture in China

Wujie Xu¹, Yucheng Cao^{1,2}, Pengcheng Fan¹, Xiaojuan Hu^{1,2}, Yu Xu¹, Haochang Su^{1,2}, Wei Yu^{1,2}, Guoliang Wen^{1,2*}

¹Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation and Utilization, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou Guangdong

²Shenzhen Base of South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shenzhen Guangdong

Email: xu_wujie@163.com, *guowen66@163.com

Received: Oct. 8th, 2019; accepted: Oct. 23rd, 2019; published: Oct. 30th, 2019

Abstract

This paper analyzes the current situation of shrimp culture in three common engineered systems: high-altitude lined pond, small earthen pond with shed and engineered recirculating pond; and further discusses the development direction of shrimp engineering culture.

Keywords

Shrimp, Engineering Culture, High-Altitude Lined Pond, Small Earthen Pond, Engineered Recirculating Pond

我国对虾工程化养殖现状及发展方向

徐武杰¹, 曹煜成^{1,2}, 范鹏程¹, 胡晓娟^{1,2}, 徐煜¹, 苏浩昌^{1,2}, 虞为^{1,2}, 文国樑^{1,2*}

¹中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州

²中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地, 广东 深圳

Email: xu_wujie@163.com, *guowen66@163.com

收稿日期: 2019年10月8日; 录用日期: 2019年10月23日; 发布日期: 2019年10月30日

*通讯作者。

文章引用: 徐武杰, 曹煜成, 范鹏程, 胡晓娟, 徐煜, 苏浩昌, 虞为, 文国樑. 我国对虾工程化养殖现状及发展方向[J]. 农业科学, 2019, 9(10): 938-944. DOI: 10.12677/hjas.2019.910132

摘要

通过分析对虾高位池养殖、如东小棚养殖、工厂化养殖等常见工程化养殖模式的发展现状，来探讨对虾工程化养殖的发展方向。

关键词

对虾，工程化养殖，高位池，小棚养殖，工厂化养殖

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国是世界主要的养虾大国，对虾养殖已发展成为我国海水养殖业的支柱性产业。据统计，2018年我国海水养殖对虾产量达130万多吨，养殖面积22.3万公顷以上；其中，南美白对虾、斑节对虾、中国对虾以及日本对虾是我国主要的养殖品种[1]。

近二十年来，我国对虾养殖业取得了快速发展，养殖技术和模式也在不断改进和更新。当前我国对虾养殖模式主要有：潮间带综合生态养殖、土池养殖、高位池养殖、如东小棚养殖、工厂化养殖等。潮间带综合生态养殖和土池养殖主要是依靠潮差纳排水实现养殖水质的控制，单位产量较低，且受水域环境质量和气候条件影响很大；高位池养殖、如东小棚养殖、工厂化养殖是在传统的粗放式养殖模式上，根据不同的养殖技术要求和目标，针对性地进行了不同程度的工程化改造，发展成为各具特色的对虾工程化养殖模式。

2. 常见工程化养殖模式的发展现状

2.1. 高位池养殖

高位池养殖模式又称提水式精养模式，是目前集约化程度相对较高的对虾规模化养殖模式之一。20世纪80年代引入我国华南沿海养殖主产区之后发展迅速，据不完全统计，高位池养殖模式目前已经占我国对虾海水养殖面积的40%以上[2]。它具有养殖密度高，人为调控性强的特点，由于它在养殖过程中需要大量排换水，一般多建设在水源供给丰沛的地方。其次，高位池的池底多高于海平面2~10 m，依靠机械提水，且易于排换水，不受潮水因素的影响，通过其便捷的排换水特性可以实现对养殖水质的有效控制，因此养殖经济效益良好。但该养殖模式在提水、增氧等方面都需要消耗大量电能；前期设施建设成本投入也较传统土池高；加之大量换水引发的环保压力和养殖病害风险控制等问题，使得该养殖模式的高风险性也随之大幅升高。近年来在行业倡导可持续绿色发展的大背景下，该模式也存在着一系列亟待解决的技术瓶颈。

