

国内外海水养殖尾水排放标准对比分析及建议

苏洁¹, 吴雪心^{1,2}, 张金勇¹, 杨晓龙³, 郭皓¹,
柳圭泽¹, 樊景凤¹

(1.国家海洋环境监测中心 国家环境保护近岸海域生态环境重点实验室, 辽宁 大连 116023; 2.大连海洋大学 海洋科技与环境学院, 辽宁 大连 116023; 3.浙江海洋大学, 浙江 舟山 316022)

摘要:为加强海水养殖生态环境监管, 中国、美国、日本、加拿大、泰国等水产养殖大国和欧盟等国际组织都制定了相应的海水养殖排放标准。本文综述了国内外海水养殖尾水排放标准研究进展, 梳理了我国行业及地方海水养殖尾水排放要求, 并从标准分级、控制项和排放限值 3 个方面对比分析了国内外海水养殖尾水排放标准。研究发现, 国外养殖尾水排放标准不涉及分级的情况, 国内外标准控制项有所差异, 其中悬浮物是各国共性控制指标, 国内各控制项二级标准限制均比国外标准宽松。本研究结合当前我国海水养殖尾水排放现状, 提出关于大力推进绿色健康水产养殖技术, 推动规模化、设施化、装备化养殖; 健全海水养殖尾水排放监管业务体系, 推动在线监测、大数据监管等技术应用; 研发新型高效海水养殖尾水处理技术等相关建议, 以期为我国海水养殖尾水排放管理提供参考借鉴。

关键词:海水养殖; 尾水排放; 控制项; 排放限值

中图分类号: **文献标识码:**A **文章编号:**1007-6336(2025)03-0163-10

Comparison analysis and suggestions on discharge standards of tailwater for mariculture

SU Jie¹, WU Xuexin^{1,2}, ZHANG Jinyong¹, YANG Xiaolong³, GUO Hao¹,
LIU Guize¹, FAN Jingfeng¹

(1.State Environmental Protection Key Laboratory of Coastal Ecosystem, National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China; 2.College of Marine Science and Environment, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 3.Zhejiang Ocean University, Zhejiang, 316022, China)

Abstract: To strengthen the ecological environment supervision of marine aquaculture, China, the United States, Japan, Canada, Thailand and other international organizations such as European Union have issued discharge standard of tailwater for mariculture. This paper reviews the progress of discharge standard of tailwater for mariculture, outlines the discharge requirements for industry and local mariculture tailwater in China, and compares and analyzes the discharge standards for mariculture tailwater from three aspects, including standard classification, control items, and discharge limits. The foreign standards for the discharge of aquaculture tail water do not involve grading, there are differences in the control items of the domestic and international standards, in which suspended solids are common control items, and the limitations of the secondary standards for each control item in abroad are stricter than those in China. Furthermore, based on the current situation of mariculture tailwater discharge in China, putting forward a series of proposals aimed at

收稿日期:2024-05-17, 修订日期:2024-09-19

基金项目:大连市高层次人才创新支持计划(尖端和领军人才项目)(2021RD04); 辽宁省自然科学基金面上项目(2022-MS-053); 2023 年度国家环境保护生物多样性与生物安全重点实验室开放课题

作者简介:苏洁(1983—), 女, 山东滨州人, 副研究员, 研究方向为海洋生态学, E-mail: jsu@nmemc.org.cn

通信作者:樊景凤(1972—), 女, 研究员, 研究方向为海洋生态学, E-mail: jffan@nmemc.org.cn

promoting green and healthy aquaculture technology, facilitating large-scale, facility-based and equipment-based aquaculture, regulating the discharge of mariculture tail water through the implementation of business systems, promoting the application of technologies such as online monitoring and big data regulation, and conducting research and development activities to advance the field of mariculture tail water treatment technologies, in order to provide certain reference opinions for the management and standard formulation of mariculture tailwater discharge in China.

Key words: mariculture; tailwater discharge; control items; discharge limits

目前全球有 130 余个国家和地区从事海水养殖生产,我国近岸海域海水养殖业发展迅速,已成为世界海水养殖第一大国,我国海水养殖面积达 2074.42 千公顷^[1],占全球海水养殖面积 60% 以上^[2]。海水养殖是可持续利用海洋资源的重要方式,但沿海海水养殖的不规范发展对我国近岸海域生态环境造成严重污染。由于饵料利用率低,水产养殖尾水中的悬浮颗粒物、氮、磷等污染物会排入近岸海域,不仅会加剧养殖海域富营养化水平,甚至制约海水养殖业的健康可持续发展^[3-4]。因此,制定海水养殖尾水排放标准,严格控制海水养殖尾水污染物排放,改善养殖环境,保障我国近岸海域生态环境质量稳中趋好,是建设海洋生态文明、贯彻国家战略发展的刚性需求。2024 年 1 月,新修订的《中华人民共和国海洋环境保护法》^[5]正式实施,第四十五条规定,“向海洋排放养殖尾水污染物等应当符合污染物排放标准。沿海省、自治区、直辖市人民政府应当制定海水养殖污染物排放相关地方标准,加强养殖尾水污染防治的监督管理”。

