

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241227004

引用格式: 孙瑶, 慕铮, 姜玲玲. 大连地区虾夷贝、赤贝中重金属元素含量变化研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(7): 25-32.

SUN Y, MU Z, JIANG LL, et al. Study on the variation of heavy metal elements content in *Mizuhopecten yessoensis* and *Anadara broughtonii* in the Dalian Region [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(7): 25-32. (in Chinese with English abstract).

大连地区虾夷贝、赤贝中重金属元素含量 变化研究

孙瑶^{1*}, 慕铮¹, 姜玲玲²

(1. 大连海关技术中心, 大连 116001; 2. 沈阳海关技术中心, 沈阳 110016)

摘要: **目的** 研究大连地区虾夷贝、赤贝中重金属元素含量变化。**方法** 通过选取大连地区虾夷贝、赤贝样品, 在一年内按月收集样本, 采用电感耦合等离子体质谱法测定不同月份贝类样品中 Pb、Cd、Cr、Cu 重金属元素的含量, 考察两种贝类对上述元素的富集随月份变化的趋势。运用单因子污染指数法及目标危害系数法, 评价食用富集一定含量重金属贝类产品的食用风险及对人体健康的潜在风险。**结果** 虾夷贝中重金属 Cd 的含量在3月达到最高峰, 最高检测值达到 4.50 mg/kg, 已超过国家食品安全标准限量; 重金属 Cu 在3月、4月、10月均较为明显高于其他月份, 但全年检测数值均低于限量指标。赤贝体内重金属 Cd 的含量3月、4月为最高峰, 最高检测值为 1.92 mg/kg, 其余月份未检明显变化规律, 但全年检测数值均低于限量指标。其余重金属元素的含量随时间、季节的变化未见明显变化规律。**结论** 虾夷贝中重金属的含量随月份的变化最为明显, 对于重金属 Cd, 虾夷贝在3月、4月、5月虾夷贝处在污染中, 食用存在健康风险; 赤贝全年均处在食用安全数值之内, 存在的健康风险较低。

关键词: 虾夷贝; 赤贝; 重金属含量; 健康风险评估

Study on the variation of heavy metal elements content in *Mizuhopecten yessoensis* and *Anadara broughtonii* in the Dalian Region

SUN Yao^{1*}, MU Zheng¹, JIANG Ling-Ling²

(1. Technology Center of Dalian Customs District, Dalian 116001, China;
2. Technology Center of Shenyang Customs District, Shenyang 110016, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the variation in heavy metal elements content in *Mizuhopecten yessoensis* and *Anadara broughtonii* from the Dalian Region. **Methods** Samples of *Mizuhopecten yessoensis* and *Anadara broughtonii* were collected monthly over the course of a year in Dalian. The content of heavy metal elements, including Pb, Cd, Cr, and Cu, were determined using inductively coupled plasma mass spectrometry. The study examined the monthly trends in the accumulation of these elements in the 2 types of shellfish. The single-factor pollution index method and the target hazard quotient method were used to evaluate the consumption risk and potential health risks to

收稿日期: 2024-12-27

第一作者/*通信作者: 孙瑶(1982—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品营养与安全。E-mail: 15140588235@163.com

humans from consuming shellfish products with accumulated heavy metals. **Results** The Cd content in *Mizuhopecten yessoensis* peaked in March, with the highest detected value reaching 4.50 mg/kg, exceeding the national food safety standard limit. The Cu content in *Mizuhopecten yessoensis* was significantly higher in March, April, and October compared to other months, but all annual detection values were below the limit. In *Anadara broughtonii*, the Cd content peaked in March and April, with the highest detected value being 1.92 mg/kg, but no significant variation pattern was observed in other months, and all annual detection values were below the limit. The content of other heavy metal elements did not show significant variation patterns over time or seasons. **Conclusion** The heavy metal content in *Mizuhopecten yessoensis* shows the most significant monthly variation. For Cd, *Mizuhopecten yessoensis* are contaminated in March, April, and May, posing health risks if consumed. *Anadara broughtonii* remains within safe consumption levels throughout the year, with lower health risks.

