

◆海洋科学◆

北部湾潮间带贝类(丽文蛤)5年重金属分布特征及风险评价^{*}陈玲,徐晓帆,蓝文陆^{**},邓琰

(广西壮族自治区海洋环境监测中心站,北部湾海洋生态环境广西野外科学观测研究站,广西北海 536000)

摘要:为了解北部湾海域潮间带生物受重金属污染的情况,本研究选取该海域常见的贝类优势种——丽文蛤(*Meretrix lusoria*)作为研究对象,跟踪监测其体内7种重金属汞(Hg)、铜(Cu)、铅(Pb)、锌(Zn)、镉(Cd)、铬(Cr)、砷(As)的含量,对2019—2023年采集的丽文蛤体内各项指标的时空分布特征进行分析,并分别采用单因子污染指数、内梅罗综合指数和金属污染指数(Metal Pollution Index, MPI)进行评价。结果表明,该海域丽文蛤体内重金属含量为锌>铜>砷>铬>镉>铅>汞,比较各年度平均值,重金属含量的变化有所不同,沿海三市的重金属含量差异较明显但污染程度差异不大,整体处于轻度污染的状态,砷和铅是主要的污染因子。北部湾海域重金属综合污染有逐年上升的趋势,需持续监测生物体内重金属变化。

关键词:北部湾;重金属;丽文蛤;风险评价

中图分类号:P735 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2025)01-0019-08

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20250328.001

北部湾是我国西南部重要的半封闭热带渔场,也是古代海上丝绸之路的贸易中心。随着“一带一路”倡议的推进,北部湾成为广西发展向海经济的前沿地带。然而,经济的快速发展可能导致工农业废水及生活污水增加,对海域尤其是潮间带造成重金属污染威胁。海洋重金属污染是当前全球海洋生态环境面临的重要问题之一,其对海洋生态系统和人类健康构成潜在威胁。通过分析海洋生物体内的污染物残留,可以有效研判海洋环境中的重金属污染状况。其中,海洋贝类因其对环境中污染物的强富集能力和较弱的

迁移能力,成为反映海洋污染程度和变化趋势的理想指示生物^[1]。

丽文蛤(*Meretrix lusoria*)是北部湾沿海常见的贝类优势物种之一,广泛分布于潮间带和浅海区域,具有较强的环境适应性和生态代表性。因此,本研究选取丽文蛤作为目标物种,以评估北部湾海域的重金属污染状况。尽管已有部分研究对海洋贝类的重金属污染进行了探讨,但针对北部湾海域连续多年的贝类重金属残留跟踪监测和系统评价仍鲜见报道。为此,本研究拟对2019—2023年连续5年在北部湾(广

收稿日期:2024-12-11

修回日期:2025-02-16

^{*} 广西重点研发计划项目(桂科AB22035035),广西科技基地和人才专项(桂科23-026-271)资助。

【第一作者简介】

陈玲(1988—),女,工程师,主要从事重金属检测研究。

【**通信作者简介】

蓝文陆(1980—),男,正高级工程师,主要从事海洋环境监测与研究,E-mail:dr.lan@139.com。

【引用本文】

陈玲,徐晓帆,蓝文陆,等.北部湾潮间带贝类(丽文蛤)5年重金属分布特征及风险评价[J].广西科学,2025,32(1):19-26.

CHEN L, XU X F, LAN W L, et al. Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in *Meretrix lusoria* in the Intertidal Zone of the Beibu Gulf [J]. Guangxi Sciences, 2025, 32(1): 19-26.

西)近岸采集的丽文蛤进行重金属残留跟踪监测和风险评估,旨在揭示该海域重金属污染的时空分布特征及其变化趋势,为北部湾海域生态保护措施的实施提供科学依据,同时为区域海洋环境管理和可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

于 2019—2023 年 9—11 月贝类收获期采集北部湾(广西)近岸 16 个点位的丽文蛤,具体采集点位见图 1,5 年间共检测样品 80 份。采集的丽文蛤样品用海水洗净、去壳,取出软体组织匀浆,待进一步分析。

具体采样和处理按《近岸海域环境监测技术规范》(HJ 442—2020)^[2]、《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》(GB 17378.6—2007)^[3]、《贻贝监测技术规程》(HY/T 079—2005)^[4]规定的方法进行。