目前,为保护海洋生态环境,国外已有很多国家颁布了与海水养殖行业相关的排放标准。国外水产养殖尾水排放标准多样化,但都是基于本国各类水质要求提出的,目的都是为了减少或降低尾水排放对受纳环境的污染。但由于各地水质要求、污水处理技术、排放废物及数量的差异,很多国家没有设定统一养殖尾水排放标准限值,而是给出一般性指导方针,各地方可根据各地自身环境条件设置具体排放标准限值。

为了更好地规范海水养殖尾水排放管理,促进水产养殖业污染防治与绿色健康发展,我国相关部门也出台了一系列技术标准,对水产养殖尾水排放等做了要求。原农业部于 2007 年颁布了推荐性行业标准《海水养殖水排放要求》(SC/T9103—

2007)^[6]。2023 年生态环境部组织制定了《地方水产养殖业水污染物排放控制标准制订技术导则》(HJ 1217—2023)^[7],用于指导各地更科学、精准、规范地制订相关地方污染物排放标准。目前辽宁^[8]、河北^[9]、天津^[10]、山东^[11]、江苏^[12]、浙江^[13]、福建^[14]、广东^[15]、广西^[16]和海南^[17]等沿海各省(自治区、直辖市)都已发布了海水养殖尾水排放标准,除广西壮族自治区为推荐性地方标准外,其他省市均为强制性地方标准。

1 国外海水养殖尾水排放标准

1.1 美国

美国尚未提出明确的水产养殖标准,但规定应通过最佳管理实践(best management practices, BMPs)措施来减少水产养殖对环境的影响。美国国家环境保护局(Environmental Protection Agency, EPA)于 2003 年 12 月发布了对流水、网箱、循环水及池塘等水产养殖进行最佳管理实践的白皮书。2004 年联邦纪事(federal register)最终颁布了水产养殖对环境影响的 BMPs^[18]。水产养殖 BMPs 是一系列针对水产养殖面源污染所采取的各种高效的控制和管理措施的总称,它需要养殖户根据各自养殖场的具体状况做出选择,进而形成个性化的水产养殖 BMPs。目前,美国各州已采用 BMPs 方法对养殖尾水进行资源化利用和管理^[19]。

1.2 日本

日本目前形成了内容较完善、结构较稳固的水产法律体系。为实现水产养殖的可持续发展,2000 年日本发布了《海水养殖区环境质量准则》^[20],要求开展水产养殖活动时应尽可能减少对周围环境和野生生物的影响。2019 年日本海洋生态标签委员会颁布了《水产养殖管理标准》(表 1)^[21],该标准适用于所有水产养殖种类和养殖系统。

同一管理体系下认证的4种养殖系统包括:(1)海洋网箱养殖(黄尾鱼,红鲷鱼,太平洋蓝鳍金枪鱼,银大麻哈鱼,日本比目鱼和日本河豚等);(2)内陆水产养殖(虹鳟,日本比目鱼和日本河豚等);(3)贝类水产养殖(扇贝和牡蛎等);(4)海藻水产养殖(裙带菜海藻和紫菜等)。该标准要求最大程度地减少水产养殖对环境的影响,包括对水产养殖场内和周围的生境和脆弱生境的影响。

表1 2019年日本《水产养殖管理标准》^[21]

Tab.1 Japan's "Aquaculture Management Standard" in 2019		
序号	控制指标	限值
1	五日生化需氧量(BOD ₅)/mg·L ⁻¹	<10(河流)
2	化学需氧量(COD)/mg·L ⁻¹	<8(海洋)
3	悬浮物(SS)/mg·L ⁻¹	<50

1.3 加拿大

在加拿大,水产养殖管理是联邦、省和地区政府的共同职责,各省通过许可证标准负责管理海水养殖排放的废弃物。加拿大渔业和海洋部(Fisheries and Oceans Canada, FOC)根据1985年司法部颁布的《渔业法》管理水产养殖的可持续性^[22]。2014年以前,加拿大环境和气候变化部(ECCC)负责管理《渔业法》第36条涉及的污染预防相关内容。2014年,与水产养殖和外来水生生物入侵等有关的第36条活动的管理和执法责任转由加拿大FOC负责。2015年加拿大FOC发布了《加拿大水产养殖活动条例》,根据这些条例,水产养殖业被授权在符合环境保护要求的情况下可以向水产养殖水域投放潜在污染物,环境保护措施包括经营者需向联邦政府提交水产养殖用药种类及数量、定期监测海水中有有机污染物、制定农药污染导致鱼类死亡时的应急措施以及对鱼类及其栖息地影响的减缓措施等。经营者必须满足所有条件,否则无法排放养殖废水,并可能被起诉违反《渔业法》^[23]。2024年5月加拿大司法部颁布新修订的《废水排放管理条例》^[24],规定了养殖废水排放相关控制指标及限值(表2)。

