

· 综述 ·

# 我国沿海城市麻痹性贝类毒素污染及膳食暴露评估

翁琴<sup>1</sup>综述, 周标<sup>2</sup>审校

1. 杭州医学院公共卫生学院, 浙江 杭州 310000; 2. 浙江省疾病预防控制中心, 浙江 杭州 310051

**摘要:** 麻痹性贝类毒素 (PSP) 污染威胁人类健康。本文对 2007—2022 年我国沿海城市贝类 PSP 污染和居民膳食暴露评估相关的研究文献进行综述, 分析渤海、黄海、东海和南海不同海域的 PSP 污染状况、影响因素和膳食暴露评估进展, 发现渤海和南海海域贝类 PSP 污染水平相对较高且与季节、水温等因素造成的赤潮密切相关; 目前 PSP 膳食暴露评估常采用点评估的急性暴露评估模型, 多数地区居民 PSP 膳食暴露风险在可接受范围内。今后应继续加强贝类 PSP 的污染状况监测, 同时在膳食暴露风险评估研究中充分考虑加工因子等参数的影响, 使结果更加精准。

**关键词:** 麻痹性贝类毒素; 污染; 膳食暴露评估; 赤潮

中图分类号: R155.5 文献标识码: A 文章编号: 2096-5087 (2023) 06-0501-05

## Paralytic shellfish poisoning contamination status and dietary exposure assessment in coastal cities of China

WENG Qin<sup>1</sup>, ZHOU Biao<sup>2</sup>

1. School of Public Health, Hangzhou Medical College, Hangzhou, Zhejiang 310000, China; 2. Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China

**Abstract:** Paralytic shellfish poisoning contamination is a threat to human health. Based on review of research articles pertaining to paralytic shellfish poisoning contamination in shellfishes and assessment of dietary exposure to paralytic shellfish poisoning in coastal cities of China from 2007 to 2022, the article describes the status of paralytic shellfish poisoning contamination, influencing factors and dietary exposure assessment in different sea areas of China (Bohai Sea, Huanghai Sea, East China Sea and South China Sea), and the relatively high-level contamination of paralytic shellfish poisoning in shellfishes is found to strongly correlate with red tides caused by season and water temperature in the Bohai Sea and South China Sea areas. Acute exposure assessment based on point estimate model is commonly used for assessment of dietary exposure to paralytic shellfish poisoning, and the risk of human dietary exposure to paralytic shellfish poisoning is within the acceptable range in most areas. Intensified monitoring of paralytic shellfish poisoning contamination in shellfishes and full consideration of parameters like processing factor during dietary exposure assessment are required in the future to allow more precise results.

**Keywords:** paralytic shellfish poisoning; contamination; dietary exposure assessment; red tide

海洋环境污染日益严重, 贝类具有滤食性特征, 滤食到有毒藻类后毒素在体内积聚, 形成贝类毒素。其中, 麻痹性贝类毒素 (paralytic shellfish poisoning, PSP) 是世界范围内分布最广、危害最大的一类海洋生物毒素, 可直接危及海洋生物的生命活动, 破坏海洋生态系统, 进而威胁人类健康<sup>[1]</sup>。PSP 根据基

团相似性分为 4 类: 氨基甲酸酯类毒素, 包括石房蛤毒素 (Saxitoxin, STX)、新石房蛤毒素、膝沟藻毒素; N-磺酰氨甲酰基类毒素, 包括 C1-4 和 GTX5-6; 脱氨甲酰基类毒素, 包括 dcSTX、deneoSTX、dcGTX1-4; 脱氧脱氨甲酰基类毒素。我国 PSP 限量值为  $\leq 4$  MU/g<sup>[2]</sup> (以 STX 计, 约为 800  $\mu\text{g}$  STX eq/kg), 与大多数国家的规定<sup>[3-4]</sup>一致。

目前, PSP 在全球范围内的分布持续扩大, 检出率持续上升<sup>[5]</sup>。我国海洋贝类养殖产业规模位居全球第一<sup>[6]</sup>, 近年来在秦皇岛、唐山、连云港、厦门和香港等地均报道过 PSP 中毒事件<sup>[7]</sup>。有研究提示