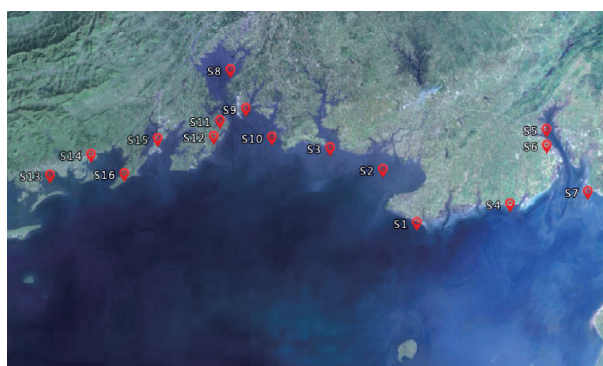


图 1 丽文蛤在北部湾(广西)近岸的采样点位

Fig. 1 Sampling sites for *Meretrix lusoria* in the Beibu Gulf (Guangxi)

1.2 重金属分析方法

总砷、总汞采用原子荧光法分析,其他重金属采用电感耦合等离子体质谱法分析。具体分析参照《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》(GB 17378.6—2007)^[3]、《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》(GB 5009.11—2014)^[5]、《海洋监测技术规程 第 3 部分:生物体》(HY/T 147.3—2013)^[6]、《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》(GB 5009.268—2016)^[7]。

在分析样品时,同步测定实验室空白、质控样品[国家标准物质扇贝 GBW10024、国家海洋局第二海洋研究所提供的缢蛏(*Sinonovacula constricta*)]并作平行双样分析;每批样品测定样品量 10% 以上且不少于 1 个平行样。实验室空白、质控样品、平行样的结果均要符合质控要求。

重金属未检出时,以检出限值+L 表示,统计时以检出限的半量计算。本研究所测指标用算术平均值±标准偏差表示。

1.3 仪器设备

匀浆机(YQ-3,江苏省金坛市医疗仪器厂)、真空冷冻干燥机(FD-1A-50,北京博尔康科技有限公司)、分析天平[AG204,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]、微波消解仪(MARS,美国 CEM 公司)、石墨赶酸仪(EHD-40,北京东航科仪仪器有限公司)、电热板(HT-300,广州格丹纳仪器有限公司)、电感耦合等离子体质谱仪[iCAP RQ,赛默飞世尔科技(中国)有限公司]、原子荧光计(AFS-9700 和 LC-AFS6500,北京海光仪器有限公司)。

1.4 重金属污染评价标准及方法

本研究旨在探讨海域特征贝类受重金属污染的程度,为了便于讨论,采用我国现行有效的《海洋生物质量》(GB 18421—2001)^[8]第一类标准限值评价。

1.4.1 单因子标准指数计算

单因子标准指数主要反映生物体内污染物含量与污染物评价标准值的关系,计算公式如下:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}, \quad (1)$$

式中, P_i 为第 i 污染因子的标准分指数; C_i 为第 i 污染因子的含量; S_i 为第 i 污染因子的评价标准限值。当 $P_i \leq 1.0$ 时,表明生物中该污染因子的含量符合所选用的评价标准限值;当 $P_i > 1.0$ 时,表明生物中该污染因子的含量超过所选用的评价标准限值^[9]。

1.4.2 内梅罗综合指数计算

内梅罗综合指数在单因子标准指数基础上进一步计算,突出最高含量污染因子的影响,其计算公式为

$$P_{\text{内梅罗}} = \sqrt{\frac{P_{\text{max}}^2 + P_{\text{ave}}^2}{2}}, \quad (2)$$

式中, $P_{\text{内梅罗}}$ 为内梅罗综合指数; P_{max} 为各污染因子中最大的单因子标准指数; P_{ave} 为各污染因子单因子标准指数的平均值。若 $P_{\text{内梅罗}} \leq 1$,则表明无污染;若 $1 < P_{\text{内梅罗}} \leq 2$,则提示轻度污染;若 $2 < P_{\text{内梅罗}} \leq 3$,则说明存在中度污染;若 $P_{\text{内梅罗}} > 3$,则存在重度污染^[10]。

1.4.3 金属污染指数(Metal Pollution Index, MPI)计算

MPI 用于反映某一种生物受多种重金属污染的综合情况,其数值越大,说明污染程度越高^[11]。

$$MPI = \sqrt[n]{C_1 \times C_2 \times \cdots \times C_n}, \quad (3)$$

式中, C_n 为样品中第 n 种污染因子的含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 以湿重计); n 为污染因子的个数。

