

# 我国海水养殖污染状况及生态环境监管需求

崔立新<sup>1</sup>, 商井远<sup>2</sup>, 宗虎民<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连

<sup>2</sup>葫芦岛市生态环境局, 辽宁 葫芦岛

收稿日期: 2023年9月10日; 录用日期: 2023年10月12日; 发布日期: 2023年10月19日

## 摘要

本文对我国海水养殖总氮、总磷排放量进行了评估, 并分析了我国海水养殖生态环境影响和存在的管理问题, 提出了我国海水养殖生态环境监管需求。评估结果显示, 全国海水增养殖总氮、总磷年排放量分别达到32.43万吨和10.75万吨。由此可见, 海水养殖污染已成为我国近岸海域重要的污染源之一。除营养盐污染外, 海水养殖还会产生药物、垃圾等污染, 并对海洋生态产生一定的影响。针对我国海水养殖规模巨大、生态环境影响突出的问题, 本文从明责任、转方式、严准入、控投喂、盯尾水、减废弃等角度提出了我国海水养殖生态环境监管需求, 为有效解决海水养殖带来的生态环境问题提供管理建议。

## 关键词

海水养殖, 污染, 评估, 生态环境监管

# Mariculture Pollution and Ecological Environment Supervision Demand in China

Lixin Cui<sup>1</sup>, Jingyuan Shang<sup>2</sup>, Humin Zong<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>National Marine Environment Monitoring Center, Dalian Liaoning

<sup>2</sup>Huludao Ecological Environment Bureau, Huludao Liaoning

Received: Sep. 10<sup>th</sup>, 2023; accepted: Oct. 12<sup>th</sup>, 2023; published: Oct. 19<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In this paper, the total nitrogen and total phosphorus emissions of mariculture in China were eva-

\*通讯作者。

文章引用: 崔立新, 商井远, 宗虎民. 我国海水养殖污染状况及生态环境监管需求[J]. 环境保护前沿, 2023, 13(5): 1165-1172. DOI: 10.12677/aep.2023.135139

luated, and the ecological environment impact and existing management problems of mariculture in China were analyzed, and the ecological environment supervision needs of mariculture in China were put forward. The assessment results show that the annual emissions of total nitrogen and total phosphorus in mariculture in China reached 324.3 thousand tons and 107.5 thousand tons, respectively. It can be seen that mariculture pollution has become one of the important pollution sources in China's coastal waters. In addition to nutrient pollution, mariculture also produces pollution such as drugs and garbage, and has a certain impact on marine ecology. In view of the huge scale of mariculture in China and the prominent impact of ecological environment, this paper puts forward the need of ecological environment supervision of mariculture in China from the perspectives of clear responsibility, transfer mode, strict access, controlled feeding, tailwater and waste reduction, so as to provide management suggestions for effectively solving the ecological environment problems caused by mariculture.

## Keywords

Mariculture, Pollution, Evaluation, Ecological Environment Supervision

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

中国是世界第一水产养殖大国, 养殖面积和产量连续多年位居世界首位[1]。海水养殖面积和养殖产量均占全球总量的 60% 以上, 沿海 11 个省级行政区均有养殖活动[2]。近些年来, 由于产业结构调整等因素, 我国海水养殖面积稳中有降, 但仍然维持在 200 万公顷左右。截止 2020 年, 我国海水养殖面积约为 200 万公顷, 占水产养殖总面积的 28.4%; 海水养殖总量达到 2135 万吨, 占水产品总产量的 64.4% [3]。海水养殖业为保障我国沿海渔民就业及提供优质蛋白等方面做出了重要贡献, 但海水养殖在促进经济社会发展的同时, 也带来了一系列生态环境问题, 如造成近岸海域水质恶化、典型生态系统受损、优质自然岸线损失等[4] [5] [6] [7]。渤海入海排污口排查结果显示, 海水养殖排污口占全部入海排污口的 60% 以上[2]。中央环保督察指出, 沿海部分区域存在海水养殖无序发展现象。养殖产生的污染物随尾水进入受纳海域或直排沙滩, 加剧了局部海域生态环境的恶化, 导致优质岸线呈现“脏、乱、差”现象。