KEY WORDS: *Mizuhopecten yessoensis*; *Anadara broughtonii*; heavy metal content; health risk assessment

0 引言

辽宁大连海岛屿众多,礁石林立,气候温和,海洋渔业资源尤其是贝类资源十分丰富,也是我国滩涂贝类的主要产区之一^[1-2]。大连地区常见的贝类有扇贝科的海湾扇贝、栉孔扇贝、虾夷扇贝以及蚶科的赤贝和鸟蛤科的鸟贝等,都是大连水产市场的常见种类。虾夷贝为大型冷水双壳贝类,是大连特产海鲜品种,与大连旅顺口区特产的赤贝同为辽宁农产品地理标志产品^[3-4]。贝类通过消化系统过滤海水来获取海藻或富有生物为食,移动缓慢居于泥沙中且对 Pb、Cd 等重金属有较强的吸附积累能力,重金属容易富集在贝类体内,最终通过食物链摄入人体内^[5-7],长期低浓度摄入会对人体健康产生不良影响。目前对黄渤海、南海等海域的重金属研究已有大量报道,包括水产品中重金属的含量以及海水中重金属浓度随季节的变化,赵金泉等^[8]对青岛某养殖区的贝类重金属富集情况按照季节进行了研究,对辽宁沿海城市水产品及其产品的重金属含量也有研究,但是针对大连地区常见贝类的重金属含量缺少这种针对季节性变化的研究。

故本研究选取大连地区的两种常见贝类:虾夷贝和赤贝,在一年周期内逐月采集,采用电感耦合等离子体质谱法测定不同月份贝类样品中 Pb、Cd、Cr、Cu 重金属元素的含量^[9-10],考察两种贝类生物对重金属的富集随月份变化的趋势。评价不同月份食用两种贝类对人体健康的潜在风险^[11-12],在确保食品安全的同时,也为海洋监测工作提供技术数据支撑。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

ICP-MS 7900 电感耦合等离子体质谱仪(美国安捷伦公司); TOPEX+型微波消解系统(PreeKEM 科学仪器有限公司); ME403 电子天平(精度 0.01 mg, 瑞士梅特勒-托利多

公司)。

氩气(Ar, 纯度 $\geq 99.995\%$)、氦气(He, 纯度 $\geq 99.995\%$)(大连光明特别气体有限公司); 硝酸(HNO_3 , 优级纯, 天津科密欧化学试剂有限公司); 纯水(电阻率为 $18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$, sartorius arium pro VF-T 实验室超纯水系统); Ag、Al、As、Ba、Be、Cd、Co、Cr、Cu、Mn、Mo、Ni、Pb、Se、Tl、V、Zn、Th、U 标准混合溶液(标准样品编号: GNM-M2510284, 质量浓度 $10.00 \mu\text{g/mL}$, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 内标液 6Li、45Sc、72Ge、89Y、115In、159Tb、209Bi(质量浓度 $10 \mu\text{g/mL}$, 美国安捷伦公司); 质控样为生物成分分析标准物质(标准样品编号: GBW10011a, 质量浓度 Cd $0.018\sim 0.024 \text{ mg/L}$, Cr $0.06\sim 0.12 \text{ mg/L}$, Cu $2.7\sim 3.3 \text{ mg/L}$, Pb $0.06\sim 0.12 \text{ mg/L}$, 中国地质科学院地球物理地球化学勘察研究所)。

1.2 样品采集

通过实验室留存样品、大连市内市场购买等渠道,按月份收集虾夷贝和赤贝样品 1 份,每份 10 个样品(两种贝类各 5 个),共收集 12 份样品,共计 120 个样品。

1.3 试验方法

1.3.1 检测方法

选择检测方法为 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中第一法 电感耦合等离子体质谱法,试样的制备按照该标准中 5.1.1.2 鲜样要求:水产品等高含水量样品需洗净,取可食用部分匀浆,根据 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中贝类样品的要求是去除内脏,贝类属于软体动物中的一类。软体动物在形态上变化很大,但在结构上都可以分为头、足、内脏囊及外套膜 4 部分。最终取可食用部分主要是白色的内收肌和生殖腺^[13]。按 GB 5009.268—2016 5.2.1 标准要求对样品进行消解后上机,消解采用微波消解法。

1.3.2 内标元素的选择

电感耦合等离子体质谱法使用内标法为校准方法,

内标物的选择应尽量能够与被测元素性质相似, 质量数相近的, 故根据本次分析元素的性质, Cr(53)、Cu(63)、Cd(114)、Pb(208)对应选择 Sc、In、Bi 作为内标元素。

1.3.3 仪器条件

射频功率 1500 W, 等离子体气流量 15 L/min, 载气流量 0.8 L/min, 氦气流量 4 mL/min, 雾化室温度 2 °C, 采集模式: 跳峰。

1.4 分析方法

1.4.1 两种贝类本身污染程度的评估

评估依据为选择单因子污染指数法, 即利用实测数据和标准对比分类来对贝类样品本身的重金属污染程度的评价, 依据现行有效的两个相关标准: GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》、NY 5073—2006《无公害食品 水产品中有毒有害物质限量》(表 1)。

表 1 国内标准关于贝类食品中重金属元素的限量(mg/kg)
Table 1 Domestic standards for the limits of heavy metal elements in shellfish products (mg/kg)