2 结果与分析

2.1 重金属含量时空分布特征

2.1.1 重金属含量时间分布特征

近 5 年来, 北部湾(广西)海域丽文蛤体内各重金属元素含量从高到低依次为锌(Zn)、铜(Cu)、砷

(As)、铬(Cr)、镉(Cd)、铅(Pb)、汞(Hg)。为了更好地分析北部湾(广西)海域丽文蛤体内重金属含量的时间分布规律, 取 2019—2023 年单项金属 16 个点位的平均值进行统计, 结果如图 2 所示。该海域 5 年间丽文蛤体内的汞、砷有明显上升趋势, 其中砷的上升幅度较大; 锌呈现平稳波动的状态, 整体来看略有下降; 铜于 2020 年下降后逐年回升, 铅、镉则呈现先下降后上升再下降的趋势, 铬则在 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 上下浮动。

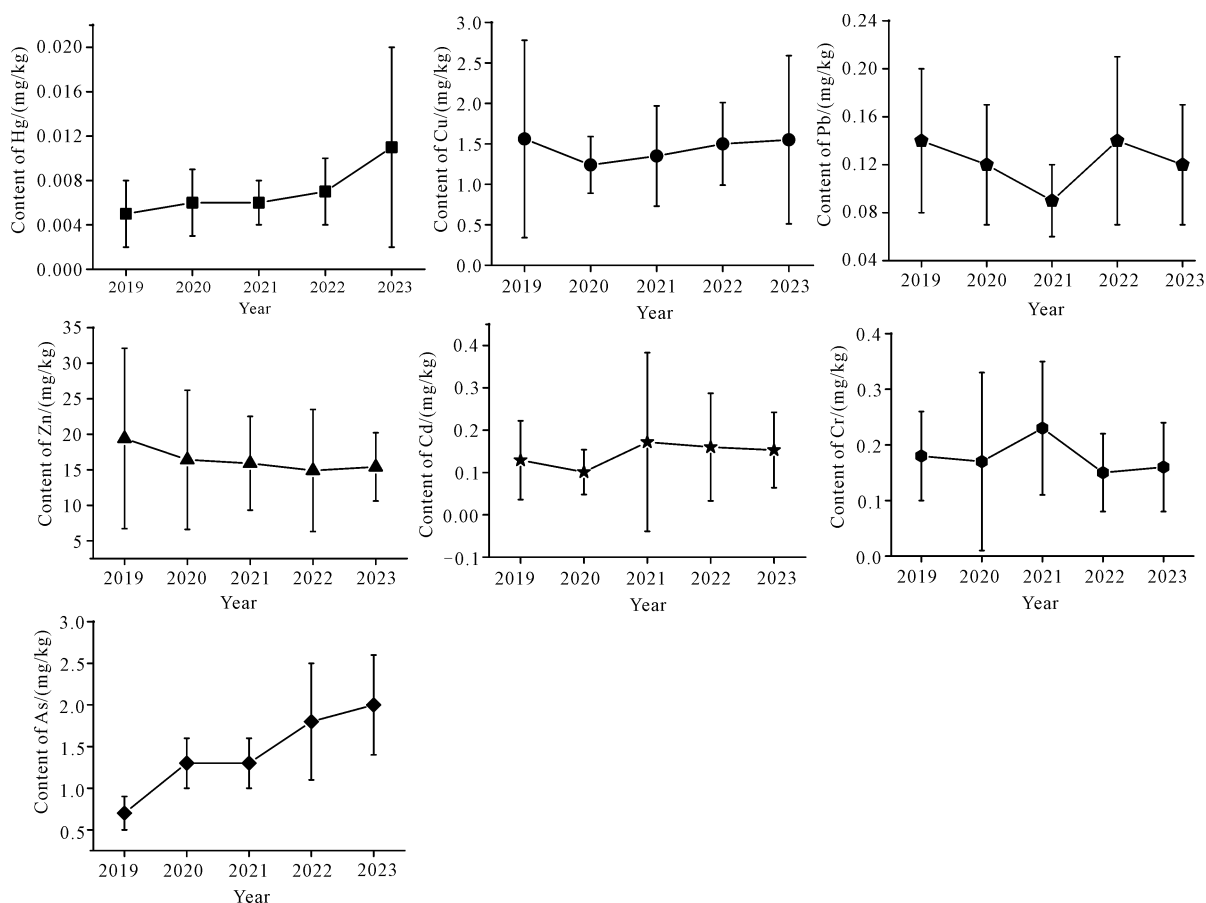


图 2 北部湾(广西)海域丽文蛤体内各重金属含量 2019—2023 年 5 年间变化趋势

Fig. 2 Trends of the each heavy metal content in *Meretrix lusoria* in the Beibu Gulf (Guangxi) from 2019 to 2023

