

广东省海水养殖污染负荷估算及污染防治对策研究

唐俊逸, 邓炜华, 罗育池, 蒋婧媛

(广东省环境科学研究院, 广东 广州 510045)

摘要: 海水养殖是近岸海域环境污染的重要因素, 加强对养殖尾水的管控是防治近岸海域污染的重要一环。本文利用 2020 年广东省海水养殖产量及主要养殖品种和模式的排污系数对全省海水养殖污染负荷进行了估算。结果表明, 2020 年广东省海水养殖向海域环境排放的总氮、总磷分别为 5581 t、1009 t, 各沿海城市污染物排放量的差异较大, 养殖种类对污染物排放量的影响更多地受到养殖方式的制约, 养殖方式是影响海水养殖污染负荷的最重要因素。在此基础上, 从强化政策规划引领、推进绿色养殖发展、加强养殖尾水治理和提升养殖监管能力四个方面提出海水养殖污染防治对策建议, 为加强海水养殖污染防治、改善和维护近岸海域环境质量提供依据。

关键词: 海水养殖; 污染负荷; 养殖方式; 防治对策

中图分类号: X55

文献标识码: A

文章编号: 1007-6336(2023)01-0097-07

A study on pollution load estimation and pollution prevention countermeasures of mariculture in Guangdong province

TANG Jun-yi, DENG Wei-hua, LUO Yu-chi, JIANG Jing-yuan

(Guangdong Provincial Academy of Environmental Science, Guangzhou 510045, China)

Abstract: Mariculture is an important factor of environmental pollution in coastal waters. Strengthening the control of mariculture tail water discharge is an important part of preventing and controlling pollution in coastal waters. In this paper, the pollution load of mariculture in Guangdong province is estimated by using the output of mariculture and the emission coefficient of main mariculture varieties and modes in 2020. The results show that in 2020, the total nitrogen and total phosphorus discharged from mariculture in Guangdong province to the marine environment are 5581 and 1009 tons respectively. There are great differences in the pollutant emissions along coastal cities. The impact of mariculture species on pollutant emissions is more restricted by mariculture mode, mariculture mode is the most important factor affecting the pollution load of mariculture. On this basis, this paper puts forward countermeasures and suggestions for the prevention and control of mariculture pollution from four aspects: strengthening the guidance of policy planning, promoting the development of green mariculture, strengthening the treatment of mariculture tail water and improving the ability of mariculture supervision, so as to provide a basis for strengthening the prevention and control of mariculture pollution improving and maintaining the environmental quality of coastal waters.

Key words: mariculture; pollution load; mariculture mode; prevention countermeasures

收稿日期: 2022-03-24, 修订日期: 2022-06-06

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目(2020B1111020004); 广东省环保专项资金项目(粤财资环[2021]57号)

作者简介: 唐俊逸(1991-), 男, 四川西昌人, 工程师, 硕士, 主要从事海洋生态环境保护和污染物总量控制研究,

E-mail: kens_i@163.com

广东省海域辽阔,大陆海岸线长 4114.4 km,约占全国大陆海岸线的 1/5,有大、小海湾 510 多个,沿岸滩涂广布,具有良好的海水养殖条件。海水养殖作为近岸海域的污染源之一,污染主要表现为养殖过程排放的氮、磷超出近岸海域环境承载力和自净能力,导致富营养化及海洋生态环境的异常。2003—2020 年,全省海水养殖总产量基本呈逐年增加的趋势,年均增长率达 10%。随着海水养殖业的发展,沿海育苗场及养殖场尾水排放量与日俱增,因此,加强海水养殖尾水排放的管控是防治近岸海域污染的重要一环。

海水养殖污染负荷的估算方法主要包括现场测定法、物料平衡法和排污系数法。现场测定法是物料平衡法和排污系数法的基础,也是获得数据最直接的方法,但受时间和经济等成本的影响,不适用于样本量很大的情况;物料平衡法是将饵料投放作为养殖系统内产生污染物的唯一来源,在实际的估算过程中计算参数的取值大小、数据资料的充实与否均会对结果产生较大的影响;排污系数法是目前较为常见的一种方法,如陈一波等^[1]估算 2012 年全国海水养殖向相关海域排放的总氮、总磷、COD 分别为 17414 t、3146 t、55503 t,并指出养殖类型是影响污染物排放总量的最重要因素。李发明等^[2]估算 2018 年广东省海水网箱养殖总氮、总磷、COD 的排放量分别为 11000 t、1800 t、18000 t,海水池塘养殖分别为 2000 t、200 t、14000 t。

