

## ◆海洋科学◆

涠洲岛海域重金属质量状况及评价<sup>\*</sup>梁千千<sup>1</sup>, 刘熊<sup>2</sup>, 徐轶肖<sup>3</sup>, 张腾<sup>3</sup>, 雷富<sup>1\*\*</sup>, 陈丽雯<sup>1</sup>, 黄晓煦<sup>1</sup>, 戴圣生<sup>4\*\*</sup>

(1. 广西科学院北部湾海洋研究中心, 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西海洋天然产物与组合生物合成化学重点实验室, 广西南宁 530007; 2. 防城港市海域使用动态监管中心, 广西防城港 538001; 3. 南宁师范大学, 广西地表过程与智能模拟重点实验室, 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西南宁 530001; 4. 广西科学院, 广西南宁 530007)

**摘要:**本研究拟分析评价广西涠洲岛海域海水和表层沉积物中的重金属(铜、铅、锌、镉、铬、汞)污染情况, 为该海域环境保护和可持续发展提供科学依据。实验于2018年12月和2019年6月采集涠洲岛海域8个站位水质和7个表层沉积物样品, 利用原子吸收光谱和DMA-80型直接测汞仪测定重金属含量, 分析评价水质和表层沉积物受重金属污染程度。结果表明, 调查海域海水重金属平均含量均未超过海水水质一类标准限值, 夏季部分站位Pb和Zn含量超标, 海水中的重金属污染程度为Pb>Zn>Hg>Cu>Cd>Cr; 表层沉积物重金属综合污染程度和潜在生态风险均较低, 重金属污染指数大小为Cd>Cr>Zn>Cu>Pb=Hg, 重金属对海洋生态系统潜在危害的影响程度为Cd>Hg>Cr>Pb>Cu>Zn, 该海域沉积物中主要潜在生态风险因子为Cd和Hg。总体来说, 涠洲岛海域重金属污染属于低污染水平。

**关键词:**涠洲岛 重金属 海水 沉积物 污染评价

中图分类号: X82 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2021)02-0136-09

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20210609.004

## 0 引言

涠洲岛位于广西北部湾海域中部, 北临广西北海市, 东望雷州半岛, 南与海南岛隔海相望, 西面与越南毗邻, 是全球25个海洋生态环境研究热点之一。由于远离大陆, 受工业影响小, 涠洲岛周边海域一直保

持着良好的生态环境。但随着北部湾经济的快速发展, 近年来涠洲岛旅游业、工业、运输业迅猛发展, 近岸海域重金属污染愈加严重。重金属具有生物富集、生物累积及难降解等特点<sup>[1]</sup>, 明确重金属污染程度对海区环境资源保护有重要意义。

目前, 已有学者调查分析涠洲岛水体和沉积物中

<sup>\*</sup> 广西近海海洋环境科学重点实验室自主研究课题(18A0303), 国家自然科学基金(41976155), 广西自然科学基金(2020GXNSFDA297001), 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室和广西地表过程与智能模拟重点实验室开放基金(GTEU-KLOP-K1803)资助。

## 【作者简介】

梁千千(1997-), 女, 研究实习生, 主要从事海洋环境调查和研究, E-mail: 1121846164@qq.com。

## 【\*\*通信作者】

雷富(1975-), 男, 副研究员, 主要从事海洋环境研究和监测工作, E-mail: smallfoxlf@sohu.com; 戴圣生(1968-)男, 工程师, 主要从事项目策划、管理和科技开发, E-mail: 370127358@qq.com。

## 【引用本文】

梁千千, 刘熊, 徐轶肖, 等. 涠洲岛海域重金属质量状况及评价[J]. 广西科学, 2021, 28(2): 136-144.

LIANG Q Q, LIU X, XU Y X, et al. Quality Status and Evaluation of Heavy Metals in the Sea around Weizhou Island [J]. Guangxi Sciences, 2021, 28(2): 136-144.