1.4 泰国

泰国自然资源和环境部于2004年发布了《泰国沿海水产养殖废水排放标准》,设置了6类

表2 2024年加拿大《废水排放管理条例》

Tab.2 Canada "Wastewater Systems Effluent Regulations" in 2024

序号	控制指标	限值
1	总余氯(Cl)/mg·L ⁻¹	<0.02
2	生化需氧量(BOD)/mg·L ⁻¹	<25
3	总悬浮物(TSS)/mg·L ⁻¹	<25
4	氨氮(以N计)/mg·L ⁻¹	<1.25

控制指标(表3)^[25]。此外,泰国还制定了废水管控机制,规定养殖场必须对废水进行处理,并达到排放标准后才能排放。同时泰国在处理废水时还采用经济手段,如收废水处理费、颁布征收污水税的相关法律等。

表3 《泰国沿海水产养殖废水排放标准》

Tab.3 Coastal aquaculture effluent standard in Thailand

序号	控制指标	限值
1	pH	6.5~9
2	五日生化需氧量(BOD ₅)/mg·L ⁻¹	<20
3	悬浮物(SS)/mg·L ⁻¹	<70
4	氨氮(NH ₃ -N)/mg·N·L ⁻¹	<1.1
5	总磷(TP)/mg·P·L ⁻¹	<0.4
6	硫化氢(H ₂ S)/mg·L ⁻¹	<0.01
7	总氮(TN)/mg·N·L ⁻¹	<4.0

注:用于废水标准检验控制的水采样方法必须是从沿海水产养殖区的排放点取样

1.5 全球水产养殖联盟

全球水产养殖联盟(GAA)是一个国际水产养殖组织,致力于发展负责任水产养殖计划的任务。2000年全球水产养殖联盟基于BMPs原则,提出了《虾养殖场排放废水的初始和目标水质标准》建议^[26],设置了6项监测指标的初始标准和目标标准(表4)。管理者可以通过这些定量标

表4 《虾养殖场排放废水的初始和目标水质标准》

Tab.4 Initial And Target Water Quality Standards For Shrimp Farm Wastewater Discharge

序号	控制指标	初始标准	目标标准
1	pH	6.0~9.5	6.0~9.0
2	总悬浮物(TSS)/mg·L ⁻¹	≤100	≤50
3	总磷(TP)/mg·L ⁻¹	≤0.5	≤0.3
4	总氨氮(TAN)/mg·L ⁻¹	≤5	≤3
5	五日生化需氧量(BOD ₅)/mg·L ⁻¹	≤50	≤30
6	溶解氧(DO)/mg·L ⁻¹	≥4	≥5

准衡量养殖户对“负责任虾养殖实践守则”的遵守情况,因此这些废水标准在GAA的负责任水产养殖计划中发挥着重要作用。

1.6 欧盟

为规范水产养殖及其废水排放,欧盟自1975年颁布了《欧洲水法》后,相继出台了各种相关法规和标准,包括《渔业用水指令》(78/659/EEC)、《贝类养殖水指令》(79/923/EEC)等。2000年12月欧盟通过了《关于建立欧共体水政策领域行动框架的2000/60/EC指令》(以下简称《水框架指令》),统一了欧盟各成员国水环境管理政策,并提出了共同的水质目标^[27]。2006年发布的欧盟理事会指令(2006/11/EC)要求欧盟各成员国必须设立养殖业排放许可制度^[28]。为进一步预防和减少废水排放对水体污染,2020年欧盟发布了《废水排放管理规定》,规定了环境保护局对地方当局废水排放的授权许可^[29]。2021年欧盟发布了《2021年至2030年欧盟水产养殖业更具可持续性和竞争力的战略指导方针》,要求对水产养殖场进行环境监测,包括养殖尾水中有有机物、营养物、微塑料、抗生素等的监测^[30]。

2 国内海水养殖尾水排放标准对比

2.1 标准分级

2007年原农业部发布的《海水养殖水排放要求》(SC/T9103—2007)根据排放海区的海域使用功能和海水养殖尾水排放去向,将排入海域的养殖尾水排放标准分为一级和二级标准。辽宁、河北、天津、山东、江苏、浙江、福建、广东、广西和海南等沿海10省(自治区、直辖市)制定的养殖尾水排放标准均依据海水养殖尾水排入水域使用功能或《海水水质标准》(GB 3097—1997)^[31]分级要求,对排放水域进行划分,并根据尾水排入水域要求进行标准分级,划分为一级和二级标准。其中,辽宁、河北、山东、浙江、福建、广东、广西和海南等沿海8省(自治区)海水养殖尾水排放标准中的一级排放要求受纳海域包括《海水水质标准》(GB 3097—1997)规定的一类、二类海域。天津市《海水养殖尾水污染物排放标准》(DB12/1288—2023)和江苏省《池塘养殖尾水排放标准》(DB32/4043—2021)限定了一级要求