元素	NY 5073—2006	GB 2762—2022
Pb	≤1.0	≤1.5
Cd	≤1.0	≤2.0
Cr	-	≤2.0
Cu	≤50	-

注: -表示未有此项。

单因子污染指数(P_i)采用公式(1)计算:

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

式中: C_i 为贝类样品中第 i 个重金属元素实测含量, mg/kg; S_i 为该种贝类在不同标准中的限值, mg/kg。当 $P_i < 0.2$ 时, 说明该种重金属含量处于正常范围, 样本未受污染; $0.2 \leq P_i \leq 0.6$ 时, 说明样本处于轻污染水平; $0.6 < P_i < 1.0$ 时, 说明样本处于中度污染水平; $P_i \geq 1.0$ 时, 则说明样品中该种重金属严重超标, 样本已被重度污染^[14-17]。

1.4.2 两种贝类对人体健康风险的评估

人体健康风险评价公式可预测环境饮食污染可能对人体健康产生的有害影响, 包括致癌风险、致畸风险评估和暴露评估等, 常见评估方式有: 危险商数(hazard quotients, HQ)、每日饮食指数(dietary diversity index, DDI)、每日重金属摄入量(daily metal intake, DIM)、健康风险指数(health risk appraisal, HRI)、目标危险系数(target hazard quotient, THQ)、终生癌症风险增加指数(incremental lifetime cancer risk, ILCR)等。不同评价公式侧重点不同, 各个公式适用条件不一样, 考虑到在暴露频率、暴露时间和平均体重等参数的影响, 本研究选用 THQ, 可同时评估人体通过摄取贝类食物中所含的多种元素: Pb、Cd、Cr、

Cu 这 4 种重金属元素所造成的健康风险水平^[18-21], 按公式(2)计算:

$$THQ = \frac{EF \times ED \times FIR \times c \times 10^{-3}}{RFD \times WAB \times TA} \quad (2)$$

式中: EF 为人群暴露频率(每年 365 d), exposure frequency; ED 为暴露区间, exposure dose, 以 75 年计; FIR 为食物摄取率, food intake rate, 根据联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)的统计数据, 软体类为每人每天 30 g; c 为测得贝类样品中的重金属含量(mg/kg); RFD 为每日参考剂量, reference dose, 查阅美国国家环境保护局(United States Environmental Protection Agency, USEPA)官方网站, 每日推荐安全剂量通常以参考剂量(RFD)的形式给出(USEPA 设定的 RFD 为: Pb: 0.004 mg/kg; Cd: 0.001 mg/kg; Cr: 0.003 mg/kg; Cu: 0.04 mg/kg); WAB 为成人平均体重(成人 55.9 kg), average adult weight; TA 为非致癌性暴露的平均时间($365 \times ED$)。假定人体摄入量全部吸收, 以计算的摄入量与参考剂量之比作为评价标准, 当比值大于 1 时, 表明通过贝类食物进入人体的重金属风险较高, 可能会影响到人体健康, 并且数值越大健康风险越高。对一种贝类来说, 总危害系数(total target hazard quotient, TTHQ)等于参与评估各元素的危害系数之和: $TTHQ = THQ(\text{重金属 } 1) + THQ(\text{重金属 } 2) + \dots + THQ(\text{重金属 } n)$ ^[22-25]。

1.5 数据处理

每个样品在重复性条件下获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 20%, 数据分析采用 Origin 2017 和 Excel 2019 软件, 评价结果的污染物暴露量及其危害风险。

2 结果与分析

2.1 两种贝类不同月份重金属元素含量

在全年不同月份, 对虾夷贝和赤贝体内可食用部分(内窥镜和生殖腺)的湿样进行检测, 每份样品重复性测定 3 次取平均值, 并根据平均值计算变异系数(coefficient of variation, CV)评估数据的波动情况。根据表 2 和表 3 可以看出, 其中虾夷贝样品中重金属 Cd 的含量随月份的变化波动最大, 在 3 月达到最高值, 4 月、5 月持续高含量, 随即降低, 而后的几个月份重金属含量随月份的变化差别较小。重金属铜 Cu 在 3 月、4 月、10 月均较为大幅高于其他月份。重金属 Cr 和 Pb 元素的含量变化趋势不明显, 全年并未发现随月份变化数值变化明显现象。赤贝体样品中重金属 Cr 的含量随月份变化波动最大, 重金属 Cd 和 Cr 的含量 3 月 4 月为最高峰, 重金属 Cu 在 5 月达到最高峰, 其余月份未检明显变化规律, 重金属 Pb 元素的含量变化趋势不明显。