2.1.2 重金属含量空间分布特征

根据各采样点位所属区划, 将各采样点位划分到北部湾(广西)沿海三市: 北海、钦州、防城港, 统计 2019—2023 年 5 年间各市丽文蛤体内重金属含量的平均值(表 1)。对比发现, 丽文蛤体内重金属含量在不同区域间的差异较为明显。其中, 汞、铅、铬的含量为北海>钦州>防城港, 砷则为北海>防城港>钦州, 铜为防城港>北海>钦州, 镉为防城港>钦州>北海, 锌为钦州>防城港>北海。防城港各采样点位

镉监测值的标准偏差较大, 这是由采样点位 S16 与其他 5 个采样点位之间较大的差异造成的。

2.2 重金属含量整体趋势

数据分析表明, 除汞、铅、砷元素外, 其他金属元素的平均浓度水平均低于《海洋生物质量》^[8] 第一类标准限值; 但就浓度分布区间而言, 除铜元素外, 其余金属元素在个别监测点位出现了超出第一类标准限值的现象(表 2)。

表 1 北部湾(广西)沿海三市丽文蛤体内重金属含量统计

Table 1 Statistics of heavy metal content in *Meretrix lusoria* from three coastal cities of the Beibu Gulf (Guangxi)

城市 City	采样点位数 Number of sampling site	重金属含量/(mg·kg ⁻¹ ,以湿重计) Heavy metal content/(mg·kg ⁻¹ , wet weight)						
		汞 Hg	铜 Cu	铅 Pb	锌 Zn	镉 Cd	铬 Cr	砷 As
Beihai	7	0.009±0.007	1.32±0.47	0.13±0.06	14.3±4.8	0.109±0.053	0.22±0.14	1.6±0.7
Qinzhou	3	0.006±0.003	1.10±0.17	0.12±0.04	23.2±16.1	0.140±0.049	0.17±0.04	1.1±0.6
Fangchenggang	6	0.005±0.002	1.75±1.13	0.10±0.05	15.5±4.6	0.185±0.185	0.13±0.04	1.4±0.6

表 2 北部湾(广西)近岸海域丽文蛤体内 5 年重金属含量与一类标准限值对比

Table 2 Comparison of the five-year mean heavy metal content in *Meretrix lusoria* from the Beibu Gulf (Guangxi) with class I standard limits

类别 Category		重金属含量/(mg·kg ⁻¹ ,以湿重计) Heavy metal content/(mg·kg ⁻¹ , wet weight)						
		汞 Hg	铜 Cu	铅 Pb	锌 Zn	镉 Cd	铬 Cr	砷 As
Class I standard limits*		0.005	10	0.1	20	0.2	0.5	1.0
Beibu Gulf (Guangxi)	Mean	0.007±0.005	1.44±0.80	0.12±0.06	16.4±8.8	0.143±0.125	0.18±0.11	1.4±0.7
	Range	0.002L—0.040	0.71—5.89	0.04—0.27	8.1—61.6	0.060—0.942	0.07—0.75	0.4—3.3

Note: * data comes from *Marine Biological Quality* (GB 18421—2001)^[8].

2.3 风险评价

2.3.1 单因子标准指数评价

2019—2023 年北部湾(广西)海域丽文蛤的金属污染程度平均值由大到小依次为砷>铅>锌>镉>铬>铜>汞,其中砷、铅的 5 年平均单因子标准指数超过 1.0;除 2019 年度砷元素和 2021 年度铅元素

外,其余年度砷和铅的单因子标准指数均大于 1.0,说明其余年度砷和铅含量的年平均值均超出第一类标准限值;汞、铜、锌、镉、铬的污染因子 5 年内的单因子标准指数均小于 1.0(表 3),说明这 5 种重金属在丽文蛤体内的含量均低于第一类标准限值。

表 3 丽文蛤体内各重金属的单因子标准指数和内梅罗综合指数

Table 3 Single factor standard index and Nemerow comprehensive index of heavy metals in *Meretrix lusoria*