为《海水水质标准》(GB 3097—1997)规定的二类海域。另外,天津市地方标准根据不同养殖方式水质差别,分别对池塘和非循环水式工厂化海水养殖尾水、循环水式工厂化海水养殖尾水排放的执行标准做了更加详细、明确的分级规定。

2.2 标准控制项

原农业部发布的《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)规定了10项海水养殖水排放控制项,包括pH、悬浮物、化学需氧量、生化需氧量、活性磷酸盐、无机氮、铜、锌、硫化物、总余氯。由于南北方气候、环境、养殖模式、排放尾水方式存在明显的区域性差异,因此我国沿海各省(自治区、直辖市)通过对当地海水养殖模式、养殖水质的调查、分析,同时兼顾我国国情及实际养殖的具体情况,确定出适合各种海水养殖模式其养殖后尾水的排放指标,包括pH、悬浮物、化学需氧量、总磷和总氮5项共性控制项指标(图1)。

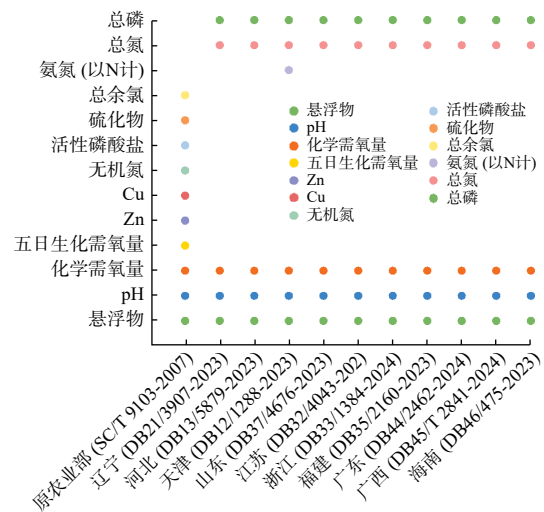


图1 国内相关标准控制项目选取情况

Fig. 1 Selection of relevant control items in China

地方标准中,辽宁、河北、山东、江苏、浙江、福建、广东、广西和海南等9省(自治区)地方标准中控制项指标完全一致,与行业标准《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)相比,删除了铜、锌、硫化物3项指标,将活性磷酸盐、无机氮指标统一调整为总磷、总氮,其他指标相同。天津市《海水养殖尾水污染物排放标准》(DB12/1288—2023)在辽宁、河北、山东、江苏、浙江、福建、广东、广西和海南等9省(自治区)地方标准中

5项控制指标的基础上增加了氨氮这一指标。

2.3 排放限值

目前辽宁、河北、天津、山东、江苏、浙江、福建、广东、广西和海南等沿海10省(自治区、直辖市)海水养殖尾水排放地方标准均依据标准分级设定不同排放限值。相比《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007),浙江省地方标准中悬浮物质二级标准相对宽松,而福建、广东及海南3省地方标准中悬浮物质二级标准较《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)严格,其他相同指标控制限值一致。天津市地方标准中pH限值、循环水式工厂化海水养殖尾水中COD限值较《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)和其他9省(自治区)地方标准中一级标准均放宽,悬浮物二级标准限值严于其他标准。福建省地方标准中按照提水式海水池塘养殖和其他水产养殖形式将总氮分为2类限值,其中,其他水产养殖形式中的总氮限值与江苏省地方标准一致,均严于其他省(自治区、直辖市)地方标准。山东省、广西壮族自治区和天津市地方标准中循环水式工厂化海水养殖中总磷的一级标准限值比其他省地方标准略宽松。相比其他省市地方标准,广东省和广西壮族自治区地方标准中总磷的二级标准限值相对宽松(表5)。

3 国内外海水养殖尾水排放标准对比

3.1 标准分级

从目前已获取的资料来看,国外养殖尾水排放标准涉及到分区、分类,尚未见到分级的情况,例如,美国各个州采用各自的BMPs方法对水产养殖进行管理;泰国海水水质标准有分级,但其海水养殖尾水排放标准没有分级;日本水产养殖管理标准中涉及的工厂化养殖场执行渔业水质标准,里面涉及分类(水产1类:包括底栖鱼贝类在内,各种水产生物保持良好的平衡;水产2类:除了一部分的底栖鱼贝类,以鱼类为中心的水产生物;水产3类:主要为抗污染的特定水产生物)。我国行业标准《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)及已发布的9省(自治区)1市地方海水养殖尾水排放标准均依据海水水域功能将控制标准分为两个等级。

