

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240516002

福建省贝类毒素风险预警与管控的现状与建议

许翠娅^{1*}, 陈小红¹, 杨芳¹, 朱琳², 朱雨晨¹, 陈财珍¹, 黄奕雯²

(1. 福建省水产研究所, 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室, 厦门 361013;
2. 福建省渔业资源监测中心, 福州 350003)

摘要: 贝类毒素主要由有毒赤潮藻产生, 在海洋环境中分布广泛, 它可通过食物链传递, 对民众生命健康造成严重威胁。福建省近岸海域是我国赤潮高发海域之一, 近年来在漳州、泉州等地曾发生民众食用贝类中毒事件。为保障民众健康和生命安全, 维护海洋渔业经济健康发展, 本文对福建省贝类毒素风险监测与管控、赤潮灾害预警与应急处置预案等相关政策、措施进行总结, 结合近年来福建省海水贝类贝毒污染状况, 对存在的主要问题进行分析, 并针对性地提出健全相关法律法规、制定贝毒风险预警与应急处置预案、完善贝类毒素监测方案、严格产毒藻预警浓度、建立贝类毒素分级管控制度等对策和建议, 以期为赤潮减灾、水产品质量安全管理, 以及贝类毒素风险预警与管控体系的完善提供参考。

关键词: 贝类毒素; 风险预警; 分级管控; 福建省

Current status and recommendations for shellfish toxin risk early warning and control in Fujian Province

XU Cui-Ya^{1*}, CHEN Xiao-Hong¹, YANG Fang¹, ZHU Lin², ZHU Yu-Chen¹,
CHEN Cai-Zhen¹, HUANG Yi-Wen²

(1. Key Laboratory of Cultivation and High-value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China; 2. Fishery Resources Monitoring Center of Fujian Province, Fuzhou 350003, China)

ABSTRACT: Shellfish toxins, predominantly generated by harmful algal blooms, are extensively found in marine environments and can be transmitted through the food web, causing severe threats to public health and safety. The coastal waters of Fujian Province are among the regions in China most susceptible to red tides, with recent incidents of shellfish poisoning affecting the public in areas such as Zhangzhou and Quanzhou. To safeguard public health and ensure the safety of life, as well as to uphold the sound development of the marine fishery economy, this paper provided a summary of the policies and measures related to the risk monitoring and management of shellfish toxins, and the early warning and emergency response plans for red tide disasters in Fujian Province. It reflected on the existing conditions of shellfish toxin contamination in the seawater shellfish of Fujian Province in recent years, analyzed the main issues encountered, and proposed specific strategies and suggestions. These included enhancing relevant laws and regulations, establishing an early warning system and emergency response plans for shellfish toxin

基金项目: 福建省省属公益类科研院所基本科研专项(2020R1013006、2022R1013001)

Fund: Supported by the Basic Scientific Research Projects for Public Welfare Research Institutes of Fujian Province (2020R1013006, 2022R1013001)

*通信作者: 许翠娅, 副研究员, 主要研究方向为渔业生态环境和水产品质量安全。E-mail: 1050150353@qq.com

*Corresponding author: XU Cui-Ya, Associate Professor, Fisheries Research Institute of Fujian, No.7, Haishan Road, Huli District, Xiamen 361013, China. E-mail: 1050150353@qq.com

risks, refining the monitoring protocols for shellfish toxins, enforcing strict alert thresholds for toxic algae, and instituting a hierarchical control system for shellfish toxins. The ultimate goal was to offer insights for the mitigation of red tide disasters, the safety management of aquatic product quality, and the enhancement of the early warning and control framework for shellfish toxins.

KEY WORDS: shellfish toxin; risk early warning; hierarchical control; Fujian Province

0 引言

中国是贝类生产大国, 养殖规模和产量稳居世界首位。2023 年《中国渔业统计年鉴》显示, 2022 年全国贝类养殖产量达 1588.56 万 t, 其中海水养殖贝类产量为 1569.58 万 t, 占总产量的 98.8%; 福建省作为海水养殖大省, 2022 年海水贝类养殖产量为 341.23 万 t, 占全国海水养殖贝类总产量的 21.7%^[1], 贝类养殖在国民经济中占有重要地位。

福建省海水养殖贝类以牡蛎、蛤、蛭、贻贝等双壳贝类为主^[1], 双壳贝类属于非选择性滤食生物, 其食物主要为水体中的微藻、原生动物以及有机碎屑等。水体中的产毒藻被贝类摄食后, 毒素会在其体内蓄积, 并通过食物链传递, 可导致食用者中毒甚至死亡^[2]。日常监管中常将贝类毒素按照中毒症状分为: 麻痹性贝类毒素(paralytic shellfish toxin, PST)、腹泻性贝类毒素(diarrheal shellfish toxin, DST)、神经性贝类毒素(neurotoxins shellfish toxin, NST)、记忆缺失性贝类毒素(amnesic shellfish toxin, AST)和西加鱼毒(ciguatera fish toxin, CFT)等^[3], 其中以 PST 和 DST 危害最为严重, 尤其是 PST, 被认为是分布最广、毒性最强、危害最大的一类毒素, 在世界范围内造成严重生态和食品安全风险^[4-6]。

随着水体富营养化和气候变化加剧, 赤潮暴发的风险增大, 赤潮对滤食性贝类的影响日益受到关注^[7]。我国赤潮的高发区为: 渤海湾、大连湾、长江口、福建沿海、广东和香港海域, 上述海域贝类毒素问题较为突出^[8-9], 近年来, 在河北秦皇岛、唐山、福建漳州、泉州等地曾发生民众食用贻贝中毒事件^[10-11], 贝类毒素对民众健康和生命安全造成严重威胁。目前, 一些国家或地区通过规定贝类毒素的最低限量值来实行贝类毒素的管控, 其中欧洲食品安全局对毒素含量限量值要求更为严格^[12-13]。欧盟委员会第 853/2004 号条例规定, 所有生产的贝类必须检测是否含有受管控的海洋毒素, 确认合格后方可进入市场^[14]。我国对贝类毒素的研究起步较晚, 其中对检测方法^[15-19]、污染分布^[20-23]以及蓄积和代谢^[24-27]的研究相对较多, 稳定同位素标记、特征指纹溯源等技术的应用也成为近年来研究热点^[28-30], 对贝毒风险预警与管控的研究相对较少^[31-32]。目前我国贝毒风险预警与管控主要借鉴渔业发达国家或地区的先进经验, 体系建设尚不完善, 开展该方面研究, 对