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2023.06.009

基金项目: 国家卫生健康委员会科研基金 (WKJ-ZJ-1917)

作者简介: 翁琴, 硕士研究生在读

通信作者: 周标, E-mail: bzhou@cdc.zj.cn

虽然贝类样本中 PSP 总含量未超过法规限值,但由于贝类摄入量存在较大差异,居民仍可能存在一定的 PSP 膳食暴露风险<sup>[8]</sup>。为加强贝类产品安全监管,2007 年农业部发布了关于开展海洋贝类养殖生产区划型工作的通知,要求对贝类毒素进行监测<sup>[9]</sup>。检索 2007—2022 年中国知网和 PubMed 数据库中关于我国沿海城市 PSP 污染和居民膳食暴露评估的文献,选择质量相对较好的研究,分析我国沿海城市 PSP 污染状况及影响因素,并评估居民膳食 PSP 暴露风险,为加强贝类食品安全监管、保障人群健康提供依据。

## 1 我国沿海城市 PSP 污染状况

**1.1 不同地区 PSP 污染状况** 在我国,海洋养殖贝类产量占贝类的 90% 左右,集中在山东、福建、辽宁、广东、广西、浙江、江苏、河北和海南等 9 个沿海省(自治区)<sup>[6]</sup>。本文以这 9 个省(自治区)为主,分渤海、黄海、东海和南海区域进行比较分析。

渤海海域贝类 PSP 检出率和超标率波动较大,可能因为 PSP 含量易受赤潮影响,而渤海是一个半封闭的内海,富营养化导致海洋环境恶化,赤潮时有发生<sup>[10-11]</sup>。LIU 等<sup>[12]</sup>研究显示环渤海地区(莱州、莱山、秦皇岛、葫芦岛等地)贝类 PSP 检出率高达 98.0%,超标率为 12.0%,污染状况较为严重;时文博等<sup>[11]</sup>研究显示天津市贝类 PSP 检出率为 28.2%,无超标;刘斌等<sup>[13]</sup>采集河北省 508 份贝类, PSP 检出率为 4.7%,但超标率为 3.0%,主要为 4—5 月份采集的贻贝,提示贻贝是当地易受 PSP 污染的品种,应引起重视。

黄海海域贝类 PSP 检出率和超标率相对较低。然而,辽宁大连獐子岛海域地处黄海北部,紧邻渤海海域,较易受到赤潮的影响。杜克梅等<sup>[1]</sup>在该地采集 21 份虾夷扇贝,19 份检出 PSP 阳性,其中 10 份超标, PSP 最高值为 23.84 MU/g,是我国食用安全标准值的近 6 倍,提示 PSP 污染较严重,可能与黄海北部存在产毒藻有关<sup>[14]</sup>。山东蓬莱海域 PSP 检出率较低,为 5.3%,无超标,且毒性较弱,提示该地 PSP 污染水平低<sup>[1]</sup>;WANG 等<sup>[15]</sup>研究显示,江苏沿海地区贝类 PSP 检出率为 10.9%~16.5%,未发现超标,可能与持续 3 年监测期内没有发生大规模赤潮有关。

东海、南海海域贝类 PSP 检出率波动较大,但总体超标率较低。方兰云等<sup>[16]</sup>在有毒赤潮发生期间开展了应急监测,采集了浙江省 40 份贝类, PSP 检