年份 Year	P_i							$P_{\text{内梅罗}}$ P_{Nemerow}
	汞 Hg	铜 Cu	铅 Pb	锌 Zn	镉 Cd	铬 Cr	砷 As	
2019	0.09	0.16	1.38	0.97	0.64	0.36	0.68	1.07
2020	0.12	0.12	1.19	0.82	0.50	0.34	1.26	0.99
2021	0.11	0.14	0.85	0.79	0.86	0.46	1.28	1.01
2022	0.14	0.15	1.41	0.74	0.80	0.30	1.82	1.40
2023	0.22	0.16	1.19	0.77	0.76	0.33	2.04	1.54
Average	0.14	0.15	1.20	0.82	0.72	0.36	1.42	1.11

2.3.2 内梅罗综合指数评价

2019—2023 年北部湾(广西)海域丽文蛤的内梅罗综合指数均在 1.0 左右,其中,2020 年的污染程度评价为无污染,其他年份为轻度污染(表 3),表明该海域整体处于轻度污染的状态。从污染因子来看,2019 年铅是影响内梅罗综合指数的最大污染因子,随后的 2020—2023 年,砷为影响内梅罗综合指数最主要的污染因子。

2.3.3 MPI 评价

MPI 评价结果表明,北部湾(广西)沿海三市丽文蛤的 MPI 为 0.29—0.43,表明该海域重金属总体污染效应较小,但有逐年上升的趋势(表 4)。北海、钦州、防城港三市在同一年份的金属污染指数差异不显著,这主要归因于多种重金属的综合作用使得区域间差异减小。

表 4 北部湾(广西)沿海三市丽文蛤的金属污染指数

Table 4 Metal pollution index in *Meretrix lusoria* from three coastal cities of the Beibu Gulf (Guangxi)

城市 City	金属污染指数 Metal pollution index				
	2019	2020	2021	2022	2023
Beihai	0.32	0.32	0.33	0.39	0.43
Qinzhou	0.29	0.31	0.32	0.36	0.39
Fangchenggang	0.30	0.31	0.33	0.33	0.34

3 讨论

3.1 生物体中的重金属残留

汞是剧毒重金属,在环境中能以单质汞、无机汞和有机汞3种形态存在。海水中的汞经海洋生物吸收和富集后,通常以甲基汞和少量其他形式的有机汞存留在生物体内,而甲基汞化合物具有毒性极高、脂溶性极强、半衰期长的特点^[12],其进入机体后会影响到中枢神经,损害免疫系统和循环系统,对海洋生物及人体健康均构成极大威胁^[13]。北部湾(广西)海域丽文蛤体内汞含量为 $0.002\text{L}-0.040\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,5年平均值为 $(0.007\pm0.005)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

铜是生物体必需的微量元素之一,参与生物体内多种氨基酸的合成,影响海洋生物的生长代谢。铜对海洋生物的影响通常表现为与抗氧化酶之间的抛物线型质量效应关系,即在低浓度条件下对抗氧化酶产生诱导效应,而在高浓度条件下对抗氧化酶呈现抑制作用^[13-14]。由此可知,一定浓度范围内的铜有利于生物的生长发育,但含量过高会出现铜中毒现象。海洋贝类属于滤食性动物,其体内铜含量主要与海域沉积物相关,同时受贝类品种的富集能力和代谢速度影响^[13,15]。本研究中丽文蛤体内铜含量为 $0.71-5.89\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,5年平均值为 $(1.44\pm0.80)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

铅是一种对人体毒性极强的重金属,可对神经系统、消化系统、泌尿系统、造血系统、生殖系统和内分泌系统等多个系统造成损害。海洋贝类受到的铅污染主要来自工业三废向沿岸海域的排放,铅通过鳃吸收、消化道吸收和体表渗透交换作用3个途径富集于生物体内^[16]。丽文蛤体内铅含量为 $0.04-0.27\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,5年平均值为 $(0.12\pm0.06)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

与铜同为人体必需微量元素的锌,若摄入过量,会对神经元、肝脏等产生危害。锌也是贝类的生命活动必需元素之一,被贝类吸收后参与其体内生物酶的

合成,作为机体的组成部分留存在体内^[17],因此锌的含量一般情况下会明显高于其他元素。本研究的监测结果也符合该情况,说明丽文蛤对锌元素的富集能力比其他金属元素高。丽文蛤体内锌含量为 $8.1-61.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,5年平均值为 $(16.4\pm8.8)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