保障民众健康和生命安全、保护海洋生态环境、维护海洋渔业经济健康发展具有重要意义。本文对福建省贝类毒素风险监测与管控、赤潮灾害预警与应急处置预案等相关政策、措施进行总结, 结合近年来福建省海水贝类贝毒污染状况, 对存在的主要问题进行分析, 并提出相应对策和建议, 以期对赤潮减灾、水产品质量安全管理, 以及贝类毒素风险预警与管控体系的完善提供参考。

1 贝类毒素风险监测与管控的政策、措施

1.1 贝类毒素风险监测与管控

我国对贝类毒素风险监测与管控起步较晚, 主要依据农业农村部(农业部)下发的一些规范性文件进行管理。2007 年, 农业部下发了《2007 年贝类产品中有毒有害物质残留监控计划》(农渔发[2007]5 号), 该通知要求对全国 11 个沿海省、自治区、计划单列市的海水养殖贝类中有毒有害物质进行监测, 其中贝毒指标包括 PST 和 DST, 监测时间为 5~9 月, 选择其中 2 个月份分 2 批开展监测^[33]。2011 年, 农业部下发了《农业部关于开展 2011 年海水贝类产品卫生监测和生产区域划型工作的通知》(农渔发[2011]8 号文), 重点开展 11 个沿海省、自治区、计划单列市的海水贝类产品卫生监测和生产区域划型工作, 并明确了应急监管措施。监测指标包括 PST、DST 等 7 项, 监测时间为 4~11 月, 第二、三、四季度至少各监测 1 次。当海域环境受到突发性污染或发生赤潮, 发现多批次贝类产品检出贝毒超标时, 有关省级主管部门(或授权市、县级主管部门)应依法及时发布预警, 提出该海域禁止从事海水贝类养殖和采捕活动的措施, 报本级人民政府批准后公布, 并做好后续监管工作。同时组织对禁止生产区域进行跟踪监测, 在风险因素消失后, 海水贝类产品连续两次监测结果合格时, 报本级人民政府批准后, 予以重新开放^[34]。此后该监测工作每年持续开展, 监测方案基本不变。自 2021 年起“海水贝类产品卫生监测”并入《国家产地水产品兽药残留监控计划》, 2021 年监测频率为上下半年各 1 次, 2022~2024 年监测频率为 1 次/年^[35-38]。

福建省近年来对贝毒风险预警与管控非常重视。2007 年以来, 海水贝类监测主要依据上述农业农村部(农业部)文件开展工作, 监测品种包括贻贝、牡蛎、蛭、蛤、扇贝、蚶等双壳贝类, 监测项目、监测频次、检测方法和限量值、监管措施和办法按照农业农村部(农业部)文件执行。2017

年 6 月,泉州、漳州等地发生链状裸甲藻(*Gymnodinium catenatum*)赤潮,民众食用翡翠贻贝(*Perna viridis*)导致 PST 中毒事件发生后,福建省对贝毒的监管愈加重视,从 2020 年起增设“贝类毒素专项监测”。2024 年监测方案要求:赤潮高发期(4~7 月)对沿海重点贝类养殖区开展每月一次的常规监测,监测项目为 PST 和 DST。有毒赤潮期间,针对有毒赤潮生物产生的毒素种类组织开展跟踪监测,每个赤潮发生海区每次监测样品不少于 2 批次。管辖海域已发生赤潮但养殖区未禁采的海域,生物体贝类毒素每周监测 2 次;已发生赤潮且养殖区已禁采的海域,生物体贝类毒素每周监测 1 次,直至养殖区养殖贝类连续 2 周以上监测结果合格^[39]。PST 和 DST 检测方法和判定限量值见表 1。

1.2 相关水产品质量安全管理办法与应急处置预案

福建省已在 2017 年出台《食品安全信息追溯管理办法》,在全国率先推动构建“一品一码”全过程追溯体系。福建省海洋与渔业局也在 2019 年组织开发出水产品质量安全“一品一码”全程追溯系统,全省渔业行政主管部门和市场监督管理部门已建立水产品产地准出和市场准入衔接制度^[40]。此外,2017 年福建省海洋与渔业厅发布了《福建省初级水产品质量安全突发事件应急预案》(闽海渔[2017]282 号)^[41],按照《农业部农产品质量安全突发事件应急预案》^[42]的分级办法,根据突发事件造成人员健康损害或伤亡的程度,将初级水产品质量安全突发事件相应分为四级(I级~IV级)。该预案适用于 II 级初级水产品质量安全突发事件处置,指导全省初级水产品质量安全突发事件应对工作。

2 赤潮灾害预警与应急处置预案

2.1 赤潮灾害预警

海水双壳贝类贝毒超标与海域有毒藻赤潮密切相关,因此做好赤潮预警对于贝毒风险预警与管控至关重要。根据 2021 年发布的《自然资源部办公厅关于建立健全海洋生态预警监测体系的通知》(自然资办发[2021]52 号)^[43]、《全国海洋生态预警监测总体方案(2021—2025 年)》^[44]等文件要求,近年来福建省每年开展“海洋生态灾害预警监测”,主要包括赤潮灾害业务化监测、高空影像赤潮监视监测、

近岸海域有毒(害)赤潮监测预警技术研发及应用等专项监测^[45]。赤潮灾害业务化监测包括:(1)赤潮观测监视。要求各级渔业行政主管部门组织建立赤潮基层观测监视队伍(由渔民、养殖户、基层水产技术人员等组成),在 4~7 月赤潮高发期,对近岸海域海水水色和养殖生物开展观测监视。(2)赤潮早期预警监测。4~10 月,对三沙湾、连江黄岐、平潭沿海、福清、南日岛等 5 个赤潮高发区,开展水文气象、水体环境、赤潮生物与赤潮毒素(PST 和 DST)监测。其中赤潮生物在 4~6 月监测频率为每周 2 次,7~10 月,仅对三沙湾、连江黄岐、平潭沿海等 3 个重点监测区域开展每半月 1 次的监测。赤潮毒素根据“贝类毒素专项监测”中常规监测的要求开展,4~7 月每月监测 1 次。(3)在线监测。结合浮标、渔排基等设备对赤潮高发区开展水文气象、水体环境在线监测。(4)赤潮应急监测。赤潮发生至消失全过程,对赤潮发生海域开展应急监测,监测频率:每 1~2 d 开展跟踪监视监测 1 次,贝毒监测参照“贝类毒素专项监测”执行。高空影像赤潮监视监测是在赤潮发生期间,利用无人机遥感监测和高清视频监视,对全省沿岸重点养殖海域赤潮发生范围、面积、致灾情况等开展监测。近岸海域有毒(害)赤潮监测预警技术研发及应用,主要工作内容为研发典型有毒(害)赤潮藻种快速检测设备,并在重点养殖区进行快检技术综合应用,并建立、完善福建省常见有毒(害)赤潮藻种图谱库,提升赤潮监测预警能力^[45]。