3.2 标准控制项

国外养殖尾水排放标准涉及的共性控制指标包括pH、悬浮物、总磷、总氮、溶解氧、生化需氧量和氨氮,共7项(图2),其中pH、悬浮物和生化需氧量3项指标与我国原农业部发布的《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)一致;日本规定了养殖尾水排放标准采用化学需氧量(COD)这一控制指标,与《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)一致;通过对比我国与国外养殖尾水排放标准可以看出,非共性控制指标包括无机氮、活性磷酸盐、锌、铜,共4项。

3.3 排放限值

通过对比国内外养殖尾水排放标准涉及的3个共性控制指标(悬浮物、总磷和总氮)发现,加拿大悬浮物排放限值最为严格。除福建和海南外,我国行业标准《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)和其他省(自治区、直辖市)地方标准中悬浮物的一级排放标准限值全部严于除加拿大以外其他国家相同指标的限值。辽宁、河北、天津、福建等省市地方标准中总氮的一级排放标准限值与GAA初始标准目标一致,江苏省地方标准中总氮的一级排放标准限值与GAA目标标准一致。除山东和广西外,国内其他各省市地方标准中总磷的一级排放标准限值与GAA初始标准一致。泰国和GAA目标标准中总磷排放限值均严于国内各省(自治区、直辖市)地方标准中的一级排放限值(图3A)。辽宁、河北、山东、江苏和广西地方标准中悬浮物的二级标准排放限值与GAA初始标准一致,且国外悬浮物排放限值均严于国内二级标准排放限值。泰国和GAA标准中总磷排放限值均严于国内各省(自治区、直辖市)地方标准中的二级标准排放限值。除江苏省总氮的二级排放标准限值与GAA初始标准一致外,国外总氮排放标准限值均严于国内各省(自治区、直辖市)地方标准中的二级排放限值(图3B)。

4 讨论

4.1 国内海水养殖尾水标准控制项的变化

《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)主要考虑海水养殖过程中的投入品(饵料、渔药

表 5 国内各相关标准控制限值对比 (mg/L)
Tab.5 Comparison of control limits of relevant standards in China (mg/L)

序号	标准名称	现行行业标准										现行各地方标准											
		《海水养殖水排放要求》 (SC/T 9103—2007)										天津市											
		辽宁省					河北省					天津市					天津市						
		辽宁省					河北省					天津市					天津市						
控制项目	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级	
1	悬浮物质 (mg/L)	40	100	40	100	40	100	40	100	40	100	40	100	40	100	40	100	40	100	40	100	40	100
2	pH	7.0~8.5	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	6.5~9.0	
3	COD (mg/L)	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
4	BOD ₅ (mg/L)	6	10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
5	铜(mg/L)	0.1	0.2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
6	锌(mg/L)	0.2	0.5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
7	无机氮 (以N计) (mg/L)	0.5	1.0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
8	活性磷酸盐 (以P计) (mg/L)	0.05	0.1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
9	硫化物 (以S计) (mg/L)	0.2	0.8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
10	总余氯 (mg/L)	0.1	0.2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
11	氨氮 (以N计)	/	/	/	/	/	/	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
12	总氮	/	/	5.0	8.0	5.0	8.0	5.0	8.0	5.0	8.0	4.0	6.0	3.0	5.0	5.0 ^a	7.0 ^a	5.0 ^c	7.0 ^c	3.5	7.0	5.0	8.0
13	总磷	/	/	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.7	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.5	0.7	

注: /代表无相关指标; a指 I 阶段 (2025年10月15日起执行); b指 II 阶段 (2027年10月1日起执行); c指提水式海水池塘养殖; d指其他水产养殖形式