目前,已有的研究均基于《第一次全国污染源普查 水产养殖业污染源产排污系数手册》^[3],但近 10 年海水养殖技术的发展和养殖模式的转变,使原有的排污系数已不能完全表征现阶段海水养殖的实际污染负荷情况。本文基于《第二次全国污染源普查产排污系数手册(农业源)》^[4],估算广东省海水养殖负荷情况,在此基础上提出有针对性的海水养殖污染防治措施,为加强海水养殖污染防治、改善近岸海域生态环境提供依据。

1 研究方法

1.1 数据来源

广东省海水养殖产量与面积数据来源于《2021 广东农村统计年鉴》^[5]和《2021 中国渔业统计年

鉴》^[6],海水养殖的排污系数来源于《第二次全国污染源普查产排污系数手册(农业源)》。

1.2 评估方法

1.2.1 产业集中率

产业集中率表示某产业中规模最大的前几个小区域合计产出占大区域该产业产出的份额。其计算公式为:

$$CR_n = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \times 100\%$$

式中: CR_n 即绝对产业集中率,为海水养殖产业中前 n 个城市或前 n 种养殖方式所占的市场份额之和; S_i 为该产业中第 i 个城市或第 i 种养殖方式的产量; S 为该产业全省总产量。

1.2.2 污染物排放量

海水养殖总氮、总磷等污染物排放量的计算公式为:

$$Q = R \times W \times 10^{-3}$$

式中: Q 为污染物的排放总量(t); R 为排污系数,指在正常养殖生产条件下,生产 1 kg 水产品排放到外部水体环境中的污染物质(g/kg); W 为养殖生物的增产量(t),这里以养殖产量代替,苗种投放量忽略不计。

1.3 参数界定

2020 年,鱼类、虾类、蟹类和贝类海水养殖总产量为 323.45 万吨,约占全省海水养殖总产量的 97.65%,因此,本次污染负荷估算主要针对该 4 种养殖品种,可基本涵盖和解释全省海水养殖污染物排放量。根据养殖品种的特点,将不同养殖模式下各品种的产量及排污系数界定如下(需要特别说明的是,本文中鱼类、虾类和贝类工厂化养殖产量比例由 2016—2020 年该养殖种类总产量的年均比例确定,表 1)。

鱼类: 将 20% 工厂化养殖产量定义为鱼类工厂化养殖产量,取广东省工厂化养殖鲷鱼和石斑鱼排污系数的平均值;将深水网箱和普通网箱养殖产量总和定义为鱼类网箱养殖产量,取广东省网箱养殖 10 种主要鱼类排污系数的平均值;将剩余鱼类产量定义为鱼类池塘养殖产量,取广东省池塘养殖 10 种主要鱼类排污系数的平均值。

虾类: 将 17% 工厂化养殖产量定义为虾类工厂化养殖产量,取广东省工厂化养殖南美白对

表 1 主要海水养殖品种和方式的排污系数(单位:g/kg)

Tab.1 Discharge coefficient of main mariculture varieties and modes (unit:g/kg)