出率较高,为 50%;而在常规监测中 PSP 检出率很低,124 份贝类中仅 3 份检出 PSP。彭志兰等<sup>[17]</sup>在东极岛厚壳贻贝中检出 PSP,为 (500±3.2) MU/100 g,超过安全食用标准。张鸟飞等<sup>[18]</sup>在嵊泗采集了 29 份贻贝, PSP 检出率为 34.5%。这些研究中 PSP 含量大多受到赤潮影响,提示浙江海域贝类 PSP 污染与有毒赤潮密切相关。杜克梅等<sup>[19]</sup>研究显示,产自福建和广东的贝类 PSP 检出率较高,分别为 28.0% 和 25.4%,均无超标,且只有华贵栉孔扇贝检出 PSP,说明扇贝积累 PSP 能力较强,对毒素排除能力较差<sup>[20]</sup>。赵鹏等<sup>[21]</sup>在广西北部湾进行监测,在北海、东兴、防城港、涠洲岛采集的贝类 PSP 检出率高达 100%,总超标率为 6.1%;其中,涠洲岛南湾的贝类 PSP 含量是联合国标准的 3.63 倍。张卓等<sup>[22]</sup>研究结果显示广东大鹏澳海域贝类 PSP 检出率也较高,为 37.5%。南湾和大鹏澳均为半封闭环境,水体交换差,易受赤潮影响<sup>[21-22]</sup>。梁琼等<sup>[23]</sup>在海南岛采集了 269 份贝类, PSP 检出率为 15.2%,无超标,与 2007—2022 年海南相关重点赤潮监控区域内未发现大型赤潮现象和大规模急性贝类中毒事件相一致,也与海南独特的岛屿位置和较强的水体自净能力有关。

**1.2 不同季节 PSP 污染状况** 适宜产毒藻生长的水温和赤潮高发季节等因素会影响贝类组织中 PSP 的积累,具有一定的季节性特征。相关研究显示,渤海<sup>[13, 24]</sup>、黄海海域<sup>[25]</sup> PSP 检出高峰在春季,东海海域 PSP 检出高峰在春夏季<sup>[17, 19]</sup>,南海海域 PSP 检出高峰在冬春季<sup>[23, 26]</sup>。

叶志林等<sup>[27]</sup>研究发现我国产毒甲藻最适宜的生长温度为 22℃ 左右。渤海海域近岸春夏季的水温是产毒甲藻的适宜生长温度<sup>[12, 28]</sup>,叶绿素 a 浓度从冬季开始逐渐增加,部分地区的叶绿素 a 浓度在春季达到峰值<sup>[29]</sup>。黄海海域春季水温也是产毒甲藻的适宜生长温度,且 PSP 总毒性在春季达到峰值,而冬季水温为 4.3~8.5℃,夏季水温为 23.3~27.8℃<sup>[15]</sup>,不利于产毒藻类生长,因此贝类 PSP 含量也相对较低。东海海域春季的温度为 20.5℃ 左右<sup>[30]</sup>,比其他季节更适合藻类生长。南海海域冬季和春季的水温在 20℃ 左右<sup>[31]</sup>,甲藻数量增多,贝类 PSP 检出率也高于夏秋季。

各海域赤潮的发生也呈现出不同的季节特点,郭皓等<sup>[32]</sup>总结了我国四大海域赤潮发生的特点和规律:渤海海域赤潮高发季节为 5—7 月份;黄海海域赤潮高发季节为 5—9 月份,且 5 月份赤潮累积面积达到最大;东海海域赤潮高发季节为 5—6 月份,其

中5月份为峰值；南海海域赤潮季节变化不明显，但冬春季发生率较高。这与不同海域PSP检出高峰季节基本一致。并且有文献报道<sup>[33]</sup>，漳州海域在赤潮发生后约42天，所有贝类海产品PSP总毒力才衰减至食用安全范围，需18个月才能净化至完全消失。因此，加强赤潮的早期发现，在赤潮高发季节减少贝类食用是预防PSP膳食暴露的重要措施。

## 2 PSP膳食暴露评估进展

膳食暴露评估是一种评价食物食用安全性的方法，根据人体通过饮食对某种污染物的摄入量进行评估<sup>[34]</sup>。膳食暴露评估常用的方法有点评估法、概率评估法和简单分布法等<sup>[35]</sup>。目前，国内外PSP的膳食暴露评估模型以点评估模型为主，分为急性膳食暴露评估和慢性膳食暴露评估。然而，关于慢性危害，由于缺乏相关的毒理学数据，联合国粮食及农业组织(FAO)、联合国教科文组织政府间海洋学委员会(IOC)、世界卫生组织(WHO)和欧洲食品安全局(EFSA)等国际组织尚无法确定PSP的每日耐受摄入量<sup>[36-37]</sup>，且PSP中毒主要表现为急性中毒<sup>[38]</sup>，因此，点评估法中的急性暴露评估模型是目前国内外比较公认的一种PSP膳食暴露评估方法。