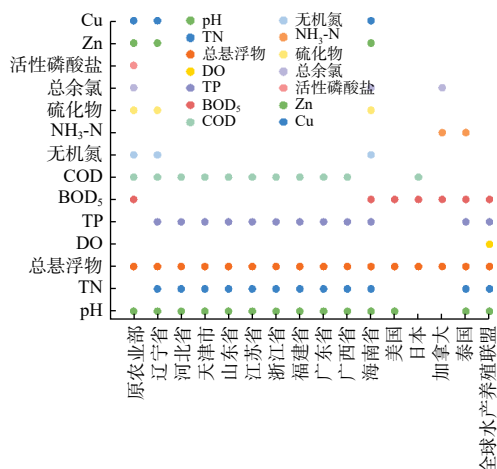


图2 国内外相关标准控制项目选取情况

Fig. 2 Selection of relevant standard control items

和肥料)和养殖生物的排泄物、生物残骸等带来的环境影响,因而确定了无机氮、活性磷酸盐等

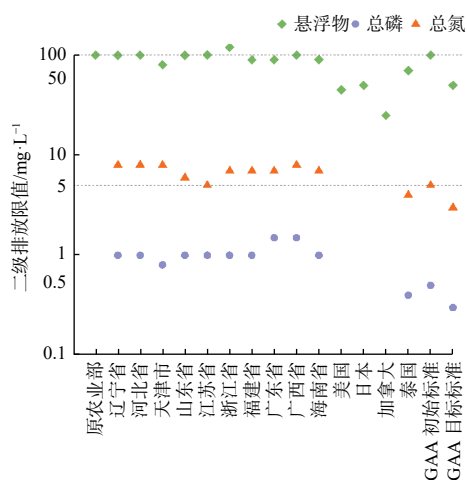
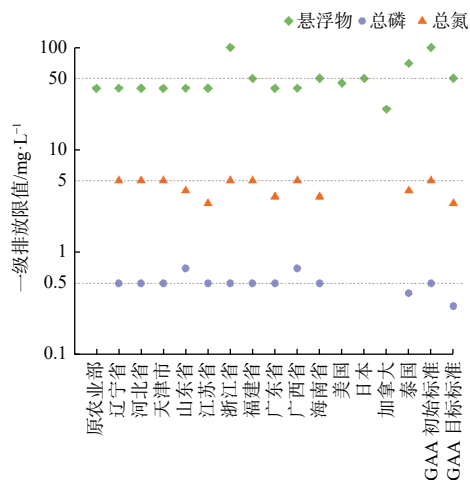


图3 国内外相关标准一级排放限值(A)和二级排放限值(B)

Fig. 3 Primary emission limit (A) and secondary emission limit (B) of relevant domestic and foreign standards

与氮类似,磷也是海水养殖尾水中含有的一类营养物,其在水体中的存在形态同样包括无机磷和有机磷,不同形态的磷在一定条件下可以相互转化。海水养殖中除了无机磷,还存在部分未被利用的,以残饵、排泄物、代谢物等形式存在的有机磷^[34]。因此,相较于活性磷酸盐指标,总磷作为控制指标更能全面反映海水养殖尾水中磷的排放。

为了全面反映海水养殖尾水氮、磷排放量,我国沿海9省1市地方标准将无机氮和活性磷

10项控制项。由于已颁布10余年,目前多数养殖户为了追求生产速度和降低成本,采用多投入以及人为添加各种消毒剂、促生长剂等药物的方式,这种投喂方式多数是饲料利用率低,饲料系数大,排入水中的有机物含量高,氮磷总量相应增加,造成水体富营养化,这样的养殖尾水排入环境中,容易造成污染^[32]。

由于海水养殖尾水中的氮包括无机氮和有机氮。氮的过量输入除可造成水体富营养化之外,也可对养殖生物产生影响。调查与监测资料显示,海水养殖中除了无机氮,更多的是未被利用的、以残饵、排泄物、代谢物等形式存在的有机氮,这些也会对环境造成影响^[33]。因此,为了全面反映海水养殖尾水中氮的排放,相较于无机氮指标,总氮作为控制指标更为合理。

酸盐分别调整为总氮、总磷,该调整有利于流域及入海河流的总磷、总氮浓度控制,同时推动了陆海统筹新格局。

4.2 国内海水养殖尾水排放限值的变化

水中悬浮物浓度是衡量水污染程度的指标之一,海水养殖过程中的残饵、粪便等会造成大量悬浮物产生。由于我国南北海域悬浮物本底值悬殊较大,我国沿海各省(自治区、直辖市)通过对当地海水养殖尾水监测数据统计分析,优化调整了各地养殖尾水中悬浮物排放限值。其中

由于河北省海岸带潮间带底质类型以粗砂、细砂、砂质粉砂、粉砂、黏土质粉砂等为主,海水中悬浮物浓度普遍较高,因此参考《海水水质标准》中三、四类海域悬浮物标准“人为增加的量 $\leq 100\text{ mg/L}$ ”和《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)中一级标准 40 mg/L 、二级标准 100 mg/L 的要求,确定本标准悬浮物浓度限值为一级标准 40 mg/L (60%达标),二级标准 100 mg/L (90%达标)。广东对全省172处海水养殖塘(主要为对虾塘)水体悬浮物监测结果表明,即现状养殖水体在未经过处理条件下,海水养殖塘悬浮物浓度基本能满足《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007),因此调整了广东省养殖尾水排放标准中悬浮物排放限值二级标准为 90 mg/L ,严于《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)中二级标准的要求。