的重金属含量<sup>[2-4]</sup>,但缺乏对同一空间内海域水体、沉积物重金属的含量分布和污染程度评价的研究。邱绍芳<sup>[2]</sup>根据1990年春秋两季的监测结果,发现涠洲岛附近海域的pH值、溶解氧和化学需氧量浓度分布均匀,水质较好,油类和重金属的含量均低于一类海水标准,无超标现象,水质环境无污染;梁鑫等<sup>[3]</sup>于2013至2016年在涠洲岛珊瑚礁海域进行水质调查,发现涠洲岛珊瑚礁海域水质大部分符合国家一类海水水质标准,涠洲岛海域水体未出现显著的污染,但悬浮物含量持续偏高;谢谊等<sup>[4]</sup>通过分析2014年涠洲岛沉积物重金属元素含量(Cu、Pb、Zn、Cd、Cr),发现该海域重金属污染程度处于低水平,污染程度较广西沿海其他海域低,属于清洁水平。

本研究以2018年12月和2019年6月在涠洲岛附近海域的调查资料为基础,分析讨论重金属Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg在涠洲岛附近海域海水和表层沉积物含量状况和分布特征,以便更清楚地认识该海域环境重金属污染状况,为该海域环境保护和可持续发展提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 站位布设

研究于2018年12月和2019年6月在涠洲岛附近海域各进行一次航次调查,共设置8个海水采集站位,7个沉积物采集站位,采样站位如图1所示。

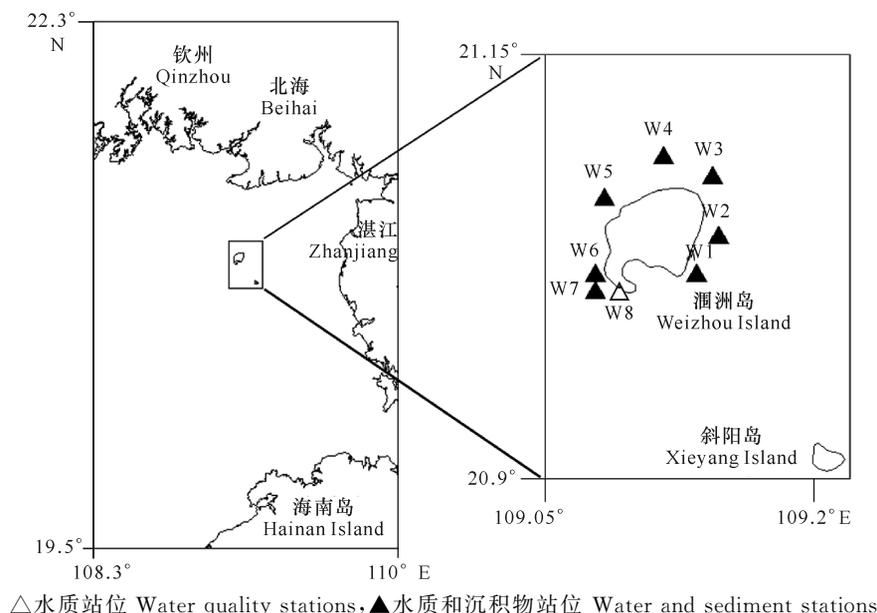


图1 采样站位

Fig.1 Sample stations

### 1.2 采样及样品处理

使用 $2.5\text{ dm}^3$ 有机玻璃采水器采集每站点的表、底层海水,测样后取平均值作为海水重金属含量分析。具体方法如下:采集海水样品,水样用 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 醋酸纤维滤膜(滤膜用稀硝酸浸泡24 h,并洗净)过滤,收集300 mL滤液于聚乙烯瓶(测定Cu、Pb、Zn、Cd、Cr含量)、250 mL滤液于小口棕色玻璃瓶(测定Hg含量),分别加入硝酸和硫酸(优级纯)酸化至pH值 $< 2$ ,低温冷藏带回实验室。然后按照下述步骤进行测定:①准确量取50 mL过滤的水样于比色管中,加入1滴溴甲酚绿指示液,用盐酸和氨水调至溶液呈蓝色(pH值为5-6),加入5 mL醋酸铵、吡咯烷二硫代甲酸铵(APDC)和二乙氨基二硫代甲酸钠

(DDDC)的混合液进行整合,用10 mL MIBK-环己烷萃取分离,取有机相于各元素的特征波长下测定Cu、Pb、Zn、Cd、Cr的含量;②量取0.1 mL样品,于直接测汞仪中测定Hg含量。