### 2.1 PSP急性膳食暴露评估

PSP急性膳食暴露评估方法大多是联合使用毒性当量因子法、点评估法和食品安全指数法等，将不同种类的PSP通过毒性当量因子转换，计算样品中PSP的总毒力，再构建点评估模型，将评估对象的急性膳食暴露量与急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)比较，得到其急性膳食摄入风险(%ARfD)。

ZHOU等<sup>[8]</sup>采用居民第99分位数的日消费量和各种贝类PSP最大浓度值构建点评估模型，结果显示深圳的华贵栉孔扇贝的急性膳食暴露量为1.65~1.84 μg STX eq./ (kg 体重·d)，超过FAO、IOC、WHO和EFSA确定的ARfD值，但有可能高估了风险。还有学者<sup>[16, 39]</sup>采用人群平均膳食消费量和PSP的最大污染值构建点评估模型，但实际暴露值可能高于计算的暴露值。在膳食暴露评估中通常使用加工因子反映加工导致的或考虑实际可食用部分后的化学物质浓度变化，使结果能更好地反映实际暴露水平<sup>[40]</sup>。以上研究中加工因子都默认为1，而我国居民习惯对鲜活海产品进行烹饪后食用，而不是直接食用，在计算时忽略加工因子评估得到的PSP膳食摄入风险并不符合实际风险水平。因此，将加工因子引入海洋生物毒素的膳食暴露评估中非常具有研究意义。

卢嘉丽<sup>[38]</sup>采用人群第97.5分位数日消费量和双壳贝类中PSP的最高残留浓度构建点评估模型，并引入了加工因子。当未考虑加工因子(即加工因子为1)时，双壳贝类中PSP的%ARfD值为0.012~2.310，存在一定的膳食暴露风险；考虑烹调方式、处理方式、蒸煮时间等因素后，平均加工因子降为0.201，PSP的%ARfD值大幅下降为0.002~0.464，均小于1，说明考虑加工因子后膳食暴露风险处于可接受范围内。因此，建议消费者在高风险季节食用贝类时，不仅要注意控制摄入量，还要选择适当的烹调方式。

除了评估PSP的膳食风险，还有研究根据抽检样品中PSP的最高含量和欧洲食品安全局推荐的ARfD值，采用点评估模型分析了不同贝类和贝类组织的一次性安全食用量，并且发现贝类内脏团的PSP含量较高<sup>[24]</sup>。提示在PSP积累量较大的季节，减少贝类内脏团的一次性食用量，可大大降低膳食中双壳贝类中毒的风险。

### 2.2 PSP慢性膳食暴露评估

当藻华扩散后，虽然PSP含量会通过净化而降低，但残留毒素仍可能低剂量存在<sup>[41]</sup>。相关文献报道，长期暴露于饮用水指南浓度的1/10的STX可显著影响神经元细胞的正常发育<sup>[42]</sup>。还有研究发现，持续3个月暴露于低水平STX的小鼠发生了明显的认知障碍<sup>[43]</sup>；持续3个月暴露于亚致死浓度STX的斑马鱼抗氧化活性和免疫力均降低，生长发育也受到抑制<sup>[44]</sup>。因此，要关注长期低水平PSP暴露的风险。

ZHOU等<sup>[8]</sup>采用人群日消费量的均值、第99分位数和PSP平均浓度进行PSP的慢性暴露评估，结果显示所有样品的PSP慢性膳食暴露值均在安全范围内。韩国学者SHIN等<sup>[5]</sup>采用人群日消费量的均值、第95分位数和PSP平均浓度进行慢性暴露评估，结果显示慢性暴露值处于安全范围内；该研究还对高食用量人群进行了评估，慢性暴露值也处于安全范围内。虽然以上研究认为贝类PSP慢性暴露风险在安全范围内，但是，在严重依赖海鲜饮食、长期消费量超过日平均水平的地区，仍有可能长期接触低剂量毒素，导致暴露风险。况且，人类活动、全球变暖等因素将有利于有害藻类的生长<sup>[45]</sup>，贝类中长期存在低浓度PSP导致的人群慢性损害可能是未来持续存在的问题。

## 3 小结

我国沿海城市贝类在一定程度上受到PSP污染，

主要表现为分布范围广,与海域、季节、水温等因素导致的赤潮密切相关,且不同贝类富集 PSP 能力不同。个别研究还发现了 PSP 含量超标。膳食暴露评估结果显示我国居民 PSP 膳食暴露风险总体不高。建议在高风险季节选择适当的烹饪方式,并且控制摄入量;相关部门加强对 PSP 和赤潮的监测预警。

PSP 的膳食暴露评估主要采用点评估法中的急性暴露评估模型。虽然点评估法操作简单,适用于评估不同消费者在某段时期或某时刻暴露于污染物的风险,但是包含的信息有限,结果的代表性和评估结果的适用范围取决于评估中使用的数据和前提假设,对食品中化学污染物的风险评估较为保守。目前还未见概率评估法、累积风险评估法等方法的应用,可能由于 PSP 的中毒主要表现为急性中毒,概率评估法使用成本较高,人群中对某化学污染物的长期膳食调查数据较难获取,且 PSP 种类多,机制复杂难以判断。此外,在进行膳食暴露评估时,需要充分考虑加工因子等参数的影响,使评估结果更加准确;同时建议加强 PSP 对人类及其他动物的慢性低剂量毒性作用的研究。