镉属于生物体的非必需元素,对人类及其他生物具有很强的毒性,少量摄入就能引发中毒。镉的化合物大多可溶于水,因此很容易进入水体并被水生生物吸收,经食物链富集进入人体后主要在肝脏蓄积,可造成人体肾损伤和骨损伤,对生殖系统和免疫系统有毒害作用,同时还有致癌、致畸、致突变的危害性^[13,18]。丽文蛤体内镉含量为 $0.060-0.942\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,5年平均值为 $(0.143\pm0.125)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

铬被认为是人体必需微量元素之一,对人体调节血糖、代谢脂类有重要作用^[13,19]。但作为毒性较高的重金属,过量的铬仍会危害人体健康。铬在自然环境中主要以三价和六价两种形态存在,其中六价铬危害最大,能损伤人体的骨骼、血液、肝脏和肾脏,对皮肤和消化系统也有致癌性^[13,20],三价铬则毒性相对较低。海洋中铬污染通常来源于工业生产废水排放,海洋生物尤其是海洋贝类吸收富集后,经过食物链的生物放大作用累积并影响食用人群的健康^[21]。丽文蛤体内铬含量为 $0.07-0.75\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,5年平均值为 $(0.18\pm0.11)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

砷属于类金属元素,因其某些性质和毒性类似重金属,故本研究也将砷纳入重金属污染因子进行评价。海产品中的砷主要以砷甜菜碱的形式存在,是一种有机砷化合物,其化学性质被认为是惰性的、无毒的,能被人体快速代谢排出,对人体无害^[22]。具有毒性及致癌风险的是以无机化合物形式存在的三价砷和五价砷,1980年无机砷被国际癌症研究机构确认为人类致癌物,人体短期大量摄入无机砷会出现砷中毒现象,长期低剂量暴露接触则能致癌。丽文蛤体内砷含量为 $0.4-3.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,5年平均值为 $(1.4\pm0.7)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。有研究表明,文蛤属(*Meretrix* spp.)的无机砷占比约为总砷的1.9%^[23]。本研究中的检测结果为总砷含量,按照无机砷的占比计算,丽文蛤中的无机砷含量基本不会对人体健康构成威胁。

3.2 与其他区域对比

将本研究中北部湾(广西)海域丽文蛤体内重金属含量的5年平均值(表2)与其他区域的文蛤属重金属含量数据(表5)进行比较,发现汞和铬的含量处

于较低水平;铜含量与黄渤海、海口湾地区相当,低于其他区域;铅的含量高于黄渤海、泉州至厦门海域,低于其他区域;镉的含量高于杭州湾、海口湾,与泉州至

表 5 其他区域文蛤属体内重金属含量

Table 5 Heavy metal content in *Meretrix* spp. in the other areas

区域 Area	类型 Type	重金属含量/(mg · kg ⁻¹ ,以湿重计) Heavy metal content/(mg · kg ⁻¹ , wet weight)					
		汞 Hg	铜 Cu	铅 Pb	锌 Zn	镉 Cd	铬 Cr
Yellow Sea and Bohai Sea ^[24]	Mean		1.38	0.08	15.1	0.59	0.44
	Range		0.94—1.96	0.11—4.15	8.20—21.1	0.22—1.73	0.16—0.79
Southern Yellow Sea (Yangkou and Lüsi) ^[25]	Mean	0.037	4.65	0.14		0.46	0.76
	Range	0.01—0.11	0.7—8.6	0.04—0.54		0.01—4.8	0.23—1.25
Hangzhou Bay ^[26]	Mean	0.08	4.68	0.3	12.4	0.04	0.9
Sea area from Quanzhou to Xiamen ^[27]	Mean	0.020		0.05L		0.132	0.57
	Range	0.002—0.170		0.05L—0.31		0.040—0.340	0.20—1.24
Guangzhou ^[9]	Mean		2.11	0.26		0.20	0.33
	Range		1.25—2.97	0.01—0.43		0.09—0.29	0.04—0.74
Haikou Bay ^[28]	Mean		1.155±0.431	0.150±0.120	14.060±0.532	0.071±0.026	0.225±0.046
Arabian Gulf (Dammam City) ^[29]	Range		(3.52±0.05)—(8.19±0.50)	(0.29±0.04)—(2.49±0.27)	(12.86±1.05)—(24.56±0.84)	(0.244±0.041)—(0.90±0.030)	