表层沉积物用抓斗式采泥器采集,取其中未受干扰的表层泥样于聚乙烯袋中保存。待测的Cu、Pb、Zn、Cd和Cr样品在 $(105 \pm 1)^\circ\text{C}$ 烘箱内烘干,用玛瑙研钵将其磨碎并全部通过160目筛,充分混匀后取样备用;待测的Hg样品经自然风干后研磨,过80目筛,充分混匀后取样备用。称取 $(0.2 \pm 0.002)\text{ g}$ 待测的沉积物样品、近海沉积物标准样品和空白样于消解瓶中,加入4 mL硝酸、2 mL盐酸和1 mL氢氟酸,用微波消解法消解2 h,冷却后取出赶酸至1 mL,

将溶液及残渣全量转入 25 mL 具塞比色管中,用超纯水稀释至标线,混匀,上清液按选定的仪器参数测定重金属 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr 的吸光值。

海水和表层沉积物重金属含量的测定方法均依据《海洋监测规范》<sup>[5]</sup>要求进行,Cu、Pb、Cd、Cr 含量采用无火焰原子吸收法测定,Zn 含量采用火焰原子吸收法测定(PerkinElmer Analyst 800),具体的仪器测样参数见表 1;Hg 含量采用直接测汞法测定(莱伯泰科 DMA-80 直接测汞仪)。所有样品均制备 2 组平行样,取平均值,同时做试剂空白对照,并以标准溶液进行质量控制。实验所用玻璃器皿均用(1+3)硝酸浸泡至少 24 h 以上,并用电阻率为 18.2 MΩ·cm 的超纯净水反复冲洗,所使用的 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg 单元素标准溶液均由国家标准物质研究中心提供。质量控制所用的海水标准物质和沉积物标准物质均由国家海洋局第二海洋研究所标准物质中心提供,海水和沉积物的检出限及一类标准限值见表 2。

表 1 原子吸收法测定参数

Table 1 Determination of parameters by atomic absorption spectrometry

元素 Element	波长 Wave-length (nm)	电流 Electric current (mA)	狭缝 Slits (mm)
Cu	324.8	15	0.7H
Pb	283.3	10	0.7H
Cd	228.8	4	0.7H
Cr	357.9	15	0.7H
Zn	213.9	240	0.7H

表 2 海水和沉积物的检出限及一类标准限值

Table 2 Detection limits and class I standard limits of seawater and sediment

元素 Element	海水 Seawater		沉积物 Sediments	
	检出限 Detection limit (mg/L)	一类标准限值 Class I standard (mg/L)	检出限 Detection limit (mg/kg)	一类标准限值 Class I standard (mg/kg)
Cu	0.000 2	0.005	0.50	35.0
Pb	$0.03 \times 10^{-3}$	0.001	1.0	60.0
Zn	$3.1 \times 10^{-3}$	0.020	6.0	150.0
Cd	$0.01 \times 10^{-3}$	0.001	0.040	0.50
Cr	$0.4 \times 10^{-3}$	0.05	2.0	80.0
Hg	$0.007 \times 10^{-3}$	0.000 05	0.002	0.20

### 1.3 评价方法

#### 1.3.1 海水水质

海水水质采用单因子污染系数( $C_f^i$ )评价<sup>[6,7]</sup>,以《海水水质标准》<sup>[8]</sup>的一类标准限值(表 2)作为评价标准,当  $C_f^i \leq 1$  时,表示重金属含量在标准范围内;当  $C_f^i > 1$  时,表示重金属含量超出标准。

单因子污染系数按下式进行计算:

$$C_f^i = C_s^i / C_n^i,$$

式中, $C_s^i$  为第  $i$  测站重金属含量的实测值, $C_n^i$  采用一类重金属含量的标准限值。

#### 1.3.2 沉积物

沉积物样品的分析采用瑞典科学家 Hakanson 提出的潜在生态危害指数法(PERI)<sup>[9]</sup>,该方法不仅包括单因子污染系数( $C_f^i$ )评价<sup>[6,7]</sup>,而且引入了重金属的毒性响应系数,将二者综合后评价重金属对生态环境的危害,该方法简便、快速且较为准确。以《海洋沉积物质量》<sup>[10]</sup>的一类标准限值(表 2)作为评价标准,潜在生态危害指数法的计算方法<sup>[11,12]</sup>如下所述。