#### 参考文献

- [1] 杜克梅,江天久,吴霓.黄海水域贝类麻痹性贝类毒素污染状况研究[J].海洋环境科学,2013,32(2):182-184.
- [2] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 鲜、冻动物性水产品:GB 2733—2015[S].2015.
- [3] 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比对分析[J].海洋环境科学,2019,38(3):464-470.
- [4] 刘智勇,计融.各国贝类水产品中麻痹性贝类毒素限量标准的比对[J].中国热带医学,2006,6(1):176-178.
- [5] SHIN C, JO H, KIM S, et al. Exposure assessment to paralytic shellfish toxins through the shellfish consumption in Korea [J]. Food Res Int, 2018, 108: 274-279.
- [6] 周井娟.中国海洋贝类产业发展特征及技术变迁[J].中国渔业经济,2022,40(2):66-74.
- [7] 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.
- [8] ZHOU Y, LI S, ZHANG J, et al. Dietary exposure assessment of paralytic shellfish toxins through shellfish consumption in Shenzhen population, China [J]. Environ Sci Pollut Res, 2022, 29(7): 10222-10234.
- [9] 中华人民共和国农业部渔业局.农业部办公厅关于开展海水贝类养殖生产区划型工作的通知[EB/OL]. [2023-05-01]. [http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg\\_1/tz/200703/t20070308\\_781942.htm](http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg_1/tz/200703/t20070308_781942.htm).
- [10] PENG S. The nutrient, total petroleum hydrocarbon and heavy metal contents in the seawater of Bohai Bay, China: temporal-spatial variations, sources, pollution statuses, and ecological risks [J]. Mar Pollut Bull, 2015, 95(1): 445-451.
- [11] 时文博,高丽娜,韩现芹,等.天津市售主要经济贝类中麻痹性贝类毒素污染现状及特征分析[J].河北渔业,2020,314(2):29-33.
- [12] LIU Y, YU R, KONG F, et al. Paralytic shellfish toxins in phytoplankton and shellfish samples collected from the Bohai Sea, China [J]. Mar Pollut Bull, 2017, 115(1/2): 324-331.
- [13] 刘斌,赵慧琴,刘波,等.2018—2020年河北省市售贝类中麻痹性贝类毒素污染状况调查分析[J].食品安全质量检测学报,2021,12(5):1746-1752.
- [14] 杜秀宁,刘光兴.2006年冬季北黄海网采浮游植物群落结构[J].海洋学报(中文版),2009,31(5):132-147.
- [15] WANG X, WU H, CHENG Y, et al. Multi-year assessment of paralytic shellfish toxins in hard clam species along the coastline of Jiangsu Province, China [J]. Acta Oceanol Sin, 2019, 38(2): 24-33.
- [16] 方兰云,李继革,姚浔平,等.2017—2019年宁波市海产品中海洋生物毒素污染状况及膳食暴露评估[J].卫生研究,2021,50(2):296-300.
- [17] 彭志兰,罗海军,王维洁,等.舟山海域麻痹性贝类毒素污染情况及其2种检测方法比较[J].食品安全质量检测学报,2017,8(4):1436-1440.
- [18] 张鸟飞,穆卫华,陈雯,等.舟山嵊泗养殖贻贝中贝类毒素的监测与污染评价[J].现代食品,2019(18):180-182,185.
- [19] 杜克梅,雷芳,吴霓,等.我国东海和南海近岸海域麻痹性贝类毒素污染状况[J].暨南大学学报(自然科学与医学版),2013,34(3):343-346.
- [20] 江天久,尹伊伟,骆育敏,等.大亚湾和大鹏湾麻痹性贝类毒素动态分析[J].海洋环境科学,2000,19(2):1-5.
- [21] 赵鹏,覃仙玲,胡科华,等.广西北部湾市售贝类麻痹性贝毒污染状况分析[J].生态科学,2016,35(3):73-77.
- [22] 张卓,李政菊,江天久.大鹏澳海域麻痹性贝类毒素时空动态变化特征[J].海洋环境科学,2018,37(6):808-812.
- [23] 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(24):9605-9611.
- [24] 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/OL].渔业科学进展,2022[2023-05-01].<https://doi-org-s.ssl.hznu.edu.cn:8118/10.19663/j.issn2095-9869.20220504001>.
- [25] 陈冠华.大连海域养殖长牡蛎体内麻痹性贝毒特征分析[J].基层农技推广,2017,5(9):55-57.
- [26] 江天久,包财,雷芳,等.广东东部沿海麻痹性贝类毒素成分特征分析[J].中国水产科学,2010,17(1):119-127.
- [27] 叶志林,曹洁茹,吴霓,等.温度、光照和盐度对产麻痹性贝类毒素藻类生长及产毒的影响[J].海洋环境科学,2018,37(3):321-325.
- [28] 袁本坤,黄蕊,商杰,等.基于岸基观测数据的渤海沿岸海域表层温盐特征分析[J].海洋开发与管理,2015,32(12):31-34.
- [29] 赵娜,王霄鹏,李咏沙,等.黄渤海海域叶绿素a浓度时空特征分布及影响因子分析[J].科学技术与工程,2020,20