氮和磷是浮游植物生长必需的营养元素,浮游植物通常以特定比值吸收氮、磷,广泛认同的是 Redfield 比值,即氮、磷元素吸收比值(N:P)为 $16:1$ ^[35]。海水中氮磷比的失衡会影响浮游植物群落结构,进而影响整个海域的生态平衡。江苏省海水池塘养殖尾水中总氮浓度冬季一般为 $0.90\text{ mg/L} \sim 9.30\text{ mg/L}$,其中冬季不大于 3.0 mg/L 和 5.0 mg/L 的占比分别为42.31%和61.54%。根据《海水养殖尾水排放要求》(SC/T 9103—2007)以及养殖主体的调查结果,确定一级排放浓度限值为 3.00 mg/L ,二级排放浓度限值为 5.00 mg/L ,均严于我国其他省(自治区、直辖市)地方标准。天津市池塘海水养殖尾水中氨氮检测浓度均低于 2.0 mg/L ,因此规定了海水养殖尾水二级标准中氨氮排放限值为 2.0 mg/L 。天津市非循环水式工厂化海水养殖总氮浓度为 5 mg/L 的达标率100%,循环水式工厂化海水养殖总氮浓度为 8 mg/L 的达标率为87.5%,因此针对循环式及非循环水式工厂化海水养殖分别规定了不同的总氮排放限值。广东省对322个海水养殖尾水样品开展总氮监测的结果显示,海水养殖尾水中总氮浓度平均值为 3.13 mg/L ,中位值为 2.15 mg/L ,因此确定了总氮一级排放浓度限值为 3.5 mg/L ,严于《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)。由于海南省所在的南海开放海区

属于贫营养化,对氮的控制主要结合受纳海域生态环境特点来确定,因此规定的海水养殖尾水中总氮限值均严于《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)。

养殖尾水中的总磷主要来源于饲料中的添加剂、饲料分解物及养殖生物的排泄产物,当水体中磷浓度过高时,也会对环境产生不利影响。山东省省控站位海水水质监测结果表明,全省海水氮磷比(无机氮与活性磷酸盐的摩尔比)均值为258,其中渤海425,黄海141,氮磷比存在明显失衡。山东省结合当前本省海水养殖行业现状、养殖尾水污染物排放浓度水平以及尾水处理技术,统筹考虑当前经济形势、主管部门意见建议以及与周边沿海省份相关标准衔接等因素确定控制指标排放限值,总磷一级排放限值为 0.7 mg/L ,比其他各省(自治区、直辖市)地方标准宽松。广东结合全省海水养殖尾水总磷浓度监测结果和养殖主体尾水处理调查结果,在进一步有效提升养殖尾水污染物处理效能要求的基础上,确定一级、二级排放浓度限值为 0.50 mg/L 和 1.50 mg/L 。由于当前广东省池塘养殖尾水排放要实现二级排放要求,需加强池塘改造,残饵、残渣需日产日清(或几日一清),减少水产品收获阶段悬浮物及由此带来的总磷浓度大幅上升导致出现超标的情况,因此广东省规定的二级排放浓度限值比其他各省(自治区、直辖市)地方标准宽松。

5 建议

(1)大力推进绿色健康水产养殖技术

深入开展基于零污染排放的绿色养殖技术研究,改变养殖场极高密度养殖方式,鼓励养殖者通过绿色发展的方式,优化养殖品种结构,提高养殖品质,实现质价双升。大力推广多营养层次综合养殖技术,创新服务于“蓝色农业”的海洋精准育种技术。另外,养殖过程中需规范合理使用药物,避免药物使用不当造成尾水中过量有毒有害物质残留。同时要推动规模化、设施化、装备化养殖,确保养殖尾水持续稳定排放,且实现排放尾水总量可控、污染可溯源。

(2)健全海水养殖尾水排放监测监管业务

体系

目前我国海水养殖尾水排放跟踪监测监管不够,监管业务体系仍不健全,建议各地结合入海排污口整治行动,建立健全水产养殖尾水治理工作机制,优化治理工艺,完善治理设施,严格尾水排放要求,杜绝不达标养殖尾水直接排海行为。逐步加强对养殖投入品、有毒有害物质等的检测分析,推动在线监测、大数据监管等技术应用。逐步建立标准化养殖尾水排放邻近海域及养殖海域水环境监控体系,确定养殖责任主体,确保执法监测及常规监测能实现责任到人,精准管控。

(3)研发新型高效海水养殖尾水处理技术

针对不同养殖品种和养殖模式,研发高效、占用面积小、副作用低的尾水处理和底泥资源化利用新技术;通过借鉴淡水人工湿地的运行经验构建海水养殖尾水人工湿地处理系统;扩大物理、化学和生物技术相结合的综合型尾水处理系统的应用范围,推进海水养殖耦合高效资源能源循环利用技术的发展,并逐步实现处理技术的标准化应用和推广。