4 结束语

2019—2023 年在北部湾(广西)海域采集的丽文蛤样品中,砷、铅含量超过《海洋生物质量》(GB 18421—2001)^[8]第一类标准限值。贝类体内污染物残留不仅与其自身生活习性有关,还与生活的海洋环境有密切关系,通过对比北部湾(广西)沿海三市间以及国内外其他海域的金属指标,可以看出各海域间污染指标差异明显,其中北海区域的砷含量处于高位,防城港的镉含量处于中位,而钦州则是以锌污染为主,因此建议在不同区域监测时应有所侧重。

整体而言,北部湾(广西)海域丽文蛤处于重金属轻度污染的状态,但重金属综合污染有逐年上升的趋势,需持续监测生物体内重金属变化,并结合海域沿岸经济建设中的金属排污状况,加强海洋贝类质量控制,严格控制城市重金属污水废水的排放,制定切实有效的海域管控和污染恢复措施,以避免出现贝类持续累积有毒有害物质的状况发生,保护人类身体健康及环境生态安全。

值得注意的是,本研究采用的《海洋生物质量》(GB 18421—2001)^[8]第一类标准(总砷限值 15 mg · kg⁻¹)专用于海洋自然保护区等严格保护区域的评

价,其严苛程度显著高于第二类标准(总砷限值 70 mg · kg⁻¹)及欧盟等国际标准(总砷限值 50 mg · kg⁻¹),可能导致本次评价系统性高估了北部湾(广西)海域的重金属超标风险。由于该标准未区分砷的化学形态,而有机砷的生物利用率和毒性均显著低于无机砷,仅以总砷含量评价会高估有机砷的潜在风险,从而影响对海洋生物质量判断的准确性。因此,建议我国在海洋生物质量评价标准中区分砷的化学形态,并更新检测方法,以更科学地评估海洋生物质量状况。此外,本研究仅监测丽文蛤体内重金属含量,未来可进一步分析采样点附近沉积物中的重金属含量,以了解作为底栖动物的丽文蛤其生存环境中重金属的生物积累状况。

参考文献

[1] 杨菲菲,孟范平,王群,等. 北部湾潮间带波纹巴非蛤的重金属污染特征与食用风险研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2014,44(2):60-67.

[2] 中国环境监测总站,浙江省舟山海洋生态环境监测站,天津市生态环境监测中心,等. 近岸海域环境监测技术规范:HJ 442—2020 [S]. 北京:中国环境出版集团,2021.