2.2 赤潮灾害应急处置预案

根据 2021 年自然资源部发布的《赤潮灾害应急预案》(自然资办函[2021]1258 号)^[46],结合福建省应对赤潮灾害工作实际,2023 年福建省海洋与渔业局重新修订发布了《福建省近岸海域赤潮灾害渔业应急预案》(闽海渔规[2023]3 号)^[47],该预案重点关注赤潮灾害对渔业的影响,按照赤潮灾害发生的影响范围、性质和危害程度,将赤潮灾害渔业应急响应级别分为 I 级、II 级、III 级 3 个级别,分别对应最高至最低应急响应级别。当赤潮藻达到赤潮基准密度,但尚未达到 III 级应急响应启动标准的赤潮灾害,属于一般赤潮,不启动该预案,由属地市级渔业行政主管部门做好赤潮监测预警、信息发布和应急处置工作。预案中将赤潮分为有毒赤潮、有害赤潮和无毒赤潮 3 类,并在附

表 1 PST 和 DST 检测方法和判定限量值
Table 1 Test methods and limited values of PST, DST

检测项目	检测方法	判定限量值
PST	GB 5009.213—2016《食品安全国家标准 贝类中麻痹性贝类毒素的测定》(小鼠生物法、液相色谱-串联质谱法)	小鼠生物法: 400 MU/100 g 液相色谱-串联质谱法: 800 μg/kg[以石房蛤毒素(saxitoxin, STX)计]
DST	GB 5009.212—2016《食品安全国家标准 贝类中腹泻性贝类毒素的测定》(小鼠生物法、液相色谱-串联质谱法)	小鼠生物法: 不得检出(0.05 MU/g) 液相色谱-串联质谱法: 160 μg/kg[以大田软海绵酸(okadaic acid, OA)计]

录中列出“有毒、有害赤潮藻及基准密度清单”。针对近年来福建近岸海域常见的赤潮藻,在自然资源部预案基础上增加了一些有毒有害赤潮藻种,其中列出的能产生 PST 的赤潮藻包括:链状裸甲藻、太平洋亚历山大藻(*Alexandrium pacificum*)、链状亚历山大藻(*Alexandrium catenella*)、微小亚历山大藻(*Alexandrium minutum*)、奥氏亚历山大藻(*Alexandrium ostenfeldii*)、伊姆裸甲藻(*Gymnodinium impudicum*)等 6 种,比自然资源部预案增加了后 3 种产毒藻;能产生 DST 的赤潮藻包括:微小原甲藻(*Prorocentrum minimum*)、利马原甲藻(*Prorocentrum lima*)、倒卵形鳍藻(*Dinophysis fortii*)、具尾鳍藻(*Dinophysis caudata*)、渐尖鳍藻(*Dinophysis acuminata*)、帽状鳍藻(*Dinophysis mitra*)、圆法拉藻(*Phalacroma rotundatum*)等 7 种,比自然资源部预案增加了后 4 种产毒藻。并要求加强水产品质量安全检测,监管赤潮灾害发生海域的渔业生产活动,禁止受赤潮毒素影响的水产品上市。明确 PST 的检测方法为:小鼠生物法、酶联免疫吸附法、液相色谱-串联质谱法、液相色谱法, DST 的检测方法为前 3 种, PST 和 DST 的警戒浓度同表 1^[47]。

3 近年来福建省海水贝类贝毒污染状况

自 2020 年福建省开展“贝类毒素专项监测”以来,在赤潮高发期对全省沿海重点贝类养殖区持续性开展贝类毒素常规监测,赤潮发生期间开展应急跟踪监测,并采取相应管控措施,全省海水贝类贝毒污染状况得到较及时、全面的掌握和控制。从表 2 可见,2020~2023 年该专项共采集海水双壳贝类样品 1206 个,监测品种包括:翡翠贻贝、紫贻贝(*Mytilus galloprovincialis*)、福建牡蛎(*Crassostrea angulata*)、缢蛏(*Sinonovacula constricta*)、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)、波纹巴非蛤(*Paphia undulata*)、华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*)、泥蚶(*Tegillarca granosa*)、等边浅蛤(*Gomphina aequilatera*)、美洲帘蛤(*Mercenaria mercenaria*)等;检出(含超标)PST 和 DST 的样品数分别为 20 和 21 个,贝类品种包括:福建牡蛎、华贵栉孔扇贝、翡翠贻贝;超标样品共 19 个,超标率为 1.6%,均为 DST 含量超标,包括 11 个福建牡蛎、4 个缢蛏、3 个等边浅蛤、1 个紫贻贝;其中 18 个超标样品为 2020 年 4 月同一时间段在福州、宁德海域采集的贝类样品,未造成人员中毒。结

合 2017 年 6 月漳州、泉州等地发生的 PST 中毒事件来分析,福建省海水双壳贝类在赤潮高发期存在一定的贝毒污染风险,尤其是 4~6 月。

2021 年 12 月,在漳州古雷霞美等地还出现民众食用泥螺(*Bullacta exarata*)中毒事件^[48],经检测泥螺 PST 含量超标。应急跟踪监测至 2022 年 3 月,在漳州古雷、漳浦、诏安等海域共采集泥螺、翡翠贻贝、福建牡蛎、美洲帘蛤、泥蚶、菲律宾蛤仔、华贵栉孔扇贝等贝类样品 25 个,检测结果表明:12 个泥螺样品中,共有 10 个样品 PST 含量超标,2 个样品未检出(最后 2 批次);13 个双壳贝类样品中,有 1 个牡蛎样品检出 PST 但未超标,其余 12 个样品未检出 PST。泥螺是一种营匍匐生活的舐食性(杂食性)潮间带底栖动物,食物主要为底栖硅藻类以及少量的有机碎屑、小型甲壳类和无脊椎动物的卵等^[49]。当地民众有食用泥螺的习惯,目前在当地没有人工养殖,均为野生,其引发的 PST 中毒事件虽然为偶发,但仍应引起高度重视。此外其种类目前仍存在争议,有学者认为是珠光月华螺(*Halooa margaitoides*),其种类以及毒素组成、来源等还有待进一步研究。

4 存在的主要问题

目前,一些渔业发达国家或地区(如爱尔兰、澳大利亚、加拿大、美国、欧盟等)对贝类毒素风险预警与管控十分严格,已建立了一整套较完整的贝毒风险监测、预警与管理体系,配备有专门的管理部门,并制定了严格的贝类监测计划,相应的法律条文也较完善^[32]。我国对贝毒的研究和风险预警、管控起步较晚,与渔业发达国家地区相比还存在一定差距,存在的主要问题如下。