不同养殖模式自身污染的产生方式不同, 鱼类和甲壳类等投饵性生物养殖过程中产生的残饵、粪便等污染物会通过换水等方式输出到养殖区邻近海域[6] [7] [8] [9] [10]; 滤食性贝类等非投饵性养殖生物的养殖不需要额外的饵料供给, 从整个海洋生态系统来看, 非投饵性养殖生物养殖可从海洋中移除营养物质[11]。但从养殖水域局部来看, 非投饵性养殖生物养殖对营养物质具有一定的富集作用, 会导致养殖系统自身污染[12] [13]。同时, 有机物质在沉积物中积累可加速沉积物 - 水界面营养物质循环过程, 从而对养殖环境水体富营养化具有显著影响[14] [15] [16]。因此, 非投饵性养殖生物养殖自身污染也应该引起关注。

基于以上原因, 本文利用滤食性贝类总氮、总磷排放系数相关研究数据和《2021 年中国渔业统计年鉴》[3]中滤食性贝类产量数据, 结合全国第二次污染源普查投饵性养殖生物总氮、总磷排放量数据, 评估了我国海水养殖总氮和总磷年排放量。同时, 分析了我国海水养殖生态环境影响状况及海水养殖存在的管理问题, 提出了我国海水养殖生态环境监管需求。

## 2. 海水养殖氮、磷排放量评估

### 2.1. 评估方法

不同的海水养殖模式氮、磷排放的评估方法存在差异。本文根据海水养殖过程中是否投饵将我国现有海水养殖活动分为非投饵性养殖和投饵性养殖两种方式对我国海水养殖总氮、总磷年排放量进行评估。其中基于相关文献的评估方法[13] [17]对非投饵性养殖生物(主要为滤食性贝类)总氮、总磷的排放量评估,贝类年产量数据由《2021 中国渔业统计年鉴》[3]获得。非投饵性养殖生物总氮、总磷年排放量数据来源于 2018 年开展的全国第二次污染源普查统计数据。非投饵性养殖生物和投饵性养殖生物数据之和为我国海水养殖总氮、总磷年排放量。

### 2.2. 氮、磷排放量

根据《2021 中国渔业统计年鉴》[3], 2020 年我国主要滤食性贝类产量见表 1。其中牡蛎产量最高, 约为 524 万吨; 蛤类产量次之, 约为 422 万吨; 扇贝产量也超过了 170 万吨。

**Table 1.** The output of main filter-feeding shellfish in China

**表 1.** 全国主要滤食性贝类产量

滤食性贝类	产量(t)
牡蛎	5,424,632
虾夷扇贝	341,790
海湾扇贝	1,404,448
贻贝	886,875
蛤	4,217,649
蚶	385,108
蛏	860,265

我国养殖的主要滤食性贝类总氮、总磷的排放系数如表 2 所示[17]。

**Table 2.** Total nitrogen and total phosphorus emission coefficient of main filter-feeding shellfish in China

**表 2.** 全国主要滤食性贝类总氮、总磷排放系数

滤食性贝类	总氮(kg/t)	总磷(kg/t)
牡蛎	12.602	3.937
虾夷扇贝	18.948	9.157
海湾扇贝	44.739	12.618
贻贝	26.707	6.948
蛤	24.387	10.656
蚶	14.960	3.950
蛏	16.218	7.087

根据滤食性贝类产量和总氮、总磷排放系数, 计算出 2020 年我国滤食性贝类总氮、总磷排放量如

表 3 所示。全国养殖滤食性贝类总氮、总磷排放量分别为 28.39 万吨、10.09 万吨。其中蛤、牡蛎和海湾扇贝排放量较高，总氮排放量分别达到 102,856 t、68,361 t 和 62,834 t，分别占全国滤食性贝类总氮排放量的 36.2%、24.1% 和 22.1%；总磷排放量分别达到 44,943 t、21,357 t 和 17,721 t，分别占全国滤食性贝类总磷排放量的 44.5%、21.2% 和 17.6%。蚶和虾夷扇贝总氮、总磷排放量较低，占全国滤食性贝类总氮、总磷排放量的比例均在 5% 以下。

**Table 3.** Total nitrogen and total phosphorus emissions of major filter-feeding shellfish in China

**表 3.** 全国主要滤食性贝类总氮、总磷排放量

滤食性贝类	总氮(t)	总磷(t)
牡蛎	68,361	21,357
虾夷扇贝	6476	3130
海湾扇贝	62,834	17,721
贻贝	23,686	6162
蛤	102,856	44,943
蚶	5761	1521
蛭	13,952	6097
合计	283,926	100,931