沉积物中多种重金属的综合污染效应通过综合污染指数  $C_d$  来表征,计算公式为

$$C_d = \sum_i^6 C_f^i,$$

式中, $C_d$  是综合污染指数,是沉积物多种重金属单因子污染系数之和; $C_f^i$  为单因子污染系数。本文选用前述的 6 种重金属元素 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr 和 Hg 来评价沉积物中重金属的综合污染情况。

某单个重金属的潜在生态风险系数( $E_r^i$ )为

$$E_r^i = T_f^i \times C_f^i,$$

式中, $T_f^i$  为重金属的毒性响应系数,反映重金属的毒性水平与生物对其污染的敏感程度<sup>[12]</sup>; $C_f^i$  为单因子污染系数。Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg 的毒性响应系数分别为 5,5,1,30,2,40<sup>[13]</sup>。

沉积物中多种重金属的潜在生态风险指数(RI)为

$$RI = \sum_i^n E_r^i.$$

$C_f^i$ 、 $C_d$ 、 $E_r^i$ 、RI 值所对应的污染程度及潜在生态风险分级<sup>[12]</sup>如表 3,4 所示。

某一重金属元素各站  $E_r^i$  的平均值除以各站 RI 的平均值,可以算出该重金属元素对 RI 的总体贡献。

表 3  $C_f^i, C_d$  与污染程度的关系Table 3 Relationship between  $C_f^i, C_d$  and pollution degree

指数 Index	变化范围 Range of variation	污染程度分级 Pollution degree
$C_f^i$	$C_f^i < 1$	低污染 Low
	$1 \leq C_f^i < 3$	中污染 Middle
	$3 \leq C_f^i < 6$	较高污染 Superlor
	$C_f^i \geq 6$	很高污染 Supreme
$C_d$	$C_d < 6$	低污染 Low
	$6 \leq C_d < 12$	中污染 Middle
	$12 \leq C_d < 24$	较高污染 Superlor
	$C_d \geq 24$	很高污染 Supreme

表 4  $E_r^i, RI$  与潜在生态风险的关系Table 4 Relationship between  $E_r^i, RI$  and potential ecological risk

指数 Index	变化范围 Range of variation	潜在生态风险分级 Potential ecological risk classification
$E_r^i$	$E_r^i < 25$	轻微 Slight
	$25 \leq E_r^i < 50$	中等 Middle
	$50 \leq E_r^i < 100$	强 Powerful
	$100 \leq E_r^i < 200$	很强 Fortissimo
	$E_r^i \geq 200$	极强 Pole-strength
$RI$	$RI < 110$	低 Low
	$110 \leq RI < 220$	中 Liddle
	$220 \leq RI < 440$	较高 Superlor
	$RI \geq 440$	很高 Supreme

## 2 结果与分析

### 2.1 海水中重金属含量的分布特征与污染评价

#### 2.1.1 海水中重金属含量的分布特征

调查结果显示, 涠洲岛 2018 年冬季海水中重金属的含量均值从高到低为  $Zn > Cu > Pb > Cr > Cd > Hg$ , 2019 年夏季海水中重金属的含量从高到低为  $Zn > Cu > Pb > Cd > Hg > Cr$  (表 5)。冬、夏两个季度中, Cd、Cr 和 Hg 重金属浓度差别不大, 浓度分布较均匀; 研究海域 Cu、Pb、Zn 含量夏季高于冬季, 这可能与夏季雨水多, 大气中的重金属随着雨水沉降于海水中使其含量增加有关。两个季度重金属含量最高值均出现在涠洲岛南面海域, 涠洲岛南面是涠洲岛旅游客运业最发达、居民较集中的地方, 受人类活动的影响相对明显。生活区内含重金属的废弃物堆积, 废