表 2 不同月份虾夷贝体内重金属元素检测结果(mg/kg)

Table 2 Detection results of heavy metal elements in *Mizuhopecten yessoensis* in different months (mg/kg)

月份	Pb		Cd		Cr		Cu	
	含量范围	平均值	含量范围	平均值	含量范围	平均值	含量范围	平均值
1	0.051~0.092	0.067	0.345~1.820	0.954	0.112~0.198	0.144	0.185~2.380	1.550
2	0.120~0.211	0.178	0.981~3.800	1.952	0.121~0.206	0.170	1.900~3.520	2.966
3	0.080~0.405	0.204	1.460~4.500	3.009	0.097~0.317	0.201	1.950~8.330	5.227
4	0.058~0.199	0.091	1.330~3.710	2.478	0.103~0.166	0.126	1.590~6.230	4.092
5	0.065~0.388	0.152	1.130~3.050	2.091	0.119~0.202	0.159	1.820~6.750	3.778
6	0.072~0.193	0.106	0.451~2.890	1.924	0.103~0.175	0.138	1.540~3.750	2.014
7	0.080~0.145	0.098	0.985~1.370	1.038	0.143~0.182	0.166	1.620~3.050	1.983
8	0.051~0.105	0.073	0.765~1.650	0.982	0.124~0.171	0.139	1.920~5.780	3.690
9	0.072~0.252	0.106	0.833~2.010	1.110	0.089~0.213	0.187	1.880~4.310	2.209
10	0.082~0.211	0.113	0.655~1.870	0.996	0.115~0.200	0.154	1.760~10.80	6.768
11	0.062~0.135	0.102	1.050~2.390	1.271	0.121~0.225	0.174	1.550~3.780	1.954
12	0.088~0.106	0.092	0.921~1.900	1.232	0.109~0.196	0.160	1.620~3.910	2.163
CVs/%		32		33		12		44

表 3 不同月份赤贝体内重金属元素检测结果(mg/kg)

Table 3 Detection results of heavy metal elements in *Anadara broughtonii* in different months (mg/kg)

月份	Pb		Cd		Cr		Cu	
	含量范围	平均值	含量范围	平均值	含量范围	平均值	含量范围	平均值
1	0.009~0.033	0.016	0.190~0.705	0.335	0.120~0.133	0.125	0.470~1.480	0.988
2	0.011~0.052	0.039	0.182~0.633	0.303	0.115~0.205	0.149	0.454~1.270	0.965
3	0.005~0.070	0.044	0.192~1.920	1.050	0.185~1.560	0.544	0.265~2.300	1.427
4	ND~0.055	0.025	0.388~1.520	0.854	0.105~0.237	0.198	0.525~2.960	1.494
5	ND~0.055	0.026	0.170~1.250	0.587	0.119~0.282	0.152	0.420~3.050	1.509
6	0.009~0.042	0.022	0.181~0.988	0.407	0.110~0.165	0.139	0.535~1.670	1.038
7	0.015~0.033	0.029	0.265~1.050	0.621	0.095~0.173	0.147	0.665~1.320	0.985
8	0.010~0.036	0.019	0.269~1.090	0.985	0.151~0.226	0.196	0.430~1.270	0.977
9	0.012~0.049	0.020	0.170~0.981	0.417	0.085~0.230	0.126	0.521~2.050	1.282
10	0.009~0.037	0.017	0.122~0.965	0.405	0.107~0.303	0.220	0.489~1.980	1.088
11	0.006~0.041	0.028	0.106~0.781	0.457	0.109~0.362	0.149	0.625~1.770	1.204
12	0.010~0.061	0.035	0.200~1.300	0.857	0.089~0.221	0.108	0.543~1.920	1.051
CVs/%		33		41		71		17

注: ND 表示未检出。

2.2 贝类中不同重金属元素的单项污染指数

根据单因子污染指数法, 计算了贝类体内重金属单项污染指数, 见表 4、表 5。依据 GB 2762—2022 评价时, 对于重金属 Pb 两种贝类全年均处于正常范围, 未受污染; 对于重金属 Cr, 赤贝在 3 月处在轻度污染; 对于重金属 Cd, 虾夷贝在 3—5 月均处在重度污染中, 2 月、6 月、11、12 月在中度污染中, 其他月份也在轻度污染中; 赤贝在 3、4 月份, 及 8 月及 12 月时处在轻度污染中, 其余月份显示未受污染。依据 NY 5073—2006 评价时, 对于重金属 Cu, 两种贝类全年均处于正常范围, 未受污染; 对于重金属 Pb, 虾夷贝在 3 月处在轻度污染; 对于重金属 Cd, 虾夷贝在