[3] 国家海洋环境监测中心. 海洋监测规范 第 6 部分:生

- 物体分析:GB 17378.6—2007 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [4] 国家海洋环境监测中心. 贻贝监测技术规程:HY/T 079—2005 [S]. 北京:中国标准出版社,2005.
- [5] 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 食品中总砷及无机砷的测定:GB 5009.11—2014 [S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [6] 国家海洋环境监测中心. 海洋监测技术规程 第3部分:生物体:HY/T 147.3—2013 [S]. 北京:中国标准出版社,2013.
- [7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中多元素的测定:GB 5009.268—2016 [S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [8] 国家海洋局第三海洋研究所. 海洋生物质量:GB 18421—2001 [S]. 北京:中国标准出版社,2001.
- [9] 陈笑霞,陈红英,陈旭凌,等. 广州市售四种贝类重金属含量分析及评价[J]. 广东微量元素科学,2015,22(2):1-4.
- [10] 刘媛媛,王悦,於香湘. 洋口港水产品重金属含量状况调查及评价[J]. 环境与可持续发展,2010,35(1):35-37.
- [11] 林怡辰. 重金属在近岸海域海产品中的富集及其影响机制研究[D]. 烟台:中国科学院大学(中国科学院烟台海岸带研究所),2021.
- [12] 林少英,黄学敏,谭领章,等. 佛山市常见水产品甲基汞浓度比较分析[J]. 华南预防医学,2016,42(5):484-486.
- [13] 赵鹏. 广西北部湾典型经济贝类重金属污染及影响因素分析[D]. 南宁:广西师范学院,2017.
- [14] 陈宇峰,许洁,艾春香,等. Cu^{2+} 及 Cu^{2+} 与 Zn^{2+} 交互胁迫对拟穴青蟹生理生化指标及其鳃、肝胰腺纤维结构的影响[C]//中国海洋湖沼学会甲壳动物学分会,中国动物学会甲壳动物学分会. 中国甲壳动物学会第十一届年会暨学术研讨会论文摘要集. 厦门:中国海洋湖沼学会,2011:121.
- [15] 李继业,韩龙江,杜明,等. 铜对海洋生物毒理学研究进展及展望[J]. 海洋湖沼通报,2021,43(1):149-156.
- [16] 戚原野. 江苏沿岸四种经济贝类铅和镉的含量特征及其风险分析[D]. 南京:南京农业大学,2016.
- [17] 孙玲玲,宋金明,于颖,等. 荣成湾14种海洋经济生物体中的重金属水平与食用风险初步评价[J]. 海洋与湖沼,2018,49(1):52-61.
- [18] 李玉环. 贝类体内重金属镉的富集和消除规律及食用安全性的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2005.
- [19] 刘鹭,李函彤,张书文,等. 生物富集与人体营养健康[J]. 生物产业技术,2018(1):102-106.
- [20] 谢文强. 六价铬对人体急性与慢性危害探究[J]. 资源节约与环保,2016(7):131,135.
- [21] 祝银,朱剑,李子孟,等. 浙江省主要海产品中铬元素含量分布及风险分析[J]. 食品安全质量检测学报,2019,10(17):5773-5778.
- [22] 赵艳芳,尚德荣,宁劲松,等. 水产品中不同形态砷化合物的毒性研究进展[J]. 海洋科学,2009,33(9):92-96.
- [23] 李子孟. 浙江沿海海产品中砷形态分布及含量的调查研究[D]. 舟山:浙江海洋大学,2020.
- [24] 贺广凯. 黄渤海沿岸经济贝类体中重金属残留量水平[J]. 中国环境科学,1996,16(2):96-100.
- [25] 吴建兰. 南通市近岸海域主要海产品重金属残留监测与评价[J]. 环境监测管理与技术,2012,24(3):47-51.
- [26] 魏天飞. 杭州湾海域常见生物体内有机物及重金属含量研究[J]. 海洋开发与管理,2023,40(4):53-60.
- [27] 陈玲,傅晖蓉,曾志定. 泉州市贝类产品中重金属元素污染情况分析[J]. 检验医学与临床,2004,1(2):62-63.
- [28] 邓承玉,周海龙,李玉虎,等. 海口湾贝类重金属质量含量测定及其风险评价[J]. 热带生物学报,2013,4(3):209-213.
- [29] ALYAHYA H, EL-GENDY A H, AL FARRAJ S, et al. Evaluation of heavy metal pollution in the Arabian Gulf using the clam *Meretrix meretrix* Linnaeus, 1758 [J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2011, 214(1):499-507.

Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in *Meretrix lusoria* in the Intertidal Zone of the Beibu Gulf

CHEN Ling, XU Xiaofan, LAN Wenlu^{* *}, DENG Yan

(Beibu Gulf Marine Ecological Environment Field Observation and Research Station of Guangxi, Marine Environmental Monitoring Centre of Guangxi, Beihai, Guangxi, 536000, China)

Abstract: The aim of this study is to unveil the heavy metal pollution of organisms in the intertidal zone of the Beibu Gulf. The common dominant bivalves species, *Meretrix lusoria*, in this area was selected as a bioindicator. The concentrations of 7 heavy metals (Hg, Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, and As) in *M. lusoria* were monitored from 2019 to 2023 to assess their temporal and spatial distribution patterns. The single-factor pollution index, Nemerow comprehensive index, and Metal Pollution Index (MPI) were used for evaluation. The results indicated that the heavy metal concentrations in *M. lusoria* in this sea area followed the order of $Zn > Cu > As > Cr > Cd > Pb > Hg$. The heavy metals concentrations showed distinct annual variations, with significant differences observed among the three coastal cities studied. However, the overall pollution levels remained consistent, indicating a state of mild pollution, which was primarily caused by As and Pb. There is a year-by-year increasing trend in comprehensive heavy metal pollution in the Beibu Gulf, underscoring the necessity for ongoing monitoring of heavy metal dynamics in marine organisms.

Key words: Beibu Gulf; heavy metal; *Meretrix lusoria*; risk assessment

责任编辑: 陆 雁



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxkx@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch>