



· 综述 ·

## 我国海水养殖贝类病害发生现状及防控策略

宋林生\*

(大连海洋大学, 辽宁省海洋动物免疫学与疫病防控重点实验室, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 贝类养殖是我国水产养殖业的重要组成部分, 在促进经济社会发展、提高就业率、改善人民生活及保护生态环境等方面发挥了重要作用, 其经济、社会和生态功能日益凸显。近年来, 因环境胁迫和病原侵染引发的海水养殖贝类暴发性病害时有发生, 所造成的经济损失巨大, 严重阻碍了海水养殖产业的绿色高质量发展。贝类缺乏适应性免疫, 且主要养殖于开放或半开放水体, 难以通过疫苗注射或环境调控等手段进行病害防控。贯彻“绿色防控”的理念, 加快病害预警预报体系建设是海水养殖贝类病害防控的重要发展方向。本文综述了我国海水贝类养殖及病害发生的现状, 并结合团队前期研究和病害预警预报工作实践, 提出了海水养殖贝类病害防控策略, 以期提升我国水产动物疫病防控能力, 为保障水产品稳定安全供给、促进水产养殖业绿色高质量发展提供参考。

**关键词:** 海水养殖贝类; 病害发生; 病害防控; 预警预报

**中图分类号:** S 941

**文献标志码:** A

### 1 我国海水贝类养殖现状

海水养殖是我国农业的支柱产业。贝类是我国海水养殖的主导种类, 其养殖产量约占海水养殖总产量的 70%。近年来, 我国海水贝类养殖产量总体呈上升趋势, 其中 2018 年养殖产量 1443.9 万 t, 2022 年增至 1569.6 万 t, 增幅为 8.7%。海水贝类养殖面积较为稳定, 近五年维持在 120 万 hm<sup>2</sup> 左右。海水贝类育苗量涨势迅猛, 从 2018 年的 28081.6 亿万粒增至 2022 年的 54702.1 亿万粒, 增幅高达 94.8%<sup>[1]</sup>。

养殖品种多样化是我国海水贝类养殖产业的重要特点之一。从产量来看, 我国海水贝类养殖呈现以牡蛎、蛤、扇贝为主, 贻贝、蛭、蚶、螺、鲍等品种为辅的产品结构。综合考虑产量、产值

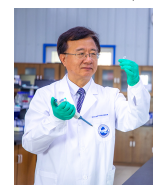
和蛋白贡献率, 排名前四的依次为牡蛎、蛤、扇贝和鲍, 其合计产量、产值和蛋白贡献率均占全国海水养殖贝类的近 80%, 在保障水产品稳定安全供给和促进农民增收方面发挥重要作用<sup>[1]</sup>。从养殖地区来看, 我国逐渐形成了以山东、福建、辽宁、广东为主产区的海水贝类养殖布局<sup>[2]</sup>。2022 年四大主产区海水贝类养殖总产量达 1219.5 万 t, 占全国海水贝类养殖总产量的 77.7%, 山东、福建和辽宁的年产量均超过 250 万 t, 其中山东产量最高, 达 442.9 万 t<sup>[1]</sup>。

我国的海水养殖贝类多为双壳、滤食性、不投饵种类, 贝类养殖不仅能够带来巨大的经济效益, 还兼具重要的生态服务功能。2018—2020 年, 我国海水贝类养殖总碳汇(以碳计)达 542~554 万 t/年(平均 547 万 t/年), 净碳汇 343~351 万 t/年(平

收稿日期: 2023-09-19 修回日期: 2023-10-29

资助项目: 国家自然科学基金(41961124009, 32320110); 国家现代农业产业技术体系(CARS-49); 农业农村部农业科研杰出人才及其创新团队项目

通信作者: 宋林生, 从事水产学、遗传学、分子免疫学与病害防控研究, E-mail: lshsong@dlou.edu.cn



均 346 万 t/年), 碳汇效应显著, 且具有较强的交易可行性和市场潜力, 在服务国家“双碳”战略目标方面具有很大的发展潜力<sup>[3]</sup>。

## 2 我国海水养殖贝类病害发生现状

近年来, 由于养殖规模不断扩大、养殖技术和模式陈旧、养殖生态环境恶化、极端恶劣天气频发等原因, 海水养殖贝类大规模死亡事件频繁发生, 造成了重大经济损失, 严重制约了贝类产业的健康发展。《2022 中国水生动物卫生状况报告》中的相关数据显示, 2021 年养殖贝类因病害导致的经济损失达 153 亿元<sup>[4]</sup>。