申玉春等[3]研究发现，高位池对虾养殖水质在中后期会经常处于严重富营养化的状态。李奕雯等[4]研究指出，在凡纳滨对虾海水高位池养殖后期的主要水质因子受天气变化影响大，且变动幅度大。可见，虽然高位池可以利用大量换水改善养殖水质状况，但养殖后期若管理不善依然会存在水质恶化，进而影响养殖对虾的健康生长。对此，针对高位池高密度养殖下的上述问题，胡维安等[5]研究提出了一种集合

筛网过滤、生化反应、泡沫分离和臭氧杀菌于一体的多功能高位池循环水处理系统,结果显示,该系统在处理水流量 40 m³/h 时,水质净化效率最佳。符瞰等[6]研究提出以人工快渗处理工艺对高位池养殖尾水的 COD、悬浮物、氨氮和磷酸盐进行处理,出水水质可达到《污水综合排放标准》的一级标准。朱林等[7]提出以气浮机对高位池养殖水环境进行处理可达到良好的水质调控效果。可见,在原有高位池系统条件下添加一定量水处理设施设备,可是实现对养殖水质的有效净化。此外,还有学者提出以微生物技术对高位池水体生态环境进行调控,胡晓娟等[8]研究认为在高位池冬棚养殖过程中科学使用益生菌制剂,可以净化水质,稳定生态环境。

有不少学者都对高位池养殖系统的水环境控制进行了研究探索,但是高位池养殖模式当前面临的主要问题依然是养殖排换水量大,特别是在养殖后期日换水量甚至可达 50% 以上。虽然添加一定量水处理设施设备可对该问题起到一定缓解作用,而由于其前期投入大,经设备处理的水量无法满足养殖生产实际需求的用水量,这也严重限制了相关研究成果在养殖生产一线的应用与规模化推广。所以,如何有效解决高位池换水量大的问题,研发一种适用于规模养殖生产实际需求的零换水养殖模式和技术,已经成为高位池养殖转型升级的重要课题之一。

2.2. 如东小棚养殖

“如东小棚养殖”是近年来华东地区兴起的一种基于传统土池工程化改进的新型对虾养殖模式,因为在江苏如东地区得到大规模发展,业内将之命名为“如东小棚养殖”[9][10]。它主要是为解决温度对养殖生产的影响,在养殖池上搭建塑料温棚进行封闭养殖,温度较低时还会采用锅炉提温的方式进行增温;养殖池面积一般小于 600 m²,养殖水深为 0.6~0.8 m;养殖过程中通过持续抽取地下水入池,同时配合溢流管系统,以“细水长流”的方式对养殖水质进行控制。相较传统的土池和集约化高位池对虾养殖模式而言,小棚养殖具有入门门槛低、养殖周期短,产量比传统土池高等特点,近些年来已经成为华东养殖区域的热点养殖模式之一。

然而,小棚对虾养殖模式在可持续发展方面也存在着一系列亟待解决的问题。一方面是地下水、河水与沿海的水源水质污染不断加剧,另一方面由于连续的高密度养殖导致生产的风险性升高,池塘老化也日趋严重。此外随着当地养殖的无序扩张,加之大量未经处理的养殖尾水排出,对周边水域生态环境造成了严重的破坏。

万夕和[9]提出当前如东小棚的对虾养殖模式存在地下水资源消耗过大、缺少排污系统、养殖排水量大且未经处理的问题。对此,唐绍林等[11]提出应增加水体增氧设备,加深水位,降低放苗密度,修建蓄水池、沉淀池、排污设施等;邓波[10]提出可利用生物絮团技术调控养殖水质,降低养殖换水量;李忠红等[12]在借鉴江苏如东地区小棚养殖经验的基础上,对池塘进行改造,配备了增氧设施,利用生物技术对水质进行调控取得了良好效果。可见,无论是传统池塘养殖模式,还是高位池精养和如东小棚养殖模式,如何处理好养殖生产和环境保护之间的关系,做到可持续绿色发展已成为对虾养殖产业面临的首要问题[13]。