养殖种类	养殖模式	养殖品种	总氮	总磷
鱼类	工厂化	鲷鱼	0.69	0.27
		石斑鱼	1.70	0.21
		平均值	1.20	0.24
		大黄鱼	37.02	7.27
		鲷鱼	17.59	1.43
	网箱	鳙鱼	17.59	1.43
		加州鲈	68.03	16.26
		军曹鱼	32.06	2.73
		鲈鱼	68.03	16.26
		美国红鱼	17.59	1.43
		鲆鱼	17.59	1.43
		石斑鱼	17.59	1.43
		鲷鱼	17.59	1.43
		平均值	31.07	5.11
		大黄鱼	3.00	0.51
		鲷鱼	0.69	0.27
		石斑鱼	1.70	0.21
	池塘	鲷鱼	1.70	0.21
		鲈鱼	0.78	0.15
		军曹鱼	0.78	0.15
		美国红鱼	0.33	0.10
		罗非鱼	1.12	0.20
		鳙鱼	2.92	0.49
		鲆鱼	0.47	0.04
		平均值	1.35	0.23
	工厂化	南美白对虾	2.47	0.91
		斑节对虾	0.27	0.08
		南美白对虾	0.70	0.26
虾类	池塘	日本对虾	0.27	0.07
		中国对虾	0.27	0.07
		平均值	0.38	0.12
		青蟹	-3.62	0.30
		梭子蟹	5.60	-0.17
蟹类	池塘	平均值	0.99	0.07
	工厂化	鲍	2.51	0.96
		牡蛎	-0.17	-0.01
		贻贝	-0.17	-0.01
		平均值	-0.17	-0.01
贝类	滩涂	牡蛎	-0.17	-0.01
		贻贝	-0.17	-0.01
		平均值	-0.17	-0.01
	筏式	扇贝	-0.17	-0.01
		贻贝	-0.17	-0.01
		平均值	-0.17	-0.01

虾排污系数;将剩余虾类产量定义为虾类池塘养殖产量,取广东省池塘养殖 4 种主要虾类排污系数的平均值。

蟹类:将蟹类养殖总产量定义为池塘养殖蟹类产量,取广东省池塘养殖青蟹和梭子蟹排污系数的平均值。

贝类:将 63% 工厂化养殖产量定义为贝类工厂化养殖产量,取广东省工厂化养殖鲍排污系数;将滩涂养殖产量定义为贝类滩涂养殖产量,

取广东省滩涂养殖牡蛎和贻贝排污系数的平均值;将剩余贝类产量定义为贝类筏式养殖产量,取广东省筏式养殖牡蛎、扇贝和贻贝排污系数的平均值。

2 结果与讨论

2.1 海水养殖现状

2.1.1 总体情况

2020 年广东省海水养殖总产量为 331.24 万吨,养殖产量居全国第三,约占全国海水养殖总产量的 15.51%,位于福建省(526.80 万吨,24.67%)和山东省(514.14 万吨,24.08%)之后;养殖总面积为 1647.19 km²,养殖面积居全国第四,约占全国海水养殖总面积的 8.25%,居辽宁省(6507.19 km²,32.61%)、山东省(5803.50 km²,29.08%)和江苏省(1776.29 km²,8.90%)之后,如图 1 所示。整体来看,广东省海水养殖单位产量(2010.91 t/km²)是全国平均(1070.03 t/km²)的 1.88 倍,位居全国第三,表明广东省海水养殖单位产量较高、密度较大。

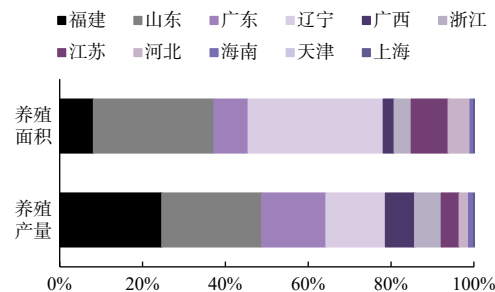


图 1 中国各沿海省份海水养殖产量与面积统计

Fig. 1 Statistical chart of mariculture output and area in different coastal provinces of China

广东省海水养殖模式繁杂,养殖品种众多。从养殖水域来看,全省海水养殖产量主要来自滩涂养殖和海上养殖,占比均在 30% 以上,陆基养殖产量相对较小,但也占全省养殖产量的 23.58%。从养殖方式来看,池塘养殖、底播养殖和筏式养殖是全省最主要的养殖方式,三者之和占全省养殖总产量的 55% 以上,其中筏式养殖约为池塘养殖或底播养殖产量的 0.6 倍。从养殖种类来看,贝类、鱼类和虾类是全省最主要的养殖种类,其中,贝类养殖产量为 186.21 万吨,