2—7 月以及 9 月和 11、12 月均处在重度污染中, 其他月份在中度污染中; 赤贝在 3 月也处在重度污染中, 4、7、8、12 月处在轻度污染, 其他月份处在轻度污染水平。

2.3 两种贝类食用安全性评价结果

由表 6 和表 7 可以看出, 通过计算 THQ, 评估出食用两种贝类所造成的健康风险水平, 在 3—5 月食用虾夷贝均存在健康风险, 2 月和 6 月也有较低风险存在。TTHQ 值超过 1 的数值主要有重金属 Cd 提供, 其余元素 THQ 值均在较低水平, 对 TTHQ 数值影响较小。从赤贝的 THQ 和 TTHQ 数值来看, 赤贝全年均处在食用安全数值之内, 存在健康风险较低。

表 4 贝类中不同重金属元素的单项污染指数元素 P_i 值(依据 GB 2762—2022)Table 4 Single pollution index element P_i values of different heavy metal elements in shellfish samples (according to GB 2762—2022)

月份	Pb		Cd		Cr	
	虾夷贝	赤贝	虾夷贝	赤贝	虾夷贝	赤贝
1	0.045	0.011	0.477	0.168	0.072	0.063
2	0.119	0.026	0.975	0.152	0.085	0.075
3	0.136	0.029	1.550	0.525	0.101	0.272
4	0.061	0.017	1.240	0.427	0.063	0.098
5	0.101	0.017	1.040	0.294	0.080	0.075
6	0.070	0.014	0.959	0.204	0.069	0.070
7	0.066	0.019	0.525	0.311	0.083	0.073
8	0.049	0.013	0.491	0.492	0.070	0.098
9	0.071	0.013	0.555	0.208	0.094	0.063
10	0.075	0.011	0.498	0.202	0.077	0.110
11	0.068	0.019	0.635	0.228	0.087	0.075
12	0.061	0.023	0.615	0.428	0.080	0.054

表 5 贝类中不同重金属元素的单项污染指数元素 P_i 值(依据 NY 5073—2006)Table 5 Single pollution index element P_i values of different heavy metal elements in shellfish samples (according to NY 5073—2006)

月份	Pb		Cd		Cu	
	虾夷贝	赤贝	虾夷贝	赤贝	虾夷贝	赤贝
1	0.067	0.016	0.954	0.335	0.031	0.020
2	0.178	0.039	1.950	0.303	0.059	0.019
3	0.204	0.044	3.100	1.050	0.105	0.029
4	0.091	0.025	2.480	0.854	0.082	0.030
5	0.152	0.026	2.090	0.587	0.075	0.030
6	0.106	0.022	1.920	0.407	0.040	0.021
7	0.099	0.029	1.040	0.621	0.040	0.020
8	0.074	0.019	0.982	0.985	0.074	0.020
9	0.106	0.020	1.110	0.417	0.044	0.026
10	0.113	0.017	0.996	0.405	0.135	0.022
11	0.102	0.028	1.270	0.457	0.039	0.024
12	0.092	0.035	1.230	0.857	0.043	0.021

表 6 不同月份虾夷贝中重金属元素的 THQ

Table 6 THQ of heavy metals in *Mizuhopecten yessoensis* in different months

月份	THQ				TTHQ
	Pb	Cd	Cr	Cu	
1	0.010	0.477	0.024	0.020	0.531
2	0.025	0.975	0.028	0.037	1.065
3	0.029	1.550	0.034	0.065	1.678
4	0.013	1.240	0.021	0.051	1.325
5	0.022	1.045	0.027	0.047	1.141
6	0.015	0.959	0.023	0.025	1.023
7	0.014	0.525	0.028	0.025	0.592
8	0.011	0.491	0.023	0.046	0.571
9	0.015	0.555	0.031	0.028	0.629
10	0.016	0.498	0.026	0.085	0.625
11	0.015	0.635	0.029	0.024	0.703
12	0.013	0.615	0.027	0.027	0.682

表 7 不同月份赤贝中重金属元素的 THQ
Table 7 THQ of heavy metals in *Anadara broughtonii* in different months

月份	THQ				TTHQ
	Pb	Cd	Cr	Cu	
1	0.002	0.168	0.021	0.012	0.203
2	0.006	0.152	0.025	0.012	0.195
3	0.006	0.525	0.091	0.018	0.640
4	0.004	0.427	0.033	0.019	0.483
5	0.004	0.293	0.025	0.019	0.342
6	0.003	0.204	0.023	0.013	0.243
7	0.004	0.311	0.025	0.012	0.352
8	0.003	0.493	0.033	0.012	0.541
9	0.003	0.209	0.021	0.016	0.249
10	0.002	0.203	0.037	0.014	0.256
11	0.004	0.229	0.025	0.015	0.273
12	0.005	0.429	0.018	0.013	0.465