4.1 相关法律法规、风险预警与管控体系不完善

目前我国在贝类毒素风险预警与管控方面还缺少相应的法律法规,农业农村部(农业部)下发的《有毒有害物质残留监控计划》《海水贝类产品卫生监测和生产区域划型工作要求》《农业部农产品质量安全突发事件应急预案》,以及自然资源部下发的《全国海洋生态预警监测总体方案(2021—2025 年)》《赤潮灾害应急预案》等,均属于规范性文件,不具备法律约束力。福建省主要依据农业农村部、自然资源部下发的相关文件执行,并在此基础上根据本省

表 2 2020~2023 年福建省海水双壳贝类贝毒污染状况统计
Table 2 Statistics of shellfish toxin pollution of seawater bivalves in Fujian Province from 2020–2023

时间	样品数/个	检出样品数/个		超标样品数/个		超标率/%	
		PST	DST	PST	DST	PST	DST
2020 年(4~6 月)	211	0	18	0	18	0	8.5
2021 年(4~6、8、10 月)	349	8	1	0	0	0	0
2022 年(4~6、8、10 月)	353	1	2	0	1	0	0.3
2023 年(4~7 月)	293	11	0	0	0	0	0
合计	1206	20	21	0	19	0	1.6

具体情况作适应性调整,也没有制定专门的贝类毒素风险预警与应急处置预案。

4.2 贝类毒素监测方案存在不足

福建省近年来开展的“贝类毒素专项监测”,常规监测中在赤潮高发期(4~7月)监测频率为每月1次,并在赤潮发生期间或发现贝类产品贝毒超标时开展应急跟踪监测,与“海水贝类产品卫生监测和生产区域划型工作”每季度1次的监测频率相比有了很大提高。目前爱尔兰、加拿大、欧盟等国家或地区贝毒监测频率为每周1次,美国为每月1~2次,澳大利亚、北爱尔兰、威尔士、英格兰为每月1次^[32]。与爱尔兰、加拿大、欧盟等渔业发达国家或地区相比,福建省贝毒监测频率还存在一定差距。这主要与目前存在的贝毒检测力量不足有关,目前常用的小鼠生物法、液相色谱-串联质谱法等对检测人员操作水平、仪器设备和实验室环境条件等要求较高,市、县级检验检测机构大多不具备该方面能力,因此贝毒检测任务集中在省级检验检测机构,工作量繁重使得难以开展更高频率、更大覆盖面的贝毒检测。

此外,“贝类毒素专项监测”方案中未要求对浮游植物开展同步监测,不利于贝毒风险的早期发现与预警。而福建省“赤潮灾害业务化监测”中的赤潮早期预警监测,是在赤潮高发期,主要针对近岸海域5个主要赤潮高发区开展监测,监测范围不能覆盖全省主要贝类养殖区,福建南部的泉州、漳州海域均未设置监测点。通过浮标、渔排基等设备开展的在线监测,也同样存在覆盖面不够广的问题。而赤潮基层观测监视覆盖面虽然较广,但人员专业性不强,主要是观测海水水色和养殖生物,没有对浮游植物进行镜检监测。

4.3 产毒藻预警浓度不适用

“贝类毒素专项监测”中,应急监测与管控启动条件为海域发生有毒赤潮或发现多批次贝类产品检出贝毒超标。根据《福建省近岸海域赤潮灾害渔业应急预案》,链状裸甲藻、太平洋亚历山大藻、链状亚历山大藻、微小亚历山大藻、奥氏亚历山大藻、伊姆裸甲藻等6种能产生PST的产毒藻,对应的赤潮基准密度均为 5.0×10^5 cells/L。许翠娅^[26]研究表明,当链状裸甲藻密度为 5.0×10^5 cells/L时,翡翠贻贝摄食产毒藻2h后,内脏团PST含量可达 (515.5 ± 18.8) $\mu\text{g}/\text{kg}$,累积2d内脏团PST含量超标,达 (1223.8 ± 64.7) $\mu\text{g}/\text{kg}$,累积8d达 (3590.4 ± 545.7) $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。该研究产毒藻投喂频率是12h一次,投喂2h后藻细胞密度由 5.0×10^5 cells/L下降至 2.7×10^3 cells/L,投喂12h后下降至 1.1×10^3 cells/L^[26]。而在自然海域中,赤潮期间产毒藻会持续维持在高密度水平,因此PST含量还会高于该研究数据,甚至有可能累积数小时后翡翠贻贝内脏团PST含量就会超标。因此认为,赤潮灾害应急预案

中产毒藻预警浓度不适用于贝毒风险预警,起不到早期预警作用。

4.4 贝毒应急管控措施不完善

依据上述农业农村部 and 福建省相关文件,目前贝毒应急管控措施主要包括:及时发布预警,事发海域禁止从事海水贝类养殖和采捕活动,对暂时性封闭区域进行跟踪监测,待风险因素消失后,养殖区养殖贝类连续两次以上监测结果合格时予以开放。已有研究表明,不同贝类对PST的蓄积和代谢能力差异很大,这与贝类种类、对产毒藻的敏感性,以及产毒藻的种类、密度、细胞毒性等有较大关系^[24-26,50-51]。当有毒赤潮发生后,由于一些贝类品种对贝毒蓄积能力强,代谢时间也较长,因此在赤潮消退后,在相当长时间内海域仍处于关闭禁捕状态,养殖户也会遭受较大经济损失。例如本项目组对2017年6月翡翠贻贝中毒事件的跟踪监测表明:不同贝类对PST的蓄积能力从高到低为:翡翠贻贝>华贵栉孔扇贝>福建牡蛎>菲律宾蛤仔、等边浅蛤>缢蛭;对PST蓄积能力强的翡翠贻贝体内PST含量超标时间长达1个半月以上,8月初由于海域又出现一定浓度的链状裸甲藻,导致翡翠贻贝PST含量又出现超标,并持续至9月初;而福建牡蛎、菲律宾蛤仔、缢蛭等贝类品种在赤潮消亡后10d左右PST含量均已检测合格。福建牡蛎、菲律宾蛤仔、缢蛭等为当地主要贝类养殖品种,翡翠贻贝主要为附着在养殖设施、礁石上生长,但是由于一刀切的禁捕管理方式,影响了福建牡蛎、菲律宾蛤仔、缢蛭等主要经济贝类的采捕、销售,也因此发生养殖户向行政主管部门诉求开放海域、解除禁捕。