另外，第二次全国污染源普查统计数据显示，我国投饵性海水养殖生物总氮、总磷年排放量分别为 4.04 万吨、0.66 万吨。因此，我国海水养殖总氮、总磷年排放量分别达到 32.43 万吨、10.75 万吨。

### 3. 海水养殖生态环境影响分析

#### 3.1. 污染物排放

##### 3.1.1. 营养物质

非投饵性养殖生物养殖过程中产生的粪便和假粪、投饵性养殖生物养殖过程中产生的残饵和粪便等有机物质以及其他代谢产物均会通过不同方式进入养殖环境及其邻近海域，其中含有大量氮、磷等营养盐[4]-[13]。本文的研究结果显示，我国海水养殖总氮、总磷年排放量分别达到 32.43 万吨、10.75 万吨。由于海水养殖生物产量的增加，与 2017 年[17]的研究结果相比总氮、总磷排放量均呈现一定的增加趋势。需要指出的是，筏式养殖或底播养殖的非投饵性养殖生物总氮、总磷排放量占海水养殖总排放量的比例较大，分别达到 87.5% 和 93.9%。非投饵性养殖生物养殖过程中的自身污染只是针对其局部养殖海域，对于整个海洋生态系统来说，在养殖生物收获时会从环境中移出营养物质[12] [13] [17]。仅从投饵性养殖生物角度来看，全国第二次污染源普查结果显示，海水养殖总氮、总磷排放量与全国水污染物排放量相比，分别占 1.33% 和 2.09%；与农业源水污染物排放量相比，分别占 2.86% 和 3.11%。虽然仅考虑投饵性养殖生物海水养殖氮、磷排放量占比不高，但养殖尾水的散乱直排和短期集中排放对局部海域的污染仍为海水养殖产生的重要生态环境问题。

##### 3.1.2. 药物

在工厂化养殖、池塘养殖、网箱养殖以及其他养殖方式的苗种培育阶段，常使用化学药物(如抗生素、治疗剂、消毒剂和防腐剂等)以保证养殖生物的存活率和防治病害，从而导致这些化学药物在环境中的残留以及在养殖生物体中富集，而且养殖生产过程中还存在滥用药物的行为，更加剧了海水养殖药物的污

染。在大亚湾和阳江两个典型海水养殖区的所有沉积物样品中都能检出磺胺类抗生素，含量高达 2.1~35.2 ng/g；在 7 种养殖鱼类的肝脏组织中均检测到高浓度的磺胺嘧啶、磺胺二甲嘧啶和磺胺甲基异噁唑的残留量，最高含量分别为 150.0 ng/g、146.5 ng/g 和 112.8 ng/g [18]。海南东部(万宁和陵水)海水养殖区水体中抗生素检测结果显示，13 个采样点的抗生素残留质量浓度为 10.28~156.63 ng/L，检出喹诺酮类抗生素 2 种，四环素类抗生素 3 种，氯霉素类抗生素 1 种[19]。

### 3.1.3. 养殖垃圾

海水养殖使用大量的塑料或合成纤维等材料，包括泡沫浮桶浮球、网衣网绳、保温箱以及竹木质工具等，特别是传统渔排大量使用极易破碎的泡沫塑料和木板，极易发生破碎而进入水体，造成局部海域海漂垃圾污染。2017 年，厦门湾浅海贝类养殖过程中产生的塑料垃圾年排放量约为 385.29 t，浅海网箱养殖过程中产生的塑料垃圾年排放量约为 52.85 t，合计 438.14 t [20]。在温州霞关镇海水养殖区有 5 种类型的塑料类垃圾存在，泡沫垃圾占比 23.66%，可能与网箱养殖使用大量的泡沫浮标以及保温箱等因素有关[21]。2020 年，福建宁德开展海上养殖综合整治行动，共清退和升级渔排 140.20 万口，清理海漂垃圾 9.25 万吨，泡沫浮球 518 万个。