3 讨论与结论

通过一年时间监测两种贝类体内重金属含量的数值发现, 虾夷贝体内重金属 Cd 的含量随月份的变化 3 月达到最高值, 4 月、5 月持续高含量, 而后的几个月份重金属含量随月份的变化差别较小。重金属 Cu 在 3 月、4 月、10 月均较为明显高于其他月份。重金属 Cr 和 Pb 元素的含量变化趋势不明显, 全年并未发现随月份变化数值变化明显现象。赤贝体内重金属 Cd 的含量 3 月 4 月为最高峰, 其余月份未检明显变化规律, 其余重金属元素 Cr、Cu、和 Pb 重金属的含量随时间、季节的变化未检明显变化规律。在对贝类的监督抽检中发现, 每年 3—6 月份, 是贝类重金属污染物检出的高发期, 考虑原因可能是由两方面原因造成: 一是 3—4 月份气温回暖, 大量季节性积雪融化及陆源入海水质情况不容乐观, 导致此段时间近海水质受到重金属污染^[26]。另一个原因是由于双壳贝类通过过滤大量海水摄取浮游植物和有机颗粒, 对重金属有较强的吸附积累能力, 最终富集在生物体内。由于气温回升, 贝类进入快速生长繁殖期, 根据 GB 2762—2022 中贝类样品的要求是仅去除内脏, 但不包括性腺, 随着温度升高, 贝类进入繁殖期生殖腺高度发育, 生殖腺中重金属元素含量要远高于内窥镜^[27-28], 导致整体重金属含量较其他季节增高。考虑是这两个原因造成此段时间内贝类体内富集的重金属污染物较多的原因, 同时虾夷贝重金属污染较为严重的原因可能与它自身特性有关: 虾夷贝一般分布于底部比较坚硬、淤泥少的海区和水深不超过 40 m 的沿岸区, 正常生活的温度范围为: 5~23 °C, 15 °C 左右最适宜生长, 低于 5 °C 生长缓慢, 水温如果升高到 23 °C 时, 它的生活能力将开始减弱, 超过 25 °C 后很快就会停止生长^[29-30]。虾夷贝为滤食性贝类, 杂

食性, 摄食细小浮游动植物以及有机碎屑, 对食料性质无严格的选择性, 但对浮游动物的大小和生物的形态需选择, 只要大小合适, 易被滤食, 不管什么种类都可被食用, 繁殖季在每年的 3—4 月份, 水温 8 °C 左右。虾夷贝的这些特性决定了它容易富集重金属污染物^[31-32]。

虾夷贝体内重金属 Cd 的含量在 3 月到 5 月均值均超过国家食品安全标准的限量指标及无公害食品 水产品的限量指标, 重金属 Cu、铬 Cr、铅 Pb 全年检测数值均低于无公害食品水产品的限量指标。赤贝体内重金属 Cd 全年检测数值均低于 NY 5073—2006 的限量指标。通过评估食用两种贝类所造成的健康风险水平可知, 在 3—5 月食用虾夷贝会存在健康风险, 2 月和 6 月也有较低风险存在。赤贝全年均处在食用安全数值之内, 存在健康风险较低。

参考文献

- [1] 王璐, 许岩, 丁勇, 等. 大连地区贝类中铅和镉对人体健康的潜在风险评价[J]. 现代农业科技, 2022, 5(6): 187-191.
WANG L, XU Y, DING Y, *et al.* Potential risk assessment of lead and cadmium in shellfish to human health in Dalian area [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2022, 5(6): 187-191.
- [2] 吴艾琳, 罗书全, 赵怡楠, 等. 基于污染指数法对重庆市市售食品中重金属污染调查及评价[J]. 中国食品卫生杂志, 2021, 33(2): 175-180.
WU AIL, LU SQ, ZHAO YN, *et al.* Survey and evaluation of heavy metal pollution of food in Chongqing by contamination index method [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2021, 33(2): 175-180.
- [3] 张广帅, 闫吉顺, 吴婷婷, 等. 辽东湾近岸海域开发利用对海水环境质量的影响[J]. 海洋环境科学, 2021, 40(6): 947-954.
ZHANG GS, YAN JS, WU TT, *et al.* The impact of the development and utilization of the coastal areas of Liaodong Bay on the environmental quality of seawater [J]. Marine Environmental Science, 2021, 40(6):