海水养殖贝类病害可根据致病因素不同分为病原性病害和环境胁迫性病害。近年来暴发的病原性病害主要包括弧菌病、脓疱病、疱疹病毒病、才女虫病、派琴虫病等, 由细菌、病毒、寄生虫等病原引发<sup>[5-7]</sup>。细菌性疾病以副溶血弧菌 (*Vibrio parahaemolyticus*)、溶藻弧菌 (*V. alginolyticus*) 等引发的弧菌病最为常见, 如牡蛎弧菌病、鲍脓疱病、虾夷扇贝脓疱病等, 患病贝类摄食量减少、活动能力下降, 出现外套膜萎缩、组织溃烂等症状<sup>[8]</sup>。本团队研究发现, 灿烂弧菌 (*V. splendidus*)、新喀里多尼亚弧菌 (*V. neocaledonicus*)、科氏希瓦氏菌 (*Shewanella colwelliana*) 感染会引起虾夷扇贝 (*Patinopecten yessoensis*) 出现闭壳肌纤维结构散乱、肌细胞的细胞核消失等脓疱病病症<sup>[7,9-10]</sup>。本团队跟踪监测了北黄海贝类养殖区水环境中细菌群落结构的变化特征, 发现在每年 6—8 月, 即贝类病害高发期, 养殖水环境中的弧菌丰度大幅增加<sup>[11-12]</sup>。同时, 弧菌在虾夷扇贝等养殖贝类的肠道和外套膜中显著富集, 增加了贝类的患病风险<sup>[13-14]</sup>。牡蛎疱疹病毒 (OsHV-1) 是目前鉴定的养殖贝类主要病毒性病原之一, 曾引发我国北方蚶科 [毛蚶 (*Scapharca subcrenata*)、魁蚶 (*S. broughtonii*)] 成贝和幼虫的大规模死亡, 给蚶类育苗和养殖带来巨大挑战<sup>[5]</sup>。调查广西近岸养殖贝类寄生虫感染情况发现, 北海派琴虫 (*Perkinus beihaiensis*) 的感染率显著高于奥尔森派琴虫 (*P. olseni*), 夏秋季派琴虫的感染率高于冬春季<sup>[15]</sup>。

受人类活动和全球气候变化影响, 由高温、低氧、饵料匮乏等环境胁迫引发的贝类大规模死亡事件频繁发生。高温是导致多种贝类死亡的主要诱因之一, 以长牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 和虾夷

扇贝夏季大规模死亡为典型代表, 呈现集中暴发、危害程度高的特点。高温季节贝类糖原含量低、抗逆性弱, 易感染致病菌, 死亡率可达 80% 以上<sup>[16-17]</sup>。受海洋分层加剧的影响, 海洋低氧区不断扩大, 低氧引起贝类氧化损伤, 严重威胁贝类健康<sup>[18]</sup>。2023 年 6 月, 浙江省临海市持续高温阴雨天气导致海区溶解氧浓度降低, 发生养殖牡蛎大面积死亡事件。随着养殖密度不断加大, 饵料匮乏已成为制约我国海水贝类养殖业健康可持续发展的主要瓶颈。本团队研究发现, 北黄海和渤海贝类养殖水体存在不同程度的磷限制和硅限制, 使得浮游藻类中硅藻的比例减少、甲藻比例增加, 对贝类养殖产量和品质等重要经济性性状产生不利影响<sup>[19-20]</sup>。

贝类病害导致的大规模死亡已成为制约产业绿色高质量发展的主要瓶颈。开展贝类病害发生原理和防控技术研究, 加快推进贝类养殖业绿色发展, 对于保护水域生态环境、保障国家粮食安全愈显紧迫和重要。