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,2023.
- [2] Food and Agriculture Organization. The state of world fisheries and aquaculture 2022: towards blue transformation [EB/OL]. (2024-05-02)[2024-04-18]. <https://doi.org/10.4060/cc0461zh>.
- [3] 马晓娜,翟堂芳,吴子恒,等.国外养殖尾水排放要求对中国水产养殖业绿色发展的启示[J].大连海洋大学学报,2024,39(2): 337-348.
- [4] 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(06): 887-894.
- [5] 生态环境部.中华人民共和国海洋环境保护法[EB/OL]. (2023-10-25)[2024-05-07]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fg-bz/fl/202310/t20231025_1043942.shtml.
- [6] 中华人民共和国农业部.海水养殖水排放要求: SC/T9103—2007[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [7] 中华人民共和国生态环境部.地方水产养殖业水污染物排放控制标准制订技术导则: HJ1217—2023[S].北京:中国环境科学出版社,2023.
- [8] 辽宁省市场监督管理局,辽宁省生态环境厅.海水养殖尾水排放标准: DB21/3907—2023[S].2023.
- [9] 河北省生态环境厅,河北省市场监督管理局.海水养殖尾水污染物排放标准: DB13/5879—2023[S].2023.
- [10] 天津市生态环境局,天津市市场监督管理委员会.海水养殖尾水污染物排放标准: DB12/1288—2023[S].2023.
- [11] 山东省市场监督管理局,山东省生态环境厅.海水养殖尾水排放标准: DB37/4676—2023[S].2023.
- [12] 江苏省生态环境厅,江苏省市场监督管理局.池塘养殖尾水排放标准: DB32/4043—2021[S].2021.
- [13] 浙江省人民政府.海水养殖尾水排放标准: DB33/1384—2024[S].2024.
- [14] 福建省市场监督管理局,福建省生态环境厅.水产养殖尾水排放标准: DB35/2160—2023[S].2023.
- [15] 广东省生态环境厅,广东省市场监督管理局.水产养殖尾水排放标准: DB44/2462—2024[S].2024.
- [16] 广西壮族自治区市场监督管理局.海水养殖尾水排放标准: DB45/T2841—2024[S].2024.
- [17] 海南省市场监督管理局,海南省生态环境厅.水产养殖尾水排放标准: DB46/475—2023[S].2023.
- [18] Federal Register. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY(40 CFR Part 451): Effluent Limitations Guidelines and New Source Performance Standards for the Concentrated Aquatic Animal Production Point Source Category[EB/OL].2004.
- [19] SUMMERFELT R. Introduction to "Aquaculture Effluents: overview of EPA guidelines and standards and BMPs for ponds, raceways, and recycle systems"[R]. Ames: Iowa State University, 2003.
- [20] YOKOYAMA H. Environmental quality criteria for aquaculture farms in Japanese coastal areas: A new policy and its potential problems[J]. Bulletin of National Research Institute of Aquaculture, 2000(29): 123-134.
- [21] Marine Eco-Label Japan Council. Aquaculture management standard guidelines for auditors: indicators of conformity: version. 1.1[EB/OL]. (2019-01-23)[2024-05-07]. <https://melj.jp/eng/wp-content/uploads/2019/04/Aquaculture-Management-Standard-Guidelines-for-Auditors-Indicators-of-Conformity-Version-1.1.pdf>.
- [22] Department of Fisheries and Oceans Canada. Fisheries Act[EB/OL]. 1985.
- [23] Environment and Climate Change Canada. Canadian Environmental Sustainability Indicators Management of Canadian aquaculture[EB/OL]. 2023.
- [24] Department of Justice Canada. Wastewater Systems Effluent Regulations[EB/OL]. 2024.
- [25] Ministry of Natural Resources and Environment. Effluent Standard for Coastal Aquaculture B. E. 2547[S]. 2004.
- [26] BOYD C E, GAUTIER D. Effluent composition and water

- quality standards[EB/OL]. (2000-10-01)[2024-05-09]. <https://www.globalseafood.org/advocate/effluent-composition-and-water-quality-standards/>.
- [27] European Commission. Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy[R]. Brussels: European Commission, 2000.
- [28] Council of the European Union. Directive 2006/11/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 on pollution caused by certain dangerous substances discharged into the aquatic environment of the Community[R]. Brussels: Council of the European Union, 2006.
- [29] European Union. Waste water discharge regulations[R]. Brussels: European Union, 2020.
- [30] European Commission. Strategic guidelines for a more sustainable and competitive EU aquaculture for the period 2021 to 2030[R]. Brussels: European Commission, 2021.
- [31] 中华人民共和国生态环境部. 海水水质标准: GB 3097—1997[S]. 北京: 环境科学出版社, 2004.
- [32] 杨宇峰, 王庆, 聂湘平, 王朝晖. 海水养殖发展与渔业环境管理研究进展[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2012, 33(5): 531-541.
- [33] 张晓蕾. 池塘循环流水养殖水体浮游动植物和微生物分布格局及氮循环生态模型研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2021.
- [34] 郁颖. 菌藻共生-滤食性水生动物协同净化水产养殖废水的应用研究[D]. 南京: 东南大学, 2020.
- [35] REDFIELD A C, KETCHUM B H, RICHARDS F A. The influence of organisms on the composition of the sea water[M]// HILL M N. The Sea. New York: Interscience Publishers, 1963: 26-77.

(本文编辑: 胡莹莹)