- (17): 7101-7107.
- [30] 王平, 毛克彪, 孟飞, 等. 中国东海海表温度时空演化分析 [J]. 国土资源遥感, 2020, 32 (4): 227-235.
- [31] 王朝晖, 陈菊芳, 徐宁, 等. 大亚湾汕头海域硅藻、甲藻的数量变动及其与环境因子的关系 [J]. 海洋与湖沼, 2005 (2): 186-192.
- [32] 郭皓, 丁德文, 林凤翔, 等. 近 20a 我国近海赤潮特点与发生规律 [J]. 海洋科学进展, 2015, 33 (4): 547-558.
- [33] 李海杰, 张锦宏, 陈艳芳, 等. 一起赤潮后海产品麻痹性贝类毒素衰减结果分析 [J]. 中国校医, 2022, 36 (5): 333-335.
- [34] 王向未, 仇厚援, 张志恒, 等. 食品中膳食暴露评估模型研究进展 [J]. 浙江农业学报, 2012, 24 (4): 733-738.
- [35] 吴晓丽, 赵毕, 齐小娟, 等. 食品中化学污染物风险评估方法研究进展 [J]. 预防医学, 2020, 32 (7): 682-685.
- [36] European Food Safety Authority. Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on Marine Biotoxins in Shellfish—saxitoxin Group [J]. EFSA J, 2009, 7 (4): 1-76.
- [37] HAJIME T. Joint FAO/WHO/IOC activities to provide scientific advice on marine biotoxins (research report) [J]. Mar Pollut Bull, 2006, 52 (12): 1735-1745.
- [38] 卢嘉丽. 福建省双壳贝类中贝类毒素的检测技术、污染水平及膳食暴露评估研究 [D]. 福州: 福建医科大学, 2018.
- [39] 时文博, 陈永平, 韩现芹, 等. 天津市售贝类产品中 13 种麻痹性贝类毒素膳食暴露评估 [J]. 江西水产科技, 2021, 180 (6): 48-50, 52.
- [40] 联合国粮农组织, 世界卫生组织. 食品中化学物风险评估原则和方法 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012: 182-183.
- [41] MUNDAY R, REEVE J. Risk assessment of shellfish toxins [J]. Toxins (Basel), 2013, 5 (11): 2109-2137.
- [42] O'NEILL K, MUSGRAVE I F, HUMPAGE A. Extended low-dose exposure to saxitoxin inhibits neurite outgrowth in model neuronal cells [J]. Basic Res Cardiol, 2017, 120 (4): 390-397.
- [43] SUN Q, CHEN X, LIU W, et al. Effects of long-term low dose saxitoxin exposure on nerve damage in mice [J]. Aging, 2021, 13 (13): 17211-17226.
- [44] HAQUE M N, NAM S E, HAN Y S, et al. Chronic exposure to sublethal concentrations of saxitoxin reduces antioxidant activity and immunity in zebrafish but does not affect reproductive parameters [J/OL]. Aquat Toxicol, 2022, 243 (1) [2023-05-01]. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.106070>.
- [45] PAERL H W, PAUL V J. Climate change: links to global expansion of harmful cyanobacteria [J]. Water Res, 2012, 46 (5): 1349-1363.

收稿日期: 2023-03-23 修回日期: 2023-05-01 本文编辑: 徐文璐

## (上接第 500 页)

- [9] 倪建晓, 吴文秀, 苏依所, 等. 2013—2020 年瓯海区居民恶性肿瘤死亡趋势及减寿分析 [J]. 预防医学, 2022, 34 (4): 413-418.
- [10] 费方荣, 胡如英, 钟节鸣, 等. 浙江省 2014 年恶性肿瘤发病死亡分析 [J]. 中华流行病学杂志, 2016, 37 (5): 694-698.
- [11] 王倩倩, 徐丽. 2015—2019 年武义县居民恶性肿瘤死亡趋势分析 [J]. 预防医学, 2022, 34 (7): 732-737.
- [12] 钟文玲, 黄少芬, 林修全, 等. 福建省城乡居民消化系统恶性肿瘤死亡趋势分析 [J]. 中国预防医学杂志, 2017, 18 (4): 272-276.
- [13] 纪威, 张良, 应焱燕, 等. 2010—2018 年宁波市胰腺癌发病和死亡趋势分析 [J]. 预防医学, 2020, 32 (8): 805-808.
- [14] 沈永洲, 杜灵彬, 汪祥辉, 等. 浙江省肿瘤登记地区 2000—2009 年胰腺癌流行趋势分析 [J]. 中国卫生统计, 2018, 32 (1): 101-103.
- [15] 李威, 王德征, 薛晓丹, 等. 2010—2014 年天津市前列腺癌死亡趋势及吸烟归因死亡研究 [J]. 中国慢性病预防与控制, 2020, 28 (11): 816-819.
- [16] 王永, 应焱燕, 杨秀珍. 2002—2010 年浙江省宁波市男性居民前列腺癌死亡趋势分析 [J]. 疾病监测, 2011, 26 (10): 828-831.

收稿日期: 2023-04-10 修回日期: 2023-05-08 本文编辑: 徐文璐