## 3 海水养殖贝类病害防控策略

海水养殖贝类病害的发生是病原、宿主与环境三者间相互作用的结果。贝类缺乏适应性免疫系统, 且通常养殖于开放海区, 难以通过疫苗注射、药物投放或环境调节等措施来控制病害的发生<sup>[21]</sup>。因此, 贯彻“预防为主, 防重于治”的理念, 加快建设病害预警预报体系是突破海水养殖贝类病害防控瓶颈的关键。近年来, 我国科研工作者在贝类病原<sup>[9,21-23]</sup>、贝类免疫防御机制<sup>[24-25]</sup>及环境胁迫应答机制<sup>[26]</sup>等方面均取得了良好的进展。但对养殖贝类尤其是开放水体中养殖贝类的病害防控尚缺乏有效手段。建立养殖贝类健康评价体系, 加强养殖海区生态环境的监测及病害发生的预警预报已成为保障我国海水贝类养殖业健康可持续发展、确保粮食和生态安全的迫切需求。

### 3.1 开展贝类流行病学调查, 加快病原数据库建设

针对贝类病害相关研究缺乏连续性和系统性、缺乏标准的流行病学资料、以及难以确定病因与病原等问题, 聚焦全国贝类主产区和主要养殖品种, 开展流行病学调查, 建设养殖贝类流行病学数据库。查明贝类暴发性疾病的病因, 鉴定重要

养殖贝类的病原, 加快建设病原数据库和开放共享平台, 为贝类养殖产业的可持续健康发展提供基础数据支撑。

### 3.2 构建病害预警预报体系, 促进产业转型升级

病害预警预报体系的构建是突破海水养殖贝类病害防控瓶颈问题的关键。有效综合贝类生物学、免疫学、水产养殖学、微生物学、生态学、海洋学、气象学等学科领域的最新研究成果, 深入探索病原致病机理、贝类免疫防御机制和贝类病害发生机理, 进一步完善贝类病害预警的理论体系。分析病原、宿主与环境的耦合关系, 筛选预警兆指标, 研发预警兆指标的预测、检测和监测、预警等相关技术, 提升预警预报技术的准确性、灵敏性和时效性。加强全面监测, 掌握产业动态, 建设预警信息发布平台, 构建有效联动的水产应急减灾组织体系。贝类病害预警预报和防控技术体系的构建将为推动贝类产业新旧动能转换, 促进产业转型升级奠定基础。

### 3.3 加强养殖容量评估与监管, 科学规划产业布局

开展贝类养殖容量评估, 科学评价水域滩涂承载能力, 合理确定养殖容量, 是有效预防贝类病害发生的重要举措。根据不同养殖贝类的生物学特性、养殖模式以及养殖海区的生态环境特征等, 科学确定我国贝类主产海区公共自然水域的养殖规模和密度, 建立和完善贝类养殖容量评估技术规范, 建立与之相配套的养殖技术操作规程。近年来部分海区贝类养殖规模出现爆发式扩张, 远超海区的承载力, 科学规划海区布局, 调减养殖规模超过水域滩涂承载能力区域的养殖总量势在必行。完善养殖容量评估和监管的相关政策和法规, 规范行业秩序, 促进行业健康良性发展。

### 3.4 推广标准化养殖技术, 提升产业现代化水平

建立和推广贝类标准化养殖技术, 提升贝类养殖产业现代化水平是实现病害有效防控的重要保障。加快贝类苗种的标准化、产业化培育技术体系建设, 推进贝类苗种产地检疫和风险评估工作。加强贝类养殖海区生态环境监测、贝类健康状况和病原检测的机械化、自动化技术创新和装备研发, 提升贝类养殖产业的智能化、现代化发展水平。加强贝类养殖区海洋环境、贝类生物学、病原微生物学等数据的整合、存储与管理, 研发数据的标准化、同化与共享等技术, 加快基于大

数据的智能决策支持系统在贝类病害防控中的应用, 提高重大疫病防控和应急处置能力。

### 3.5 完善贝类病害防控管理体系, 保障产业绿色高质量发展

紧密围绕水产养殖绿色发展这一主线, 健全贝类等水产动物病害防控法律法规体系, 完善水产动物疫病防控行政管理、水产动物卫生监督、水产技术推广及技术支撑等机构建设, 加快水产疫病防控科研体系和队伍建设, 依法推进病害综合防治技术措施的落实与实施, 为贝类养殖业绿色高质量发展保驾护航。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