水污水的不规范排放, 加上涠洲岛南面地势低于北面的特点, 从而造成涠洲岛南面海域的重金属污染较高于北面。

表 5 海水中重金属的含量 ( $\mu\text{g/L}$ )Table 5 Contents of heavy metals in seawater ( $\mu\text{g/L}$ )

季节 Season	站位 Station	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg
冬季 Winter	W1	0.79	0.35	8.95	0.05	ND	0.02
	W2	0.61	0.15	4.02	0.07	0.21	0.01
	W3	1.13	0.07	6.07	0.09	0.15	0.03
	W4	0.32	0.77	2.67	0.06	0.13	ND
	W5	0.88	0.45	3.86	0.03	0.17	ND
	W6	0.17	0.42	7.60	0.04	0.22	ND
	W7	0.30	0.30	0.99	0.10	0.16	ND
均值 Average		0.60	0.36	4.88	0.06	0.15	0.01
夏季 Summer	W1	1.19	0.42	11.67	0.09	ND	0.02
	W2	1.94	1.27	30.55	0.13	ND	0.04
	W3	0.99	0.70	7.83	0.09	ND	0.03
	W4	1.42	1.29	9.32	0.09	ND	0.03
	W5	2.22	1.00	10.76	0.07	ND	0.02
	W6	4.81	1.10	9.92	0.31	ND	0.02
	W7	1.20	0.86	8.88	0.10	ND	0.03
均值 Average		1.97	0.95	12.70	0.13	ND	0.03

注: ND 表示未检出

Note: ND indicates not detected

#### 2.1.2 海水中重金属污染评价

从表 6 可见, 2018 年冬季海水中重金属元素 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg 污染程度由高到低为  $Pb > Zn > Hg > Cu > Cd > Cr$ , 各重金属的平均单因子污染系数均小于 1, 符合国家一类海水水质标准; 2019 年夏季重金属污染程度由高到低为  $Pb > Zn > Hg > Cu > Cd > Cr$ , 6 种重金属元素的平均单项污染指数均小于 1, 符合国家一类海水水质标准。通过两个季度数据对比来看, 海水重金属污染程度由高到低为  $Pb > Zn > Hg > Cu > Cd > Cr$ , 涠洲岛海域海水重金属平均含量均未超过一类标准限值。其中, 2019 年夏季水体重金属浓度高于 2018 年冬季。调查显示, 夏季 Pb 和 Zn 超标, 就地理位置而言, Pb 超标发生在涠洲岛西面、北面和东面海域, Zn 超标发生在涠洲岛的东南面海域, 这与前人研究结果基本一致<sup>[14]</sup>。旅游客运业、油气开采及原油运输船污水违规排放, 使得相当数量的重金属通过废气、废水、废渣进入环境; 如橡胶轮胎的磨损、煤的燃烧、汽油中的抗爆剂四

乙基铅在汽油燃烧过程中铅随汽车排出的废气进入大气等,可能是导致重金属超标的主要原因。

表 6 海水中各种重金属的污染系数

Table 6 Pollution coefficient of heavy metals in seawater

元素 Element	冬季 Winter		夏季 Summer	
	变化范围 Range of variation	均值 Average	变化范围 Range of variation	均值 Average
Cu	0.00 - 0.39	0.11	0.00 - 1.07	0.35
Pb	0.00 - 1.22	0.38	0.34 - 1.89	0.93
Zn	0.00 - 0.58	0.19	0.40 - 2.66	0.63
Cd	0.01 - 0.18	0.07	0.06 - 0.38	0.12
Cr	0.00 - 0.01	0.004	0.00 - 0.00	0.00
Hg	0.00 - 0.53	0.12	0.10 - 0.82	0.47

## 2.2 表层沉积物中重金属含量的分布特征与污染评价

### 2.2.1 表层沉积物中重金属含量的分布特征

冬季海域表层沉积物中的重金属平均含量由高到低为  $Zn > Cu > Cr > Pb > Cd > Hg$ , 夏季重金属平均含量由高到低为  $Cr > Zn > Pb > Cu > Cd > Hg$  (表 7)。以《海洋沉积物质量》<sup>[10]</sup> 一类标准限值作为评价标准, 涠洲岛海域表层沉积物重金属平均含量均未超过一类标准限值。