- 947-954.
- [4] 孟春英, 张小军, 黄丽英, 等. 浙江沿海水产品无机砷和汞含量调查及膳食风险评估[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(9): 247-253.
MENG CY, ZHANG XJ, HUANG LY, *et al.* Investigation of inorganic arsenic and mercury contents in aquatic products and dietary risk assessment in coastal areas of Zhejiang Province [J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(9): 247-253.
- [5] 张雷, 赵文, 李宫科, 等. 辽宁沿海滩涂贝类资源调查及保护对策[J]. 中国水产, 2010(5): 26-27.
ZHANG L, ZHAO W, LI GK, *et al.* Investigation and protection countermeasures of mollusk resources in coastal beach of Liaoning Province [J]. China Fisheries, 2010(5): 26-27.
- [6] 季洪梅. 天然陶瓷生物贝壳中交叉叠片与珍珠质结构及其力学行为研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2022.
JI HM. Study on the structure and mechanical behavior of cross-laminate and nacre in natural ceramic biological shell [D]. Liaoning: Northeastern University, 2022.
- [7] 刘欢, 吴立冬, 李晋成, 等. 中国贝类产品重金属污染现状分析与评价[J]. 中国农学通报, 2013, 29(29): 75-81.
LIU H, WU DL, LI JC, *et al.* Analysis and evaluation of heavy metal pollution of shellfish products in China [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(29): 75-81.
- [8] 赵金泉, 于维森, 李景喜, 等. 青岛某养殖区贝类生物重金属富集季节变化[J]. 预防医学论坛, 2016, 3(22): 164-169.
ZHAO JQ, YU WS, LI JX, *et al.* Seasonal variation of heavy metals in shellfish of an aquaculture zone, Qingdao City [J]. Preventive Medicine Tribune, 2016, 3(22): 164-169.
- [9] 孙瑶, 苏明明, 徐杨. 电感耦合等离子体质谱法测定水产品暂养池用水中的重金属元素[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(2): 707-712.
SUN Y, SU MM, XU Y. Determination of heavy metal elements in the water of the temporary pond by inductively coupled plasma mass spectrometry method [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(2): 707-712.
- [10] 王涛. ICP-MS 法在食品多元素分析检测中的应用[J]. 食品科技, 2024, 16(36): 166-168.
WANG T. Application of ICP-MS method in multi-element analysis and detection of food [J]. Food Science and Technology, 2024, 16(36): 166-168.
- [11] 顾捷, 张小军, 梅光明, 等. 嵊泗养殖厚壳贻贝卫生监测及健康风险评估[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2020, 39(4): 365-371.
GU J, ZHANG XJ, MEI GM, *et al.* Health surveillance and health risk assessment of mussels cultured in Shengsi [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2020, 39(4): 365-371.
- [12] 霍苗苗. 沿海地区居民摄入水产品中重金属安全风险评价[D]. 天津: 天津科技大学, 2016.
HUO MM. Risk assessment of heavy metals in aquatic products consumption by coastal areas residents [D]. Tianjin: Tianjin Technology University, 2016.
- [13] 包家国, 张晓霞, 王卫民, 等. 海阳海域虾夷扇贝养殖技术研究[J]. 河北渔业, 2012(4): 23-24.
BAO JG, ZHANG XX, WANG WM, *et al.* Culture techniques of scallop *patinopecten yessoensis* in Haiyang sea area [J]. Hebei Fisheries, 2012(4): 23-24.
- [14] 傅志宇, 刘雨曦, 姜鹏飞, 等. 贝类重金属检测方法 & 风险评估研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2023(8): 315-321.
FU ZY, LIU YX, JIANG PF, *et al.* Research progress on detection methods and risk assessment of heavy metals in shellfish [J]. China Food Additives, 2023(8): 315-321.
- [15] 许道艳, 张悦, 于彩芬, 等. 我国黄海沿岸贝类重金属污染状况及健康风险评价[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(9): 65-71.
XU DY, ZHANG Y, YU CF, *et al.* Heavy metal pollution status and health risk assessment of shellfish along the coast of Huanghai Sea [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50(9): 65-71.
- [16] 刘冰, 王怡, 朱艳杰, 等. 膳食摄入水产品中重金属的风险评估[J]. 中国食品学报, 2021, 21(7): 267-274.
LIU B, WANG Y, ZHU YJ, *et al.* Risk assessment about the dietary intake of heavy metals in aquatic products [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(7): 267-274.
- [17] 牛兆澄. 基于食品重金属赋存水平的人群暴露及健康风险评估[D]. 兰州: 兰州大学, 2022.
NIU ZC. Human exposure and health risk assessment based on the occurrence level of heavy metals in food [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2022.
- [18] COPAT C, ARENA G, FIORE MJ, *et al.* Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: Consumption advisories [J]. Food and Chemical Toxicology, 2013, 53: 33-37.
- [19] 孟庆辉, 刘伟, 何辉, 等. 浙江沿海重点养殖区域主要贝类重金属监测分析及膳食暴露评估[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(3): 681-687.
MENG QH, LIU W, HE H, *et al.* Heavy metal monitoring analysis and dietary exposure assessment of major shellfish in key aquaculture areas of Zhejiang coast [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2023, 64(3): 681-687.
- [20] 姚雪漫, 张秋萍, 蒋建荣, 等. 动物性海产品中镉的健康风险评估的研究进展[J]. 预防医学论坛, 2022, 28(11): 872-875.
YAO XM, ZHANG QP, JIANG JR, *et al.* Research progress on health risk assessment of cadmium in animal seafood [J]. Preventive Medicine Tribune, 2022, 28(11): 872-875.
- [21] 顾捷, 张小军, 梅光明, 等. 嵊泗养殖厚壳贻贝卫生监测及健康风险评估[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2020, 39(4): 365-371.
GU J, ZHANG XJ, MEI GM, *et al.* Health surveillance and health risk assessment of mussels cultured in Shengsi [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2020, 39(4): 365-371.
- [22] 章誉兴, 唐启航, 李希航, 等. 贝类体内重金属的富集和消除[J]. 河北渔业, 2018, 9(015): 52-62.