占全省养殖总产量的 56.22%, 鱼类和虾类养殖产量占比也达到 10% 以上。

2.1.2 区域分布特征

海水养殖产量和面积均呈现明显的空间差异, 从养殖产量(表 2)来看, 2020 年粤西地区海

水养殖产量占全省总产量的 62.34%, 粤东地区和珠三角地区分别占全省的 23.26% 和 14.40%。从养殖面积来看, 粤西地区海水养殖面积占全省总面积的 55.95%; 粤东地区和珠三角地区分别占全省的 20.83% 和 23.22%。

表 2 各沿海城市海水养殖统计情况
Tab.2 Statistics of mariculture in coastal cities

地区	城市	养殖产量/万吨	养殖产量占全省比例	养殖面积/km ²	养殖面积占全省比例
粤东地区	潮州	13.29	4.01%	73.35	4.45%
	汕头	35.38	10.68%	110.77	6.73%
	揭阳	2.35	0.71%	17.12	1.04%
	汕尾	26.04	7.86%	141.80	8.61%
	惠州	5.03	1.52%	29.26	1.78%
珠三角地区	深圳	1.79	0.54%	2.47	0.15%
	东莞	0.00	0.00%	0.00	0.00%
	广州	9.61	2.90%	44.40	2.69%
	中山	0.00	0.00%	0.00	0.00%
	珠海	9.29	2.81%	118.21	7.18%
粤西地区	江门	21.97	6.63%	188.15	11.42%
	阳江	78.15	23.59%	222.22	13.49%
	茂名	47.56	14.36%	144.37	8.76%
	湛江	80.78	24.39%	555.07	33.70%

从产业集中率变化(图 2)来看, 2015—2020 年粤西地区海水养殖的产业集中率基本维持在稳定水平, 各年的产业集中率值均高于 40%, 表明全省海水养殖业的空间分布存在中心区^[7], 且各年产业集中率前三名的城市均为湛江、阳江和茂名, 说明粤西地区已成为全省海水养殖业的发展中心, 这与李权昆等^[8]的结论一致。

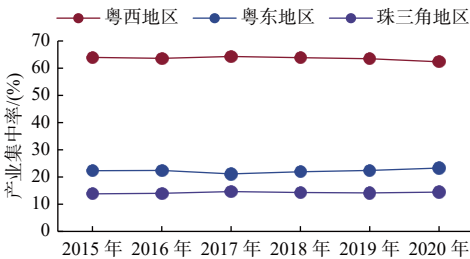


图 2 珠三角和东西两翼海水养殖产业集中率变化情况
Fig. 2 Changes in the concentration rate of mariculture industry in the Pearl River Delta and the East and West wings

2.2 污染物排放量

2.2.1 总体情况

根据各养殖方式、养殖种类的产量和排污系数, 估算得到 2020 年广东省海水养殖向海域环境排放的总氮、总磷分别为 5581 t、1009 t, 各沿海城市污染物排放量的差异较大。通过回归分析(图 3)可以看出, 各城市总氮、总磷污染物排放量与海水养殖总产量和面积均满足回归关系, R^2 均大于 0.8。从区域来看(图 4), 粤东地区和珠三角地区总氮、总磷的污染物排放量相对较低, 仅占粤西地区的 30% 以下。

2.2.2 养殖方式的影响

从不同养殖方式的总氮、总磷污染物排放量(图 5)来看, 网箱养殖是影响全省海水养殖污染物排放总量的主要因素, 虽然其养殖产量仅为池塘养殖的 1/10, 但向海域排放的总氮、总磷是池塘养殖的 3~4 倍, 主要是由于网箱养殖的排污系数远高于池塘养殖。网箱养殖属于开放式的