5 对策和建议

5.1 健全相关法律法规,制定贝毒风险预警与应急处置预案

建议借鉴渔业发达国家或地区较先进成熟的经验,由国家出台有关贝类养殖管理、质量监管等方面的法律法规,建立有效的监管体系,并严格执法,监管到位。充分发挥水产品质量安全“一品一码”全程追溯系统的作用,政府发挥主导作用,引领贝类生产企业加入“一品一码”可追溯体系。充分利用互联网技术,提高赋码产品覆盖面。加强贝类产品市场准入管理,防止有毒贝类流入市场。发挥媒体的宣传作用,对养殖户加强宣传教育,提高消费者的防范意识,鼓励消费者参与产品质量监督。以实现贝类产品“源头可溯、去向可追、风险可控、公众参与”^[40]。根据本省具体情况制定有针对性的贝毒风险预警与应急处置预案,做到事前有防范预警机制,事中有联动分工、应急处置、损害控制的应急机制,事后有恢复生产、明确责任、总结经验的责任机制。建立起符合我国国情的一整套完整的贝

毒监测、风险预警与管控体系。

5.2 完善贝类毒素监测方案, 严格产毒藻预警浓度

贝类毒素监测方案目前还存在不足之处, 建议从以下几个方面进行完善: (1)目前常规监测中对贝毒(PST 和 DST)的监测频率为每月 1 次, 建议对危害较大的 PST, 在赤潮高发期的监测频率可以提高至每月 2 次。(2)对贝毒富集能力强的贻贝、扇贝等, 养殖面积最大、产量最高的牡蛎, 以及近年来引发过中毒事件的泥螺等贝类品种, 应进行重点监测。(3)对赤潮发生频率较高的贝类养殖区开展长期监测, 监测站位相对固定, 长期定点监测可为贝毒相关科研项目地开展提供基础数据。(4)在贝类养殖区开展贝毒监测的同时, 对浮游植物开展同步监测, 以加强对养殖区赤潮和贝毒风险的监控和预警。

此外, 目前赤潮预警浓度不适用于贝毒风险预警, 例如产生 PST 的链状裸甲藻、亚历山大藻等赤潮预警浓度为 5.0×10^5 cells/L, 预警浓度过高, 起不到贝毒风险早期预警作用, 因此建议在贝毒监测方案中设立较严格的产毒藻预警浓度。根据福建近岸海域浮游植物和贝毒的长期监测数据, 并参考渔业发达国家和地区的产毒藻预警浓度(爱尔兰和澳大利亚分别为 200 cells/L 和 100 cells/L)^[32], 建议产毒藻(如链状裸甲藻、亚历山大藻等)预警浓度为 10^3 cells/L, 当监测发现产毒藻浓度超过预警浓度时立即启动贝毒应急管理预案。

5.3 建立贝类毒素分级管控制度

鉴于不同贝类品种对贝毒的蓄积和代谢能力差异很大, 对贝毒蓄积能力强的贻贝、扇贝等可能在长达数月的时间内处于贝毒超标状态, 我们建议, 在严格开展贝毒和浮游植物监测的前提下, 可以尝试开展贝类毒素分级管控。既保障民众生命健康, 又解决经济贝类长期无法采捕、销售的问题, 在一定程度上保障养殖户的权益。按照贝毒的影响范围和危害程度, 将应急响应级别分为 I 级、II 级、III 级 3 个级别, 分别对应最高至最低应急响应级别。

(1)当满足下列条件之一时, 启动 I 级应急响应。海区养殖贝类贝毒含量超标(限量值参见表 1); 海区产毒藻密度 \geq 赤潮基准密度(参照 2023 年福建省海洋与渔业局发布的《福建省近岸海域赤潮灾害渔业应急预案》)。

I 级响应措施: 暂时性封闭海区, 禁止采捕销售该海区贝类, 封闭期间养殖贝类、野生贝类(如贻贝、泥螺等)贝毒以及浮游植物密度每周监测 1 次, 直至海区所有养殖贝类贝毒连续 2 周以上监测结果合格, 且产毒藻密度 $< 10^3$ cells/L, 则放开养殖贝类采捕销售。同时继续对野生贝类和浮游植物开展跟踪监测, 监测频率每周 1 次, 直至连续 2 次贝毒监测结果合格, 且产毒藻密度 $< 10^3$ cells/L。

(2)当满足下列条件之一时, 启动 II 级应急响应。海区

养殖贝类贝毒含量合格, 但是野生贝类贝毒含量超标, 且 10^3 cells/L \leq 产毒藻密度 $<$ 赤潮基准密度; 海区养殖贝类、野生贝类贝毒含量合格, 但是赤潮基准密度的 $1/10 \leq$ 产毒藻密度 $<$ 赤潮基准密度。

II 级响应措施: 暂时性封闭海区, 禁止采捕销售该海区贝类, 封闭期间养殖贝类、野生贝类贝毒含量以及浮游植物密度每周监测 2 次, 如果养殖贝类贝毒连续 2 次监测结果合格, 且产毒藻密度 $< 10^3$ cells/L, 则放开养殖贝类采捕销售。继续对野生贝类和浮游植物开展跟踪监测, 监测频率每周 1 次, 直至连续 2 次贝毒监测结果合格, 且产毒藻密度 $< 10^3$ cells/L。

(3)当满足下列条件之一时, 启动 III 级应急响应。海区养殖贝类体内贝毒含量合格, 但是野生贝类贝毒含量超标, 且产毒藻密度 $< 10^3$ cells/L; 海区养殖贝类、野生贝类贝毒含量合格, 但是 10^3 cells/L \leq 产毒藻密度 $<$ 赤潮基准密度的 $1/10$ 。

III 级响应措施: 禁止采捕销售贝毒超标的野生贝类品种, 养殖贝类贝毒含量以及浮游植物密度每周监测 2 次, 野生贝类每周监测 1 次, 直至连续 2 次贝毒监测结果合格, 且产毒藻密度 $< 10^3$ cells/L。

根据产毒藻和贝毒发生情况、发展趋势及危害影响程度的变化, 在达到上调或下调应急响应级别条件时, 应适时决定调整应急响应级别。

6 结束语

目前我国在贝类毒素风险预警与管控方面还不完善, 缺少相应的法律法规。福建省海水贝类在赤潮高发期存在一定的贝毒污染风险, 近年来加强了贝毒监测、预警和管控, 但在监测方案、预警与应急管控措施等方面仍存在不足。针对上述问题, 本文提出健全相关法律法规、制定贝毒风险预警与应急处置预案、完善贝类毒素监测方案、严格产毒藻预警浓度、建立贝类毒素分级管控制度等对策与建议。

目前对于藻细胞产毒的生物合成途径、遗传学特征及其环境调控机理等仍有待深入研究, 关于贝毒各组间复杂的转化机制, 蓄积、转化、代谢过程中的重要分子途径以及关键基因功能尚有待进一步揭示, 对贝毒风险预警与管控、贝毒净化技术研究也处于起步阶段。建议政府加大相关科研经费投入, 开展相关基础研究和应用技术研究。此外, 建议进一步加强便捷、高效、准确、低成本的定性定量检测方法的研究, 例如快检试剂盒、便携式贝毒检测仪器等。并加强基层检测人员浮游植物鉴定、贝毒检测技术等培训, 提高基层检验检测机构技术水平, 以实现更高频率、更大覆盖面的浮游植物和贝毒检测, 实现贝毒风险的早期发现与预警, 降低有毒赤潮危害。