## 3.2. 对海洋生态的影响

### 3.2.1. 水动力

高密度、大规模的浅海浮筏养殖、浅海网箱养殖因养殖设施以及海洋牧场建设过程中投放的人工渔礁的存在会显著改变海流方向和流速，减缓半封闭海区海水交换速率，进而影响海域营养盐和食物的更新速度[22]，增加污染风险。Jackson 等[23]通过现场观测发现海带养殖区内的潮流流速仅为外部流速 1/3，模拟结果显示养殖区内的流速减小了 42%~68%；Pilditch 等[24]通过现场观测发现通过扇贝养殖区的流速比周围环境流速减小了 40%；南非 Saldanha 湾贝类筏式养殖区外的流速是养殖区内的 6 倍[25]。相关研究表明，海水养殖活动对桑沟湾水动力场影响显著，桑沟湾内 1994 年的流速与 1983 年即开展规模化海水养殖前比较减小了约 50% [26]；高密度的筏式养殖使流速平均减小 40%，整个湾的海水平均半交换时间延长了 71% [27]。

### 3.2.2. 湿地

大规模的围海养殖及陆基工厂化养殖给滨海湿地生态系统的结构和功能带来负面影响，具体表现为滨海湿地格局、滨海湿地生物多样性的维持以及生物分布结构等方面的变化。通过对潮间带滩涂的围垦，把原生的潮间带生境变成人工养殖池塘，在我国北方会破坏以碱蓬和芦苇为代表的盐生湿地生境，南方会破坏红树林，甚至珊瑚礁生境。渤海围海养殖面积达 29.8 万公顷[2]，主要分布在渤海湾、辽东湾、莱州湾和大连金普湾；1980~2000 年间，广西沿海虾塘建设侵占了 1464 公顷红树林[28]。围海养殖占用了大量自然岸线和滩涂湿地，为影响河口、海湾和滨海湿地等典型海洋生态系统健康状况的重要原因。

### 3.2.3. 生态空间

大规模的围海养殖和浅海浮筏养殖占据近岸海域大范围的生态空间，导致原本属于海洋生物的自然空间被大面积的养殖设施侵占。特别是部分海水养殖区分布在海洋生态红线区，严重影响了重要海洋生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区的生态环境保护。2019 年，约有 19.1%的围海养殖位于海洋生态保护红线范围内。环渤海三省一市约有 4.96 万公顷围海养殖位于海洋生态保护红线范围内，约占养殖面积的 16.3%；泉州湾河口湿地自然保护区核心区具有海水养殖活动，养殖面积 88 公顷；宁德环三都澳湿地水禽红树林自然保护区自 2011 年以来，围海养殖造成保护区湿地面积减少近 170 公顷[2]。



## 4. 海水养殖生态环境监管需求

### 4.1. 存在的管理问题

针对我国海水养殖规模巨大、生态环境影响突出的问题，近些年来出台的有关政策文件均提出了海水养殖生态环境监管综合性要求，因此当前海水养殖污染防治在推广绿色养殖模式、养殖空间布局管控、投喂管理、养殖尾水排放管控、养殖废弃物管理等方面均取得了一定的进展。但我国海水养殖生态环境监管制度仍尚不完善，主要表现在以下三方面。

- 1) 海水养殖污染防治的行业管理要求不明确。《海洋环境保护法》对海水养殖的管理规定较为原则，《渔业法》对防治海水养殖造成环境污染及生态破坏未作出明确规定，相关行业管理要求不明确。
- 2) 海水养殖尾水排放和废弃物管理规定缺失。规模化海水养殖尾水达标排放规定缺失，大部分海水养殖排污口尚未纳入常态化监管；缺乏海水养殖废弃物处置的相关规定。
- 3) 养殖户污染治理责任不明确。海水养殖污染防治受人力、物力等因素制约起步较晚，多数养殖户缺乏污染防治意识，未能主动采取污染防治措施。

### 4.2. 监管需求

基于我国海水养殖生态环境监管存在的问题，为贯彻落实有关政策文件要求，有效解决无序海水养殖带来生态环境问题，依据问题导向、保护优先、全面覆盖、突出重点、责任明确的基本原则，从明责任、转方式、严准入、控投喂、盯尾水、减废弃等角度出发，我国海水养殖生态环境监管应从以下几方面考虑。