#### 参考文献 (References):

- [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, 2023.  
Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. Statistical yearbook of fishing industry in China from 2001 to 2023[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023 (in Chinese).
- [2] 王波, 韩立民. 我国贝类养殖发展的基本态势与模式研究[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2017(3): 5-12.  
Wang B, Han L M. A study on the basic situation and pattern of shellfish breeding in China[J]. Journal of Ocean University of China (Social Sciences), 2017(3): 5-12 (in Chinese).
- [3] 唐启升, 蒋增杰, 毛玉泽. 渔业碳汇与碳汇渔业定义及其相关问题的辨析[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(5): 1-7.  
Tang Q S, Jiang Z J, Mao Y Z. Clarification on the definitions and its relevant issues of fisheries carbon sink and carbon sink fisheries[J]. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(5): 1-7 (in Chinese).
- [4] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站. 2022 中国水生动物卫生状况报告 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.  
Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center. 2022 Aquatic animal health in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022 (in Chinese).



- [ 5 ] Bai C, Gao W, Wang C, *et al.* Identification and characterization of ostreid herpesvirus 1 associated with massive mortalities of *Scapharca broughtonii* broodstocks in China[J]. *Diseases of Aquatic Organisms*, 2016, 118(1): 65-75.
- [ 6 ] Zhang W J, Mao J X, Yuan C Z, *et al.* Histological changes in the mantle tissue of the Yesso scallop *Patinopecten yessoensis* shell infested by *Polydora*[J]. *Journal of Shellfish Research*, 2020, 39(1): 87-97.
- [ 7 ] Geng Z, Gao L, Yu Z, *et al.* The isolation and identification of a pathogenic *Vibrio neocaledonicus* from Yesso scallop (*Patinopecten yessoensis*)[J]. *Invertebrate Survival Journal*, 2022, 19(1): 91-104.
- [ 8 ] 张颖雪, 苏洁, 樊景凤, 等. 海水养殖贝类弧菌病流行暴发及其环境影响因素研究进展[J]. *海洋环境科学*, 2020, 39(3): 480-487.
- Zhang Y X, Su J, Fan J F, *et al.* Outbreaks of vibriosis in mariculture shellfish and its research progress[J]. *Marine Environmental Science*, 2020, 39(3): 480-487 (in Chinese).
- [ 9 ] Liu R, Qiu L M, Yu Z A, *et al.* Identification and characterisation of pathogenic *Vibrio splendidus* from Yesso scallop (*Patinopecten yessoensis*) cultured in a low temperature environment[J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2013, 114(2): 144-150.
- [10] 林雪洁, 高磊, 于子超, 等. 一株虾夷扇贝病原——科氏希瓦氏菌的分离鉴定及其致病性[J]. *大连海洋大学学报*, 2022, 37(6): 933-940.
- Lin X J, Gao L, Yu Z C, *et al.* Isolation, identification and pathogenicity of *Shewanella colwelliana*, a pathogen of Yesso scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2022, 37(6): 933-940 (in Chinese).
- [11] Gao L, Yu Z C, Liu C, *et al.* Characteristics and particularities of bacterial community variation in the offshore shellfish farming waters of the North Yellow Sea[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9: 997817.
- [12] 高磊, 孔宁, 刘冉阳, 等. 夏季北黄海贝类养殖区环境因子、长牡蛎糖原和免疫指标变化的调查研究[J]. *水产学报*, 2023. DOI: 10. 11964/jfc. 20220313357.
- Gao L, Kong N, Liu R Y, *et al.* Investigation on the variation of environmental factors, glycogen and immune parameters of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in the North Yellow Sea shellfish farming area in summer[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023. DOI: 10. 11964/jfc. 20220313357 (in Chinese).
- [13] Yu Z C, Liu C, Wang F F, *et al.* Diversity and annual variation of phytoplankton community in Yesso scallop (*Patinopecten yessoensis*) farming waters of North Yellow Sea of China[J]. *Aquaculture*, 2019, 511: 734266.
- [14] Li F Z, Kong N, Zhao J Y, *et al.* The intestinal bacterial community over seasons and its relationship with physiological status of Yesso scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2023, 141: 109030.
- [15] 杨小彤, 叶灵通, 卢洁, 等. 广东近岸海域贝类寄生派琴虫流行病学调查研究[J]. *南方水产科学*, 2022, 18(1): 128-134.
- Yang X T, Ye L T, Lu J, *et al.* Epidemiology investigation of *Perkinsus* spp. in shellfish along coastal area of Guangdong Province[J]. *South China Fisheries Science*, 2022, 18(1): 128-134 (in Chinese).
- [16] 于佐安, 李文姬, 张明, 等. 虾夷扇贝大规模死亡的流行病学研究及可能致病因子的探讨[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2013, 43(6): 52-57.
- Yu Z A, Li W J, Zhang M, *et al.* Identification of possible pathogenic factors of massive mortality and its epidemiological investigation of cultured Scallop (*Patinopecten yessoensis*)[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2013, 43(6): 52-57 (in Chinese).
- [17] Liu M K, Li Q Y, Tan L T, *et al.* Host-microbiota interactions play a crucial role in oyster adaptation to rising seawater temperature in summer[J]. *Environmental Research*, 2023, 216: 114585.
- [18] Guo Y Y, Wu C, Sun J. Pathogenic bacteria significantly increased under oxygen depletion in coastal waters: a continuous observation in the central Bohai Sea[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2022, 13: 1035904.
- [19] Yu Z C, Liu C, Fu Q, *et al.* The differences of bacterial communities in the tissues between healthy and diseased Yesso scallop (*Patinopecten yessoensis*)[J]. *AMB Express*, 2019, 9: 148.
- [20] Kong N, Liu Z Q, Yu Z C, *et al.* Dynamics of phytoplankton community in scallop farming waters of the Bohai Sea and North Yellow Sea in China[J]. *BMC Ecology and Evolution*, 2022, 22: 48.
- [21] 宋林生. 海水养殖贝类病害预警预报技术及其应用[J]. *大连海洋大学学报*, 2020, 35(1): 1-9.