2.3. 工厂化养殖

工厂化养殖模式是配备物理化学水处理装备以及生物净化装置,实现养殖用水循环利用的集约化养殖模式。该模式的尾水处理系统主要由沉淀池、过滤系统、气浮系统、生物净化系统组成[14]。沉淀池主要对虾壳、对虾残体以及排泄物和残饵等进行分离,也有一些系统会引入旋转分离器进行液固分离[15][16];再使用气浮的方法对养殖水体的悬浮颗粒物进行泡沫分离[17];最后通过生物净化系统去除养殖尾水中的氨氮、亚硝酸氮、磷酸盐等可溶性物质。在异位水处理系统中应用微生物技术净化养殖尾水时,

一般会把微生物固定在一个适宜其生长、繁殖的固体环境中,使其形成生物滤器或生物膜[18] [19] [20] [21]。与传统池塘养殖方式相比,工厂化养殖模式在一定程度上实现了封闭式水循环,它的优点在于使用有限的土地和水体资源进行集约化对虾养殖生产,提高了资源的利用效率。同时,水体的循环使用,可有效预防了外来致病微生物的入侵,有利于实现养殖病害的防控效率。

在工厂化零换水养殖系统领域有不少学者都进行了有益探索。Mock 等[22]研究提出在对虾集约化封闭跑道池系统中利用气泵即可实现水循环、曝气和部分去除废物的效果。而后随着生物工程技术、微生物技术、膜技术在对虾工厂化养殖中的使用,大幅提高了水处理效率,完善了工厂化循环水养殖系统[23] [24] [25]。近年来对虾养殖用水循环利用率可达 85% 以上[26],例如,德州跑道式循环水养虾系统主要包括:跑道式养殖池,转鼓式微滤机、蛋白分离器、生物过滤器、臭氧反应器、水泵和充氧装置等[27],通过各种设施设备的有效技术组装,养殖过程基本可达到零换水。其后发展的佛罗里达三阶段养虾系统[28],虽然也取得了较好的养殖效果,但还未完全达到零换水。管崇武等[29]研究提出利用移动床生物滤器水处理技术和藻类净化技术构建凡纳滨对虾循环水养殖系统。韩书煜等[30]在原有鲍鱼养殖池系统的基础上,采取分级养殖、水温控制、机械增氧等措施进行对虾养殖试验,取得了良好的养殖效果,但其中不少技术细节还需与规模化生产工艺流程进行有效对接。廖思明等[31]利用造波装置,人工海草,固体污染物去除装置,过滤装置,杀菌设备等构建跑道式养殖系统,但养殖过程中还存在对虾生长缓慢,体型较小等问题。臧维玲等[32]将臭氧仪、泡沫分离器和粗滤器等组成室内循环水处理系统,并开展凡纳滨对虾零换水养殖试验,结果收获虾平均体重 13.56 g。此外,黄永春等[33]、杨菁等[34]也进行了相关探索。

总体而言,工厂化养殖的前期投资成本高,设施投入主要包括养殖池、大棚,以及在增氧系统、水质处理系统、温度控制系统、监测系统等,比传统池塘养殖高出几倍甚至几十倍,且养殖过程设备运行与维护费用也较高[35]。加之综合考虑高密度养殖条件下的风险性因素,从而严重限制了该模式的规模化应用与推广。