- 1) 明确监管责任主体。修订完善《海洋环境保护法》《渔业法》等相关法律法规，配套实施相关政策文件，明确海水养殖全过程中每个环节的监管责任主体，依法依规开展海水养殖生态环境监管。
- 2) 鼓励海水养殖绿色发展。将绿色发展理念贯穿于水产养殖生产全过程，推广生态健康养殖模式。制定海水养殖绿色发展规划，明确具体措施和目标。
- 3) 合理规划养殖空间布局。一是科学划定禁止养殖、限制养殖和允许养殖区，严格控制在环境本底较差、水动力弱的区域开展养殖活动。二是严格海水养殖环评准入机制，新建、改建、扩建海水养殖场应进行环境影响评价，落实环境影响评价要求。
- 4) 加强养殖投入品管理。加强对养殖过程中投饵、用药的监管，严格控制抗生素、环境激素等药物的使用和野生幼杂鱼等鲜活饵料的直接投喂，建立实施海水养殖投入品使用记录制度。
- 5) 严控养殖尾水排放。一是加快制订出台海水养殖尾水排放地方标准，统筹考虑区域养殖特点和经济、技术可行性，明确海水池塘及工厂化养殖尾水排放控制指标和限值。二是逐步推广生物净化、人工湿地等技术措施，在集中连片海水养殖池塘和工厂化养殖区域，对尾水实施集中生态化处理，推动养殖尾水资源化利用，实现尾水达标排放。三是鼓励海水养殖从业者针对尾水开展自行监测。
- 6) 加强养殖废弃物管理。做好养殖区域内废弃物集中收储处置空间布局，建立集中收储点名录并动态更新公开，督促引导海水养殖从业者收集转运废弃物至集中收储点。推进环保材料的使用，减少海水养殖垃圾污染，并加大养殖废弃物集中收置和资源化利用力度，禁止海上随意丢弃和处置。

## 5. 结论

本文对我国海水养殖氮、磷排放量的评估结果显示，海水养殖污染已成为我国近岸海域主要的污染源之一。同时，本文分析了海水养殖对我国近岸海域海洋生态环境的影响及海水养殖生态环境监管存在的问题，在此基础上提出了我国海水养殖生态环境监管需求，从而为有效解决海水养殖带来的生态环境问题提供管理建议。