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.
Fisheries Administration Bureau of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Extension Station, Fisheries society of china. China fisheries statistics yearbook [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2023.
- [2] JAMES KJ, CAREY B, OHALLORAN J, *et al.* Shellfish toxicity: Human health implications of marine algal toxins [J]. *Epidemiol Infect*, 2010, 138(7): 927-940.
- [3] GRATAN LM, HOLOBAUGH S, MORRIS JG. Harmful algal blooms and public health [J]. *Harmful Algae*, 2016, 57: 2-8.
- [4] YASUMOTO T, MURATA M. Marine toxins [J]. *Chem Rev*, 1993, 93(5): 1897-1909.
- [5] FABER S. Saxitoxin and the induction of paralytic shellfish poisoning [J]. *J Young Invest*, 2012, 23(1): 1-7.
- [6] NICOLAS J, HOOGENBOOM RLAP, HENDRIKSEN PJM, *et al.* Marine biotoxins and associated outbreaks following seafood consumption: Prevention and surveillance in the 21st century [J]. *Global Food Sec*, 2017, 15: 11-21.
- [7] TRAINER VL, MOORE SK, HALLEGRAEFF G, *et al.* Pelagic harmful algal blooms and climate change: Lessons from nature's experiments with extremes [J]. *Harm Algae*, 2019, 91: 101591.
- [8] 刘仁沿, 刘磊, 梁玉波, 等. 我国近海有毒微藻及其毒素的分布危害和风险评估[J]. *海洋环境科学*, 2016, 35(5): 787-800.
LIU RY, LIU L, LIANG YB, *et al.* The distribution, impacts and risks of toxic microalgae and phycotoxins in China [J]. *Mar Environ Sci*, 2016, 35(5): 787-800.
- [9] 于仁成, 吕颂辉, 齐雨藻, 等. 中国近海有害藻华研究现状与展望[J]. *海洋与湖沼*, 2020, 51(4): 768-788.
YU RC, LÜ SH, QI YZ, *et al.* Progress and perspectives of harmful algal bloom studies in China [J]. *Ocean Et Lim Sin*, 2020, 51(4): 768-788.
- [10] 翟毓秀, 郭萌萌, 江艳华, 等. 贝类产品质量安全风险分析[J]. *中国渔业质量与标准*, 2020, 10(4): 1-25.
ZHAI YX, GUO MM, JIANG YH, *et al.* Analysis on the quality and safety risks of shellfish products [J]. *Chin Fish Qual Stand*, 2020, 10(4): 1-25.
- [11] 陈火荣. 2017 年福建海域链状裸甲藻赤潮事件应急处置与思考[J]. *渔业研究*, 2018, 40(4): 308-314.
CHEN HR. Emergency treatment and reflection of red tide event of *Gymnodinium catenatum* in Fujian sea area in 2017 [J]. *J Fish Res*, 2018, 40(4): 308-314.
- [12] JI YX, CAI GZ, LIANG C, *et al.* A microfluidic immunosensor based on magnetic separation for rapid detection of okadaic acid in marine shellfish [J]. *Anal Chim Acta*, 2023, 1239: 340737.
- [13] WANG YF, JAVEED A, JIAN CQ, *et al.* Precautions for seafood consumers: An updated review of toxicity, bioaccumulation, and rapid detection methods of marine biotoxins [J]. *Ecotox Environ Safe*, 2024, 274: 116201.
- [14] DILLON M, ZACZEK-MOCZYDLOWSKA MA, EDWARDS C, *et al.* Current trends and challenges for rapid SMART diagnostics at point-of-site testing for marine toxins [J]. *Sensors*, 2021, 21: 2499.
- [15] 何明珠, 袁冠湘, 秦道云, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时检测贝类中 13 种麻痹性贝类毒素[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(9): 3465-3575.
HE MZ, YUAN GX, QIN XY, *et al.* Simultaneous detection of 13 kinds of paralytic shellfish poisoning toxins in bivalve by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(9): 3465-3575.
- [16] 王峥, 李佳钰, 匡佳妮, 等. 贝类毒素大田软海绵酸的免疫分析检测技术研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(6): 100-107.
WANG Z, LI JY, KUANG JN, *et al.* Recent progress in immunoassay detection technology of shellfish-toxin okadaic acid [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(6): 100-107.
- [17] 黄奕雯. 石房蛤毒素胶体金快速检测试纸卡的应用研究[J]. *渔业研究*, 2020, 42(6): 614-621.
HUANG YW. Study on the application of colloidal gold rapid test strip for detection of saxitoxin [J]. *J Fish Res*, 2020, 42(6): 614-621.
- [18] 韩蕾, 赵芮, 刘昭, 等. 大田软海绵酸和鳍藻毒素时间分辨荧光免疫层析试纸条的研制与应用[J]. *海洋环境科学*, 2022, 41(5): 783-790.
HAN L, ZHAO R, LIU Z, *et al.* Development and application of time-resolved fluorescent immunochromatography test strip for okadaic acid and dinophys toxins [J]. *Mar Environ Sci*, 2022, 41(5): 783-790.
- [19] 郑旭颖, 孙晓杰, 李兆新, 等. 利用亲水作用色谱-质谱联用技术检测贝类毒素研究进展[J]. *海洋湖沼通报*, 2024, 46(2): 186-191.
ZHENG XY, SUN XJ, LI ZX, *et al.* Progresses in detecting shellfish toxins with hydrophilic interaction chromatography-mass spectrometry [J]. *Trans Oceanol Limnol*, 2024, 46(2): 186-191.
- [20] 郑旭颖, 李兆新, 孙晓杰, 等. 渤海海域唐山贝类养殖区腹泻性和麻痹性贝类毒素的监测与风险评估[J]. *渔业科学进展*, 2023, 44(5): 231-241.
ZHENG XY, LI ZX, SUN XJ, *et al.* Surveillance and risk assessment of diarrhetic and paralytic shellfish toxins in the Tangshan shellfish culture areas of Bohai Sea, China [J]. *Prog Fish Sci*, 2023, 44(5): 231-241.
- [21] 梁琼, 张玉霞, 王儒, 等. 海南岛近岸贝类中麻痹性毒素污染情况调查研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(9): 9605-9611.
LIANG Q, ZHANG YX, WANG R, *et al.* Investigation on the paralytic shellfish poisons in bivalves collected from different coastal areas in Hainan Island [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(9): 9605-9611.
- [22] 杨云辉. HPLC-MS/MS 法检测福建中部海域养殖贝类麻痹性贝类毒素[J]. *渔业研究*, 2020, 42(5): 473-480.
YANG YH. Detection of paralytic shellfish toxins in the farming shellfish products collected from the middle of Fujian sea-area by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Fish Res*, 2020, 42(5): 473-480.
- [23] 贺娇, 孙金芳, 杨欣, 等. 我国沿海地区市售贝类腹泻性贝类毒素污染及膳食暴露的空间分析[J]. *中国食品卫生杂志*, 2023, 35(8): 1166-1173.
HE J, SUN JF, YANG X, *et al.* Spatial analysis of diarrhetic shellfish poison contamination and dietary exposure of commercially available shellfish in coastal areas of China [J]. *Chin J Food Hyg*, 2023, 35(8): 1166-1173.
- [24] 林卓如, 耿慧霞, 唐文娇, 等. 麻痹性贝毒在毛蚶体内的转化过程研究[J]. *海洋与湖沼*, 2022, 53(5): 1131-1142.
LIN ZR, GENG HX, TANG WJ, *et al.* Biotransformation of paralytic