3. 对虾工程化养殖发展方向

3.1. 面临的问题及发展需求

当前水产养殖产业正面临产业结构调整优化和转型升级的问题。与此同时以高位池为主的对虾工程化养殖模式的兴起,以及华东地区如东小棚养殖模式的出现,都表明了我国对虾养殖产业的生产模式正在从传统简易的池塘养殖向工程化集约型养殖模式发展。这也符合当前和未来对虾养殖产业可持续养殖的发展要求。早在 2013 年国务院就印发《关于促进海洋渔业持续健康发展的若干意见》(国发[2013]11 号)指出,科学发展海水养殖需要大力推广可持续的绿色健康水产养殖模式。可见,我国政府对于水产养殖的环保问题越来越重视。因此,优化建立绿色健康的对虾养殖生产模式已经迫在眉睫。近年来出现了以集约化零换水养殖为核心的环境友好型养殖生产模式。该养殖模式具有环境可控性强、养殖生产效益高、潜在市场需求大等特点,是我国对虾养殖产业可持续发展的重要方向之一。建立基于零换水的高效养殖生产技术体系,有效解决传统工程化养殖高投入、养殖系统具体的软硬件对接,以及相关配套技术与产品的应用等技术性问题,无论从对虾养殖产业发展的产品和市场,还是从技术层面都有巨大的实际意义。

3.2. 关于发展对策及方向的思考

我国未来对虾养殖产业的发展方向应符合国家政策和经济发展的要求,建立一种可持续的对虾健康绿色养殖模式。该模式主要有以下几点要求:一是,节约用水,减少排放。当前我国大部分对虾养殖都需要通过大量换水来降低水中有害因子对虾的影响,然而养殖过程中大量换水不仅浪费水资源,增加用

水成本, 而且还会增加引入致病菌的风险。大量的养殖尾水排入河流或近海都会对周围环境产生一定的负荷。近年来兴起的生物絮团技术为解决对虾养殖水体有害氮积累、实现养殖水质原位调控, 提供了一种切实可行的微生物技术手段。二是, 降低能耗和节约成本。当今的工厂化养殖模式, 虽然可以进行高密度对虾养殖生产, 但是它所需配套的增氧、增温、进排水和水处理系统都要消耗大量的电能, 而且设备运行的维护管理费用也比较高, 使得养殖生产成本大幅增加。因此, 如何优化构建工程化养殖系统, 降低工程化养殖模式结构成本, 构建一种高效节能的工程优化技术方案是未来该养殖模式可持续发展的重要需求。三是, 提高养殖成功率和生产稳定性。无论是高位池精养模式, 还是近年来备受关注的工厂化、如东小棚养殖模式, 它们的养殖成功率和稳定性都在逐年下降, 单位面积产量也有所下滑, 养殖病害造成的损失不断升高, 对虾养殖产业面临的风险逐年增加。因此, 有效提高养殖的成功率和生产稳定性是未来对虾养殖可持续发展的重要动力。

4. 总结

近十年来, 以中国水产科学院南海水产研究所为代表的科研单位, 改进和优化了对虾高位池配套养殖设施, 熟化并建立了微生物调控养殖环境技术体系, 构建了凡纳滨对虾工程化高效健康养殖技术和模式, 并探索了基于生物絮团的对虾高密度零换水养殖技术, 初步改造形成了水体封闭循环的跑道式养殖池系统, 为我国南方海水池塘养殖转型升级提供了有益的技术支撑[36]-[41]。

对比国内外养殖现状和发展趋势, 对虾海水池塘养殖已从单纯追求养殖产量增加, 转向更加注重环境友好和节水减排。对虾养殖池塘作为人工生态系统, 未来研究应从系统论出发, 合理优化养殖结构组成, 形成养殖功能区块互补, 基于水体微生物生态网络, 建立水质生态调控技术, 探索构建符合生态高效的工程化健康养殖技术模式。

基金项目

国家自然科学基金青年科学基金项目(NSFC 31602167), 现代农业产业技术体系建设专项虾蟹体系岗位科学家经费(编号: CARS-48); 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项资金(编号: 2019KJ149); 深圳市科技计划知识创新基础研究项目(编号: JCYJ 20170817103947002)。