- Song L S. An early warning system for diseases during mollusc mariculture: exploration and utilization[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2020, 35(1): 1-9 (in Chinese).
- [22] Xia J Y, Bai C M, Wang C M, *et al.* Complete genome sequence of *Ostreid herpesvirus-1* associated with mortalities of *Scapharca broughtonii* broodstocks[J]. *Virology Journal*, 2015, 12: 110.
- [23] 宋微波, 王崇明, 王秀华, 等. 栉孔扇贝大规模死亡的病原研究新进展[J]. *海洋科学*, 2001, 25(12): 23-26.
- Song W B, Wang C M, Wang X H, *et al.* New Research progress on massive mortality of cultured scallop *Chlamys farreri*[J]. *Marine Sciences*, 2001, 25(12): 23-26 (in Chinese).
- [24] Song L S, Wang L L, Qiu L M, *et al.* Bivalve immunity[M]//Söderhäll K. *Invertebrate immunity*. New York: Springer, 2010: 44-65.
- [25] Wang L L, Song X R, Song L S. The oyster immunity[J]. *Developmental & Comparative Immunology*, 2018, 80: 99-118.
- [26] Liu Z Q, Li M J, Yi Q L, *et al.* The neuroendocrine-immune regulation in response to environmental stress in marine bivalves[J]. *Frontiers in Physiology*, 2018, 9: 1456.

## The occurrence and prevention and control strategies of mollusc diseases in marine aquaculture of China

SONG Linsheng \*

(Liaoning Key Laboratory of Marine Animal Immunology and Disease Control, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** Mollusc aquaculture contributes dominantly to the aquaculture industry in China, which plays an increasingly significant role in the development of economy, society and ecology, including promoting economic and social development, employment, as well as improving living standards of the people and protection of ecological environment. However, the outbreaks of mollusc diseases have resulted in substantial economic losses, which has seriously threatened the development of green and high-quality aquaculture industry. As molluscs lack adaptive immunity and are usually cultured in open or semi-open waters, it is difficult to prevent and control the diseases through environmental management or vaccine injection. The development of “green prevention” strategy and disease warning system is vital for the sustainable aquaculture. This article summarizes the current status of mollusc aquaculture and disease occurrence, and proposes the strategies for disease prevention and control. This review will provide reference for improving the disease control capabilities of aquaculture, ensuring the supply of aquatic products, and promoting the development of high-quality aquaculture industry.

**Key words:** marine molluscs; disease occurrence; disease prevention and control; warning and forecasting

**Corresponding author:** SONG Linsheng. E-mail: lshsong@dlou.edu.cn

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (41961124009, 32320110); China Agriculture Research System (CARS-49); Outstanding Talents and Innovative Team of Agricultural Scientific Research in MARA