- shellfish toxins in blood clam *Scapharca subcrenata* [J]. *Ocean Et Lim Sin*, 2022, 53(5): 1131–1142.
- [25] 张海涛, 吴海燕, 郑关超, 等. 链状亚历山大藻暴露下紫贻贝体内麻痹性贝毒蓄积转化规律[J]. *渔业科学进展*, 2023, 44(1): 181–190.
ZHANG HT, WU HY, ZHENG GC, *et al.* Accumulation and transformation of paralytic shellfish toxin in mussel *Mytilus galloprovincialis* exposed to *Alexandrium catenella* [J]. *Prog Fish Sci*, 2023, 44(1): 181–190.
- [26] 许翠娅. 链状裸甲藻所产麻痹性贝类毒素在翡翠贻贝体内的累积、转化和排出[J]. *海洋与湖沼*, 2023, 54(5): 1363–1372.
XU CY. Accumulation, transformation and depuration of paralytic shellfish toxins from dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* in mussel *Perna viridis* [J]. *Ocean Et Lim Sin*, 2023, 54(5): 1363–1372.
- [27] 包振民, 孔令玲, 史皎霞, 等. 双壳贝类累积转化麻痹性贝毒的研究进展[J]. *中国海洋大学学报*, 2021, 51(10): 1–11.
BAO ZM, KONG LL, SHI JX, *et al.* Research progress on accumulation and transformation of paralytic shellfish toxins in bivalves [J]. *Period Ocean Univ Chin*, 2021, 51(10): 1–11.
- [28] 张昊宇, 谭志军, 郑关超, 等. ^{13}C 示踪技术在利玛原甲藻中腹泻性贝毒合成研究的应用[J]. *海洋与湖沼*, 2023, 54(2): 457–464.
ZHANG HY, TAN ZJ, ZHENG GC, *et al.* Application of ^{13}C tracing technology in the synthetic pathway of diarrhetic shellfish toxin in *Prorocentrum lima* [J]. *Ocean Et Lim Sin*, 2023, 54(2): 457–464.
- [29] 李敏. 应用 ^{15}N 同位素研究长牡蛎中麻痹性贝类毒素(PSTs)的代谢[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2020.
LI M. Research on the metabolism of PSTs in *Crassostrea gigas* using by ^{15}N stable isotope [D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2020.
- [30] 张帆, 郑关超, 王潇潇, 等. 基于 UPLC-Q-Exactive MS 构建麻痹性贝类毒素的特征指纹溯源技术[J]. *海洋与湖沼*, 2024, 55(1): 135–144.
ZHANG F, ZHENG GC, WANG XX, *et al.* Construction of a fingerprint traceability technique based on UPLC-Q-exactive MS for the characterization of paralytic shellfish poison [J]. *Ocean Et Lim Sin*, 2024, 55(1): 135–144.
- [31] 杨盛旭, 魏晶娇, 何凡. 赤潮所致贝类毒素中毒事件风险评估指标体系及应用研究[J]. *浙江大学学报(医学版)*, 2018, 47(2): 111–117.
YANG SX, WEI JJ, HE F. Risk assessment indexes for shellfish poisoning outbreak caused by red tide [J]. *J Zhejiang Univ (Med Sci)*, 2018, 47(2): 111–117.
- [32] 田娟娟, 韩刚, 刘海棠, 等. 国内外麻痹性贝类毒素风险预警及管控措施的对比分析[J]. *海洋环境科学*, 2019, 38(3): 464–470.
TIAN JJ, HAN G, LIU HT, *et al.* Comparison of risk warning and control measures of paralytic shellfish toxin at home and abroad [J]. *Mar Environ Sci*, 2019, 38(3): 464–470.
- [33] 农业部. 农业部关于下达《2007 年贝类产品中有毒有害物质残留监控计划》的通知[EB/OL]. [2017-03-07]. <http://law.foodmate.net/rule/show-165263.html> [2024-03-18].
Ministry of Agriculture. Notice of Ministry of Agriculture on monitoring plan for toxic and harmful substances residues in shellfish products in 2017 [EB/OL]. [2017-03-07]. <http://law.foodmate.net/rule/show-165263.html> [2024-03-18].
- [34] 农业农村部渔业渔政管理局. 农业部关于开展 2011 年海水贝类产品卫生监测和生产区域划型工作的通知[EB/OL]. [2011-05-05]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/YYJ/201105/t20110505_1985337.htm [2011-05-15].
Fisheries Administration Bureau of Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Notice of Ministry of Agriculture on carrying out the sanitary monitoring and production regionalization of marine shellfish products in 2011 [EB/OL]. [2011-05-05]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/YYJ/201105/t20110505_1985337.html [2011-05-15].
- [35] 农业农村部. 农业农村部关于印发《2021 年国家产地水产品兽药残留监控计划》的通知[EB/OL]. [2021-03-29]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-04/02/content_5597438.html [2024-04-05].
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Notice of Ministry of Agriculture and Rural Affairs on the issuance of national veterinary drug residue monitoring plan for aquatic products in 2021 [EB/OL]. [2021-03-29]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-04/02/content_5597438.html [2024-04-05].
- [36] 农业农村部. 农业农村部关于印发《2022 年国家产地水产品兽药残留监控计划》《2022 年国家水生动物疫病监测计划》的通知[EB/OL]. [2022-03-17]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/YYJ/202203/t20220323_6393588.html [2024-03-27].
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Notice of Ministry of Agriculture and Rural Affairs on the issuance of national veterinary drug residue monitoring plan for aquatic products in 2022 and national aquatic animal disease surveillance program in 2022 [EB/OL]. [2022-03-17]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/YYJ/202203/t20220323_6393588.html [2024-03-27].
- [37] 农业农村部. 农业农村部关于印发《2023 年国家产地水产品兽药残留监控计划》和《2023 年国家水生动物疫病监测计划》的通知[EB/OL]. [2023-03-14]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/YYJ/202303/t20230314_6423051.html [2024-03-19].
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Notice of Ministry of Agriculture and Rural Affairs on the issuance of national veterinary drug residue monitoring plan for aquatic products in 2023 and national aquatic animal disease surveillance program in 2023 [EB/OL]. [2023-03-14]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/YYJ/202303/t20230314_6423051.html [2024-03-19].
- [38] 农业农村部. 农业农村部关于印发《2024 年国家产地水产品兽药残留监控计划》和《2024 年国家水生动物疫病监测计划》的通知[EB/OL]. [2024-03-11]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202403/content_6939391.htm [2024-03-15].
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Notice of Ministry of Agriculture and Rural Affairs on the issuance of national veterinary drug residue monitoring plan for aquatic products in 2024 and national aquatic animal disease surveillance program in 2024 [EB/OL]. [2024-03-11]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202403/content_6939391.htm [2024-03-15].
- [39] 福建省海洋与渔业局. 2024 年福建省产地水产品质量安全监测工作方案[Z]. 2024.
Fujian Provincial Department of Ocean and Fisheries. Work plan for quality and safety monitoring of aquatic products in Fujian Province in 2024 [Z]. 2024.
- [40] 李水根. 福建省水产品质量安全现状与建议[J]. *渔业研究*, 2020, 42(2): 172–178.
LI SG. The status and proposal of quality safety management to aquatic products in Fujian Province [J]. *J Fish Res*, 2020, 42(2): 172–178.