## 致 谢

感谢国家重点研发计划项目(2019YFD0900800)资助。

## 基金项目

十三五“蓝色粮仓科技创新”国家重点研发计划项目(项目编号: 2019YFD0900800)。

## 参考文献

- [1] FAO (2020) The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome.
- [2] 张灿, 孟庆辉, 初佳兰, 等. 我国海水养殖状况及渤海养殖治理成效分析[J]. 海洋环境科学, 2021, 40(6): 887-894.
- [3] 农业农村部渔业渔政管理局. 2021 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 17-49.
- [4] 崔毅, 陈碧鹃, 陈聚法. 黄渤海海水养殖自身污染的评估[J]. 应用生态学报, 2005, 16(1): 180-185.
- [5] Cao, L., Wang, W., Yang, Y., *et al.* (2007) Environmental Impact of Aquaculture and Countermeasures to Aquaculture Pollution in China. *Environmental Science and Pollution Research*, **14**, 452-462. <https://doi.org/10.1065/espr2007.05.426>
- [6] Faez-Osuna, F., Saul, R. and Ruia, A.C. (1999) Discharge of Nutrients from Shrimp Farming to Coastal Waters of the Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin*, **38**, 585-592. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00116-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00116-7)
- [7] Tovar, A., Moreno, C., Manuel, M.P., *et al.* (2000) Environmental Impacts of Intensive Aquaculture in Marine Waters. *Water Research*, **34**, 334-342. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00102-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00102-5)
- [8] Qian, P.Y., Wu, M.C.S. and Ni, I.H. (2001) Comparison of Nutrients Release among Some Maricultured Animals. *Aquaculture*, **200**, 305-316. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00604-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00604-9)
- [9] 黄洪辉, 林钦, 甘居利, 等. 大鹏澳海水鱼类网箱养殖对沉积环境的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 75-80.
- [10] 夏丽华, 徐珊, 陈智斌, 等. 广东省海岸带海水养殖业污染贡献率研究[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2013, 12(5): 80-86.
- [11] Frankic A. and Hershner, C. (2003) Sustainable Aquaculture: Developing the Promise of Aquaculture. *Aquaculture International*, **11**, 517-530. <https://doi.org/10.1023/B:AQUL0000013264.38692.91>
- [12] Hatcher, A., Grant, J. and Schofield, B. (1994) Effects of Suspended Mussel Culture (*Mytilus* spp.) on Sedimentation, Benthic Respiration and Sediment Nutrient Dynamics in a Coastal Bay. *Marine Ecology Progress Series*, **115**, 219-235. <https://doi.org/10.3354/meps115219>
- [13] Yuan, X.T., Zhang, M.J., Liang, Y.B., *et al.* (2010) Self-Pollutant Loading from a Suspension Aquaculture System of Japanese Scallop (*Patinopecten yessoensis*) in the Changhai Sea Area, Northern Yellow Sea, China. *Aquaculture*, **304**, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.03.026>
- [14] Baudinet, D., Alliot, E., Berland, B., *et al.* (1990) Incidence of Mussel Culture on Biogeochemical Fluxes at the Sediment Water Interface. *Hydrobiologia*, **207**, 187-196. <https://doi.org/10.1007/BF00041456>
- [15] Mallet, A.L., Carver, C.E. and Landry, T. (2006) Impact of Suspended and Off-Bottom Eastern Oyster Culture on the Benthic Environment in Eastern Canada. *Aquaculture*, **255**, 362-373. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.054>
- [16] Nizzoli, D., Welsh, D.T., Fano, E.A., *et al.* (2006) Impact of Clam and Mussel Farming on Benthic Metabolism and Nitrogen Cycling, with Emphasis on Nitrate Reduction Pathways. *Marine Ecology Progress Series*, **315**, 151-165. <https://doi.org/10.3354/meps315151>
- [17] 宗虎民, 袁秀堂, 王立军, 等. 我国海水养殖业氮、磷产出量的初步评估[J]. 海洋环境科学, 2017, 36(3): 336-342.
- [18] 何秀婷, 王奇, 聂湘平, 等. 广东典型海水养殖区沉积物及鱼体中磺胺类药物的残留及其对人体的健康风险评估[J]. 环境科学, 2014, 35(7): 2728-2734.
- [19] 曾若菡, 齐钊, 张腾云, 等. 海南东部海水养殖区抗生素残留的生态风险评估[J]. 热带生物学报, 2021, 12(1): 41-48.
- [20] 纪思琪. 厦门湾海洋塑料垃圾来源定量及其政策研究[D]: [硕士学位论文]. 厦门: 厦门大学, 2019.
- [21] 邓婷, 高俊敏, 吴文楠, 等. 温州沿海大型塑料垃圾排放特征研究[J]. 中国环境科学, 2018, 38(11): 4354-4360.
- [22] Grant, J. (2001) A numerical Model of Flow Modification Induced by Suspended Aquaculture in a Chinese Bay. *Ca-*

- nadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, **58**, 1003-1011. <https://doi.org/10.1139/f01-027>
- [23] Jackson, G.A. and Winant, C.D. (1983) Effect of a Kelp Forest on Coastal Currents. *Continental Shelf Research*, **2**, 75-80. [https://doi.org/10.1016/0278-4343\(83\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0278-4343(83)90023-7)
- [24] Pilditch, C.A., Grant, J. and Bryan, K.R. (2001) Seston Supply to Sea Scallops (*Placopecten magellanicus*) in Suspended Culture. *Journal Canadien Des Sciences Halieutiques Et Aquatiques*, **58**, 241-253. <https://doi.org/10.1139/f00-242>
- [25] Boyd, A.J. and Heasman, K.G. (1998) Shellfish Mariculture in the Benguela System: Water Flow Patterns within a Mussel Farm in Saldanha Bay, South Africa. *Journal of Shellfish Research*, **17**, 25-32.
- [26] 赵俊, 周诗贻, 孙耀, 等. 桑沟湾增养殖水文环境研究[J]. 海洋水产研究, 1996, 17(2): 68-79.
- [27] 史洁, 魏皓. 半封闭高密度筏式养殖海域水动力场的数值模拟[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, 39(6): 1181-1187.
- [28] 范航清, 陆露, 阎冰. 广西红树林演化史与研究历程[J]. 广西科学, 2018(4): 343-351.