表 8 表层沉积物重金属的污染状况

Table 8 Pollution status of heavy metals in surface sediments

时间 Time	站位 Station	$C_f^i$						$C_d$	污染程度分级 Pollution degree classification
		Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg		
冬季 Winter	W1	ND	0.10	0.03	0.13	0.03	0.20	0.49	低 Low
	W2	0.06	0.03	0.06	0.15	0.09	0.10	0.49	低 Low
	W3	0.04	0.04	0.08	0.33	0.07	0.10	0.66	低 Low
	W4	0.16	0.21	0.19	0.90	0.20	0.10	1.76	低 Low
	W5	0.03	0.04	0.04	0.13	0.05	0.15	0.44	低 Low
	W6	0.79	0.05	0.34	0.96	0.05	0.10	2.29	低 Low
	W7 均值 Average	0.05	0.08	0.11	0.17	0.05	0.10	0.56	低 Low
夏季 Summer	W1	0.19	0.05	0.25	0.20	0.94	0.01	1.64	低 Low
	W2	0.07	0.05	0.12	0.24	0.51	0.02	1.02	低 Low
	W3	0.07	0.09	0.11	0.22	0.37	0.01	0.87	低 Low
	W4	ND	0.04	0.07	0.16	0.32	0.08	0.66	低 Low
	W5	0.03	0.06	0.09	0.16	0.41	0.03	0.78	低 Low

表 7 表层沉积物中重金属的含量( $\mu\text{g/g}$ )

Table 7 Contents of heavy metals in surface sediments

元素 Element	冬季 Winter		夏季 Summer	
	变化范围 Range of variation	均值 Average	变化范围 Range of variation	均值 Average
Cu	0.0 - 27.6	6.6	0.0 - 6.8	2.1
Pb	1.6 - 12.6	4.7	2.5 - 5.4	3.7
Zn	4.2 - 51.2	18.1	10.3 - 32.9	17.0
Cd	0.07 - 0.48	0.20	0.07 - 0.13	0.10
Cr	2.0 - 12.1	6.2	17.5 - 75.5	36.2
Hg	0.020 - 0.040	0.020	0.002 - 0.015	0.006

### 2.2.2 表层沉积物中重金属综合污染指数

从表 8 可看出, 2018 年冬季涠洲岛海域表层沉积物中重金属综合污染指数最大值出现在 W6 站,  $C_d$  为 2.29, 该季度重金属平均污染程度由高到低为  $Cd > Cu > Zn = Hg > Cr = Pb$ , 平均综合污染指数  $C_d$  为 0.97, 属于低污染海区; 2019 年夏季, 涠洲岛海域表层沉积物重金属综合污染指数最大值出现在 W1 站, 该季度重金属平均污染程度由高到低为  $Cr > Cd > Zn > Cu = Pb > Hg$ , 平均综合污染指数  $C_d$  为 0.91, 属低污染海区。本次调查, 涠洲岛海域表层沉积物综合质量状况较好, 综合污染指数  $C_d$  仅为 0.94, 污染水平为低污染, 沉积物的环境质量状况良好。

续表 8

Continued table 8

时间 Time	站点 Station	$C_f^i$						$C_d$	污染程度分级 Pollution degree classification
		Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg		
	W6	ND	0.08	0.07	0.26	0.40	0.02	0.83	低 Low
	W7	0.05	0.07	0.08	0.14	0.22	0.02	0.58	低 Low
	均值 Average	0.06	0.06	0.11	0.20	0.45	0.03	0.91	低 Low

注:ND 表示未检出

Note:ND indicates not detected

本次调查,重金属综合污染指数最大值均出现涠洲岛南湾口西面的 W6 站,该处距离南湾口较近,污染原因可能一是在涨退潮过程中,南湾中各种生活和船只排放污水由于潮水作用迁移至此所致;二是该处为旅游风景区,游艇废水的直接排放可能会导致污染指数偏高。

从污染程度高低的角度看,冬、夏季涠洲岛海域表层沉积物重金属含量平均值从高到低为  $Cd > Cr > Zn > Cu > Pb = Hg$ 。从时间污染程度来看,整个调查海域重金属污染状况为 2018 年冬季高于 2019 年夏季。而前文分析得出,研究海域 2019 年夏季水体重金属的浓度高于 2018 年冬季,这与沉积物中的情况相反,可能与沉积物和海水重金属之间的沉积响应时间差有关。