参考文献

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- [2] 康保超, 雷莹, 张亚楠, 等. 南美白对虾两种养殖模式下的经济效益比较分析[J]. 中国渔业经济, 2014, 32(6): 67-73.
- [3] 申玉春, 熊邦喜, 叶富良, 等. 凡纳滨对虾高位池养殖系统的水质理化状况[J]. 湛江海洋大学学报(自然科学), 2006, 26(1): 16-21.
- [4] 李奕雯, 曹煜成, 李卓佳, 等. 凡纳滨对虾海水高位池养殖后期水环境因子日变化状况[J]. 广东农业科学, 2011, 38(20): 108-111.
- [5] 胡维安, 李纯厚, 颜晓勇, 等. 高位池循环水养殖系统的构建及其水质调控效果[J]. 广东农业科学, 2011, 38(23): 124-128.
- [6] 符瞰, 符芳欢. 一种高位池养殖废水处理工艺的设计与应用[J]. 中国给水排水, 2013, 29(10): 83-85.
- [7] 朱林, 车轩, 刘晃, 等. 气浮机对高位池养虾水质的调控效果[J]. 农业工程学报, 2014(3): 149-154.
- [8] 胡晓娟, 文国樑, 李卓佳, 等. 养殖中后期高位池对虾水体微生物群落结构及水体理化因子[J]. 生态学杂志, 2018, 37(1): 171-178.
- [9] 万夕和. 南美白对虾“如东小棚”模式的发展现状分析[J]. 科学养鱼, 2017(4): 1-3.
- [10] 邓波. 如东温棚对虾养殖模式与技术的优化[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.

- [11] 唐绍林, 李云冰, 高雪. 江苏如东小棚养虾模式如何改进[J]. 海洋与渔业·水产前沿, 2015(11): 59-60.
- [12] 李忠红, 李耕, 伊长涛, 等. 营口地区南美白对虾小棚养殖高产高效[J]. 科学养鱼, 2017(3): 28-30.
- [13] 文国樑, 杨铿, 李卓佳, 等. 南美白对虾高效养殖模式攻略[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 17-23.
- [14] 曹煜成, 李卓佳, 贾小平, 等. 对虾工厂化养殖的系统结构[J]. 南方水产科学, 2006, 2(3): 72-76.
- [15] Veerapen, J.P., Lowry, B.J. and Couturier, M.F. (2005) Design Methodology for the Swirl Separator. *Aquacultural Engineering*, **33**, 21-45. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2004.11.001>
- [16] Davidson, J. and Summerfelt, S.T. (2005) Solids Removal from a Coldwater Recirculating System-Comparison of a Swirl Separator and a Radial-Flow Settler. *Aquacultural Engineering*, **33**, 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2004.11.002>
- [17] Chen, S., Timmons, M.B., Bisogni Jr., J.J. and Aneshansley, D.J. (1994) Modeling Surfactant Removal in Foam Fractionation: II -Experimental Investigations. *Aquacultural Engineering*, **13**, 183-200. [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(94\)90002-7](https://doi.org/10.1016/0144-8609(94)90002-7)
- [18] 张明星, 徐仲. BCO-MBR 系统处理对虾养殖废水及膜污染研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2017, 33(2): 153-158.
- [19] Shanableh, A. and Hijazi, A. (1998) Treatment of Simulated Aquaculture Water Using Biofilters Subjected to Aeration/Non-Aeration Cycles. *Water Science & Technology*, **38**, 223-231. <https://doi.org/10.2166/wst.1998.0810>
- [20] Santhana, V.K., Pandey, P.K., Anand, T., et al. (2018) Biofloc Improves Water, Effluent Quality and Growth Parameters of *Penaeus vannamei* in an Intensive Culture System. *Journal of Environmental Management*, **215**, 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.015>
- [21] Yao, C., Tan, H.-X., Luo, G.-Z. and Li, L. (2013) Effects of Temperature on Inorganic Nitrogen Dynamics in Sequencing Batch Reactors Using Biofloc Technology to Treat Aquaculture Sludge. *North American Journal of Aquaculture*, **75**, 463-467. <https://doi.org/10.1080/15222055.2013.808297>
- [22] Mock, C.R., Salsler, B.R. and Neal, R.A. (1973) A Closed Raceway for the Culture of Shrimp. *Journal of the World Aquaculture Society*, **4**, 247-259. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1973.tb00110.x>
- [23] Thompson, F.L. and Abreu, P.C. (2002) Importance of Biofilm for Water Quality and Nourishment in Intensive Shrimp Culture. *Aquaculture*, **203**, 263-278. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00642-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00642-1)
- [24] McIntosh, R.P. (2001) Changing Paradigms in Shrimp Farming. V. Establishment of Heterotrophic Bacterial Communities. *Global Aquaculture Advocate*, **4**, 53-58.
- [25] Davis, D.A. and Arnold, C.R. (1998) The Design, Management and Production of a Recirculating Raceway System for the Production of Marine Shrimp. *Aquacultural Engineering*, **17**, 193-211. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(98\)00015-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(98)00015-6)
- [26] 李林春, 陈方平. 节能型循环水养殖系统的构建与生产成本分析[J]. 渔业现代化, 2012, 39(5): 11-15.
- [27] Reid, B. and Arnold, C.R. (1992) The Intensive Culture of the Penaeid Shrimp *Penaeus vannamei* Boone in a Recirculating Raceway System. *Journal of the World Aquaculture Society*, **23**, 146-153. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1992.tb00763.x>
- [28] Wyk, P.V., Davis-Hodgkins, M. and Laramore, R. (1999) Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems. Harbor Branch Oceanographic Institution, Fort Pierce, FL, 1-9.
- [29] 管崇武, 刘晃, 张宇雷. 凡纳滨对虾工厂化循环水养殖试验研究[J]. 渔业现代化, 2010, 38(4): 21-26.
- [30] 韩书煜. 南美白对虾的工厂化养殖试验[J]. 中国水产, 2001(5): 50-51.
- [31] 廖思明, 李祥兴. 南美白对虾跑道式养殖试验[J]. 科学养鱼, 2005(6): 40-41.
- [32] 臧维玲, 戴习林. 室内凡纳滨对虾工厂化养殖循环水调控技术与模式[J]. 水产学报, 2008, 32(5): 749-757.
- [33] 黄永春, 林祥日. 凡纳滨对虾高位池反季节健康养殖技术的研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(17): 154-159.
- [34] 杨菁, 管崇武, 宋红桥, 等. 基于物质平衡的对虾高位池循环水养殖系统设计及试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(14): 217-222.
- [35] 常抗美, 吴剑锋. 海水池塘凡纳滨对虾工厂化养殖技术[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2006, 25(2): 228-230+236.
- [36] 李卓佳. 华南地区对虾养殖模式与清洁健康养殖关键技术[J]. 科学养鱼, 2009(9): 12-13.
- [37] 李卓佳, 文国樑, 曹煜成, 杨铿, 贾晓平, 陈永青, 杨莺莺. 一种三茬工厂化对虾养殖方法及其养殖池[P]. 中国专利, CN1911003. 2007-02-14.