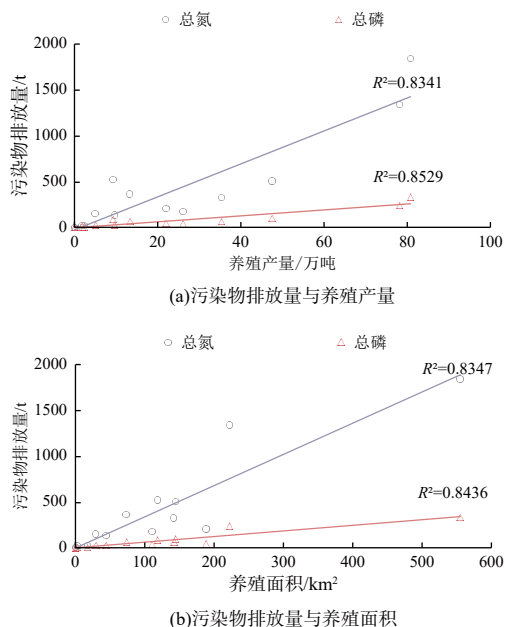


图3 各沿海城市污染物排放量与养殖产量、面积的关系

Fig. 3 Relationship between pollutant emissions and mariculture output and area in cities along the coast

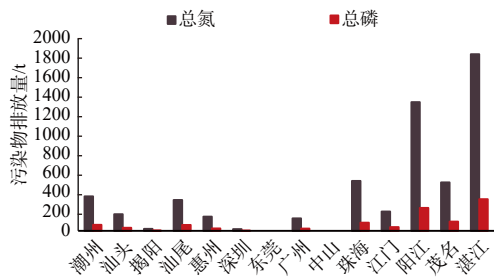


图4 各沿海城市总氮、总磷污染物排放量

Fig. 4 Total nitrogen and total phosphorus pollutant emissions in cities along the coast

养殖, 其产污系数即排污系数, 而对于工厂化、池塘养殖等封闭式的养殖而言, 其污染物排放量仅为产生量的一部分, 养殖残饵以及养殖生物自身的排泄物等更多地以沉降的形式进入池塘底泥, 如对虾高位池养殖沉积在池塘底部的总氮、总磷可占池塘输入总量的 14.1%~44.6% 和 27.6%~62.3%^[9]。与李发明等^[2]的研究结果相比, 本文对网箱养殖总氮、总磷排放量的估算结果约为其研究结果的 0.44 倍、0.44 倍, 池塘养殖总氮、总磷污染物的排放量为其研究结果的 0.65 倍、1.21 倍, 这主要是受到排污系数变化的影响。

此外, 滩涂和筏式养殖的总氮、总磷排放量

均为负值, 这是由于滩涂和筏式养殖品种主要为贝类。在养殖贝类过程中基本不需要投放饵料, 而是通过吸收海域水体中的营养物质用于自身的生长, 其总氮、总磷产排污系数是以整个水体环境的总氮、总磷要素收支确定的, 因此排污系数表现为负值, 污染物排放量也表现为负值。

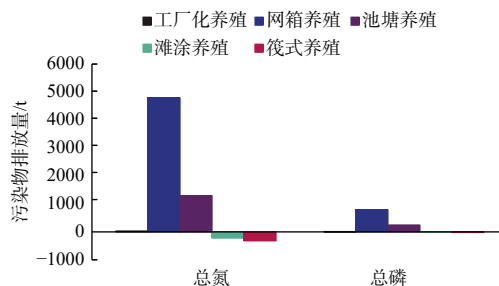


图5 不同养殖方式的总氮、总磷污染物排放量情况

Fig. 5 Total nitrogen and total phosphorus pollutant emissions of different mariculture modes

2.2.3 养殖种类的影响

从不同养殖种类的总氮、总磷污染物排放量情况(图6)看, 鱼类养殖是影响全省海水养殖污染物排放总量的主要因素, 其总氮和总磷污染物的排放量分别是虾类养殖的 27.5 倍和 14.3 倍, 是蟹类养殖的 67.2 倍和 157.3 倍。一方面鱼类养殖产量相对于虾蟹类养殖较高, 约为虾类、蟹类的 1.6 倍、10.3 倍; 另一方面鱼类养殖中约有 17% 的产量来源于网箱养殖, 其污染物的排放量远高于其他的养殖方式。