- ZHANG YX, TANG QH, LI XH, *et al.* The accumulation and elimination of the heavy metals in shellfish, 2018, 9(015): 52–62.
- [23] 庞洁, 梁善范, 唐琼, 等. 2021—2023 年南宁市居民主要食品重金属污染健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 12(23): 215–222.
- PANG J, LIANG SF, TANG Q, *et al.* Health risk assessment of heavy metal contamination in main food of Nanning City residents during 2021 to 2023 [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2024, 12(23): 215–222.
- [24] 郑飞, 郭欣, 郭博洋, 等. 重金属污染评估及其生物健康效应[J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(9): 1264–1273.
- ZHENG F, GUO X, GUO BY, *et al.* Risk assessments and health impacts of heavy metal pollution [J]. *Scientia Sinica (Vitae)*, 2021, 51(9): 1264–1273.
- [25] 吕昭玮. 2023 年广东省市场销售水产品中镉、铅、铬元素污染情况评价分析[J]. 现代食品, 2024, 16(54): 183–186.
- LU ZW. Evaluation and analysis of cadmium, lead, and chromium pollution in aquatic products sold in Guangdong Province in 2023 [J]. *Modern Food*, 2024, 16(54): 183–186.
- [26] 钟金焯. 辽东湾近岸海域汞和甲基汞的污染水平、分布与风险评估[D]. 大连: 大连海洋大学, 2024.
- ZHONG JH. Pollution levels, distribution and risk assessment of mercury and methyl-mercury in Liaodong bay nearshore waters [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2024.
- [27] 徐家玉, 姜玖颜, 刘金婷, 等. 辽东湾菲律宾蛤仔肌肉和内脏中重金属浓度分布与健康风险评估[J]. 水产学杂志, 2021, 34(4): 22–26.
- XU JY, JIANG JK, LIU JT, *et al.* Distribution and health risk assessment of heavy metal concentrations in muscle and viscera of Philippine clam in Liaodong Bay [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2021, 34(4): 22–26.
- [28] 许泽勇, 刘国宏, 陈高云, 等. 电感耦合等离子体质谱分析生物样品的研究进展[J]. 分析化学, 2022, 50(12): 1804–1812.
- XU ZY, LIU GH, CHEN GY, *et al.* Research progress in the analysis of biological samples by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2022, 50(12): 1804–1812.
- [29] ZHANG A, WANG L, ZHAO S, *et al.* Heavy metals in seawater and sediments from the Northern Liaodong Bay of China: Levels, distribution and potential risks [J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2017, 11: 32–42.
- [30] 张荣昶. 青岛市市售海产品中镉、汞、砷的污染状况及居民暴露风险评估[D]. 青岛: 青岛大学, 2020.
- ZHANG RC. Pollution status of Cd, Hg and As in marine products sold in Qingdao and residents' exposure risk assessment [D]. Qingdao: Qingdao University, 2020.
- [31] 王萧, 张文思, 迟光希, 等. 辽东湾及其附近海域重金属污染研究进展[J]. 环境化学, 2019, 38(10): 2317–2326.
- WANG X, ZHANG WS, CHI GX, *et al.* The heavy metals contamination in Liaodong Bay and its adjacent waters [J]. *Environmental Chemistry*, 2019, 38(10): 2317–2326.
- [32] 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]. *Chinese Fishery Quality and Standards*, 2020, 10(4): 1–25.

(责任编辑: 韩晓红 安香玉)