- [38] 李纯厚, 魏小岚, 颀晓勇, 李琦, 胡维安. 对虾高位池循环水养殖效果比较分析[J]. 广东农业科学, 2011, 38(17): 91-95.
- [39] Cao, Y.C., Wen, G.L., Li, Z.J., Liu, X.Z., Hu, X.J., Zhang, J.S. and He, J.G. (2014) Effects of Dominant Microalgae Species and Bacterial Quantity on Shrimp Production in the Final Culture Season. *Journal of Applied Phycology*, **26**, 1749-1757. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0195-0>
- [40] Xu, W.J., Xu, Y., Huang, X.S., Hu, X.J., Xu, Y.N., Su, H.C., Li, Z.J., Yang, K., Wen, G.L. and Cao, Y.C. (2019) Addition of *Algicidal bacterium* CZBC1 and Molasses to Inhibit Cyanobacteria and Improve Microbial Communities, Water Quality and Shrimp Performance in Culture Systems. *Aquaculture*, **502**, 303-311. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.063>
- [41] 徐武杰, 文国樑, 曹煜成, 李卓佳, 武心华, 孔延涛, 胡晓娟, 徐煜, 苏浩昌. 一种基于硝化菌团调控水质的南美白对虾高密度零换水养殖方法[P]. 中国专利, CN106259080, 2019-06-25.