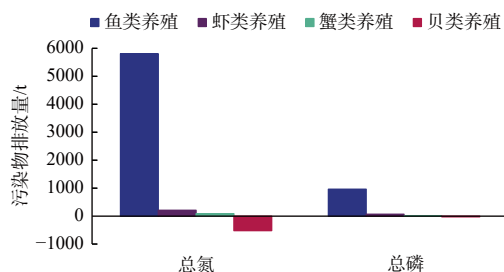


图6 不同养殖种类的总氮、总磷污染物排放量情况

Fig. 6 Total nitrogen and total phosphorus pollutant emissions of different mariculture varieties

虽然贝类工厂化养殖属于投饵养殖, 其污染物排放量为正值, 但由于贝类工厂化养殖仅占贝类养殖产量的 1% 左右, 受滩涂和筏式养殖的影响, 其总氮、总磷均表现为负值。

由此可见,养殖种类对污染物排放量的影响更多地受到养殖方式的制约,养殖方式是影响污染物排放量的最重要因素,这与陈一波等^[1]在利用蒙特卡罗方法模拟海水养殖污染负荷总量过程中,对各种不确定参数敏感性分析得出的结论一致。

2.2.4 与陆源污染物排放量的比较

为进一步评估海水养殖对近岸海域环境污染物的贡献率,本文将海水养殖总氮、总磷排放量的估算结果与入海河流污染物的排海量进行比较(图7)。主要河流污染物入海量统计数据来源于《2017年广东省海洋环境状况公报》^[10],由于未获得总氮的入海量数据,仅以无机氮的数据进行分析,2017年广东省主要河流无机氮、总磷入海量分别为549152 t、45145 t,由于总氮包括无机氮和有机氮,可以看出,海水养殖总氮、总磷污染物排放量远低于珠江、榕江、练江、深圳河、黄冈河等主要河流总氮、总磷污染物入海量。

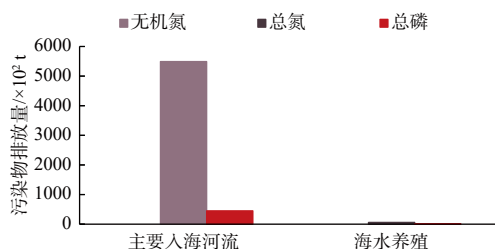


图7 海水养殖氮、磷污染物排放量与主要入海河流的比较

Fig. 7 Comparison of nitrogen and phosphorus emissions from mariculture with those from major rivers entering the sea

根据广东省第二次全国污染源普查公报^[11],2017年,农业源总氮、总磷水污染物排放量分别为11.65万t、1.99万t;全省总氮、总磷水污染物排放量分别为30.15万t、3.16万t。海水养殖污染物排放量约占农业源水污染物排放量的5%,占全省水污染物排放量的2%~3%。整体来看,虽然海水养殖的污染物排放量不高,但是对局部地区(水交换条件不足的海湾、近岸海域)的影响至关重要,海水养殖污染物的排放会对海洋环境产生叠加影响,这是造成邻近海域水体富营养化的重要污染源之一,海水养殖依然是近岸海域海洋环境污染不可忽略的因素。

2.3 污染防治对策建议

2.3.1 强化政策规划引领

落实养殖水域的滩涂规划,严格养殖水域、滩涂的用途管制,加快清理禁养区的非法养殖,规范限养区、养殖区养殖活动。结合国土空间规划、近岸海域“三线一单”管控要求等,科学调控养殖规模和密度。摸查沿海陆域养殖业基本情况,督促养殖户依法申领水域养殖滩涂证、海域使用权证、养殖排污许可证,加强养殖入海排污口的备案管理。

2.3.2 推进绿色养殖发展

要求养殖企业注重海水养殖技术及污染处理工艺的革新,淘汰高能耗、高污染的海水养殖方式^[12],鼓励工厂化循环水和陆基推水式集装箱循环水养殖技术,发展循环水养殖。实施池塘标准化改造,因地制宜地构建生态沟渠、生态塘等,采用间养、轮养、套养、混养等不同的养殖方法^[13],建立多营养层次的综合养殖。提升网箱抗风、抗浪、抗海流的能力,鼓励深水抗风浪网箱养殖技术,开展集约化养殖。按照养殖品种的摄食习惯以及所需的营养物质,科学投放饵料和渔药。