- [41] 福建省海洋与渔业厅. 福建省海洋与渔业厅关于印发《福建省初级水产品质量安全突发事件应急预案》的通知[EB/OL]. [2017-12-06]. https://hyyyj.fujian.gov.cn/xxgk/zfxxgk/zfxxgkml/zcfg_310/gfxwj/202112/t20211206_5788326.html [2024-12-12].
Fujian Provincial Department of Ocean and Fisheries. Notice of Fujian Provincial Department of Ocean and Fisheries on the issuance of Fujian primary aquatic products quality and safety emergency plan [EB/OL]. [2017-12-06]. https://hyyyj.fujian.gov.cn/xxgk/zfxxgk/zfxxgkml/zcfg_310/gfxwj/202112/t20211206_5788326.html [2024-12-12].
- [42] 农业部. 农产品质量安全突发事件应急预案[EB/OL]. [2014-01-21]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ncpzlaq/201401/t20140121_3743886.html [2024-01-25].
Ministry of Agriculture. The emergency response plan of quality and safety of agricultural products [EB/OL]. [2014-01-21]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ncpzlaq/201401/t20140121_3743886.html [2024-01-25].
- [43] 自然资源部办公厅. 自然资源部办公厅关于建立健全海洋生态预警监测体系的通知[EB/OL]. [2021-07-26]. https://gi.mnr.gov.cn/202108/t20210805_2675229.html [2024-07-29].
Office of the Ministry of Natural Resources. Notice of the Office of the Ministry of Natural Resources on establishing and improving the marine ecological early warning and monitoring system [EB/OL]. [2021-07-26]. https://gi.mnr.gov.cn/202108/t20210805_2675229.html [2024-07-29].
- [44] 自然资源部. 全国海洋生态预警监测总体方案(2021—2025年)[Z]. 2021.
Ministry of Natural Resources. Overall scheme of national marine ecological early warning and monitoring (2021—2025) [Z]. 2021.
- [45] 福建省海洋与渔业局. 2024年福建省海洋生态预警监测工作方案[Z]. 2024.
Fujian Provincial Department of Ocean and Fisheries. Work plan of marine ecological early warning and monitoring of Fujian Province in 2024 [Z]. 2024.
- [46] 自然资源部. 自然资源部办公厅关于印发《赤潮灾害应急预案》的通知[EB/OL]. [2021-07-09]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-08/07/content_5630005.html [2024-07-16].
Ministry of Natural Resources. Notice of Office of the Ministry of Natural Resources on the issuance of the emergency plan for red tide disaster [EB/OL]. [2021-07-09]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-08/07/content_5630005.html [2024-07-16].
- [47] 福建省海洋与渔业局. 福建省海洋与渔业局关于印发福建省近岸海域赤潮灾害渔业应急预案的通知[EB/OL]. [2023-04-11]. http://hyyyj.fujian.gov.cn/xxgk/zfxxgk/zfxxgkml/zcfg_310/gfxwj/202304/t20230420_6152384.html [2023-04-15].
Fujian Provincial Department of Ocean and Fisheries. Notice of Fujian Department of Provincial Ocean and Fishery on issuing fishery emergency plan for red tide disaster in coastal waters of fujian province [EB/OL]. [2023-04-11]. http://hyyyj.fujian.gov.cn/xxgk/zfxxgk/zfxxgkml/zcfg_310/gfxwj/202304/t20230420_6152384.html [2023-04-15].
- [48] 陈锦钟, 洪舒萍, 张锦宏, 等. 一起食用泥螺引起的疑似贝类毒素中毒暴发事件调查[J]. 中国食品卫生杂志, 2023, (8): 1231–1234.
CHEN JZ, HONG SP, ZHANG JH, *et al.* Investigation into an outbreak of suspected shellfish poisoning caused by consuming *Bullacta exarata* [J]. Chin J Food Hyg, 2023, (8): 1231–1234.
- [49] 李树国. 泥螺的生物学[J]. 水利渔业, 2005, 25(4): 42.
LI SG. Biology of *Bullacta exarata* [J]. Reserv Fish, 2005, 25(4): 42.
- [50] CHEN CY, CHOU HN. Accumulation and depuration of paralytic shellfish poisoning toxins by purple clam *Hiatula rostrata* Lightfoot [J]. Toxicon, 2001, 39(7): 1029–1034.
- [51] 朱明远, 邹迎麟, 吴荣军, 等. 栉孔扇贝体内麻痹性贝毒的累积与排出过程研究[J]. 海洋学报, 2003, 25(2): 75–83.
ZHU MY, ZOU YL, WU RJ, *et al.* Accumulation and depuration of paralytic shellfish poisons (PSP) in Chinese Scallop *Chlamys farreri* [J]. Acta Oceanol Sin, 2003, 25(2): 75–83.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)

作者简介

许翠娅, 副研究员, 主要研究方向为渔业生态环境和水产品质量安全。
E-mail: 1050150353@qq.com