2.3.3 加强养殖尾水治理

以“美丽海湾、美丽渔场”政策为抓手,采取规模养殖场自治、连片养殖集中治理等形式,对养殖尾水进行治理,鼓励进排水改造、生物净化、人工湿地、种植水生蔬菜(花卉)等措施,推动养殖尾水的资源化利用或达标排放。倡导环保企业积极参与养殖污染治理设施的运营和维护,防止已建尾水处理设施的虚置或维护不当,导致尾水直排造成的近岸海域环境污染。同时,收集养殖过程中产生的残饵、粪便等沉淀物,推动清塘淤泥收集及无害化处理或资源化利用,防止二次污染。

2.3.4 提升养殖监管能力

结合广东省实际制定的地方水产养殖尾水排放标准,明确尾水排放控制指标和限值,分区、分级对海水养殖尾水排放进行控制。健全海水养殖尾水监测体系,以工厂化养殖为重点,适当选择养殖规模较大、环境污染重、生态破坏明显的池塘养殖排污口,逐步落实排污责任主体

的自行监测,并加强执法监测。按照“取缔一批、整合一批、规范一批”的要求,分类推进海水养殖排污口的综合整治。

3 结论

(1)广东省海水养殖单位产量较高,2020年粤西地区海水养殖产量、面积分别占全省的62.34%、55.95%,粤西已成为全省海水养殖业的发展中心。

(2)污染负荷评估结果显示,2020年广东海水养殖向海域排放的总氮、总磷分别为5581 t、1009 t,各沿海城市污染物排放量与海水养殖产量、面积相关性显著,养殖方式是影响污染物排放量的最重要因素。

(3)海水养殖的总氮、总磷污染物排放量不高,远低于主要入海河流污染物的入海量,但对水交换条件不足的海湾或近岸海域而言,海水养殖仍然是海洋环境污染不可忽略的因素。

(4)坚持“分区分类、因地制宜、逐步推进”的原则,本文从强化政策规划引领、推进绿色养殖发展、加强养殖尾水治理和提升养殖监管能力四个方面提出海水养殖污染防治对策建议,协同推动生态环境保护和海产品保供,助力美丽海湾保护与建设,促进海水养殖业的高质量发展。

参考文献:

- [1] 陈一波,宋国宝,赵文星,等.中国海水养殖污染负荷估算[J].海洋环境科学,2016,35(1):1-6,12.
- [2] 李发明,林小刚,周军,等.广东省海水养殖排污量评估研究[J].海洋湖沼通报,2021,43(4):100-107.
- [3] 全国污染源普查水产养殖业污染源产排污系数测算项目组.第一次全国污染源普查:水产养殖业污染源产排污系数手册[R].北京:全国污染源普查水产养殖业污染源产排污系数测算项目组,2009.
- [4] 生态环境部第二次全国污染源普查工作办公室.第二次全国污染源普查产排污系数手册(农业源)[M].北京:中国环境出版集团,2020.
- [5] 《广东农村统计年鉴》编辑委员会.2021广东农村统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
- [6] 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.2021中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2021.
- [7] 黄凤.广东海水养殖渔业资源的资产化管理研究[D].湛江:广东海洋大学,2016.
- [8] 李权昆,张岳恒.广东海水养殖业空间扩散特征与发展对策研究[J].海南大学学报:人文社会科学版,2012,30(5):124-130.
- [9] 李金亮,陈雪芬,赖秋明,等.凡纳滨对虾高位池养殖氮、磷收支研究及养殖效果分析[J].南方水产,2010,6(5):13-20.
- [10] 广东省海洋与渔业厅.2017年广东省海洋环境状况公报[R].广州:广东省海洋与渔业厅,2018.
- [11] 广东省生态环境厅,广东省农业农村厅,广东省统计局.广东省第二次全国污染源普查公报[EB/OL].(2020-10-14).
http://gdee.gd.gov.cn/gkmlpt/content/3/3100/post_3100417.html#3205.
- [12] 彭霏.我国海水养殖污染问题与其治理研究[D].青岛:中国海洋大学,2014.
- [13] 邓小云.农业面源污染防治法律制度研究[D].青岛:中国海洋大学,2012.