### 2.2.3 表层沉积物中重金属潜在生态风险

从总体污染程度上看,该海域的重金属潜在生态风险指数  $RI$  为 6.19 - 37.44,平均值为 13.41,远小于

150,表明该海域表层沉积物重金属对海洋生态系统的潜在危害较低(表 9)。重金属潜在生态风险最高的站点为 2018 年冬季的 W6 站,最低为 2019 年冬季的 W7 站。从时间分布上看,整个调查海域表层沉积物重金属生态风险状况为 2018 年冬季  $>$  2019 年夏季。从单个重金属污染来看,Cd 的潜在生态风险系数  $E_r^i$  平均值最高,在 W4 和 W6 两个站位的  $E_r^i$  值大于 25,为中等潜在生态风险,可能与 W4 站点附近的北港水产站排污有关系;而 W6 号站为涠洲岛西南面,该断面是游客与居民聚集最密集的地方,受人类活动影响较大,潜在生态风险系数高可能与陆源重金属输入有关。其余重金属 Cu、Pb、Zn、Cr 和 Hg 的潜在生态风险系数  $E_r^i$  较低,为低等潜在生态风险,对海洋生态系统的危害性较低。该海域表层沉积物各种重金属元素对海洋生态系统潜在危害的影响程度从大到小是  $Cd > Hg > Cr > Pb > Cu > Zn$ 。

表 9 表层沉积物中重金属的潜在生态风险指数和分级

Table 9 Potential ecological risk index and classification of heavy metals in surface sediments

时间 Time	站点 Station	$E_r^i$						$RI$	生态风险分级 Potential ecological risk classification
		Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg		
冬季 Winter	W1	ND	0.49	0.03	4.02	0.05	8.00	12.59	低 Low
	W2	0.30	0.13	0.06	4.56	0.18	4.00	9.23	低 Low
	W3	0.22	0.22	0.08	9.84	0.14	4.00	14.50	低 Low
	W4	0.82	1.05	0.19	26.88	0.40	4.00	33.34	低 Low
	W5	0.15	0.18	0.04	4.02	0.10	6.00	10.50	低 Low
	W6	3.94	0.25	0.34	28.80	0.11	4.00	37.44	低 Low
	W7	0.23	0.42	0.11	4.98	0.10	4.00	9.85	低 Low
	均值 Average	0.81	0.39	0.12	11.87	0.15	4.86	18.21	低 Low
夏季 Summer	W1	0.97	0.24	0.25	6.00	1.89	0.42	9.76	低 Low
	W2	0.35	0.24	0.12	7.20	1.02	0.98	9.92	低 Low
	W3	0.36	0.45	0.11	6.60	0.74	0.48	8.74	低 Low

续表 9

Continued table 9

时间 Time	站点 Station	$E_r^i$						RI	生态风险分级 Potential ecological risk classification
		Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg		
	W4	ND	0.21	0.07	4.80	0.63	3.06	8.77	低 Low
	W5	0.14	0.28	0.09	4.80	0.82	1.28	7.41	低 Low
	W6	ND	0.38	0.07	7.80	0.79	0.94	9.99	低 Low
	W7	0.25	0.36	0.08	4.20	0.44	0.86	6.19	低 Low
	均值 Average	0.30	0.31	0.11	5.91	0.90	1.15	8.68	低 Low

注:ND表示未检出

Note:ND indicates not detected

#### 2.2.4 不同重金属对 RI 的贡献率

用某一重金属各站  $E_r^i$  的平均值除以各站 RI 的平均值,可以算出不同重金属对 RI 的总体贡献(图2),可以看出,2018年冬季和2019年夏季 Cd 贡献率分别为 69.2%和 68.1%,占比接近 70%;Zn 的贡献率最小,两个季度分别只占 1.1%和 1.3%。由此可见,Cd 是调查中涠洲岛海域重金属污染的主要风险因子,对该海域生态环境的潜在危害影响较大,应对该因子加强监测。

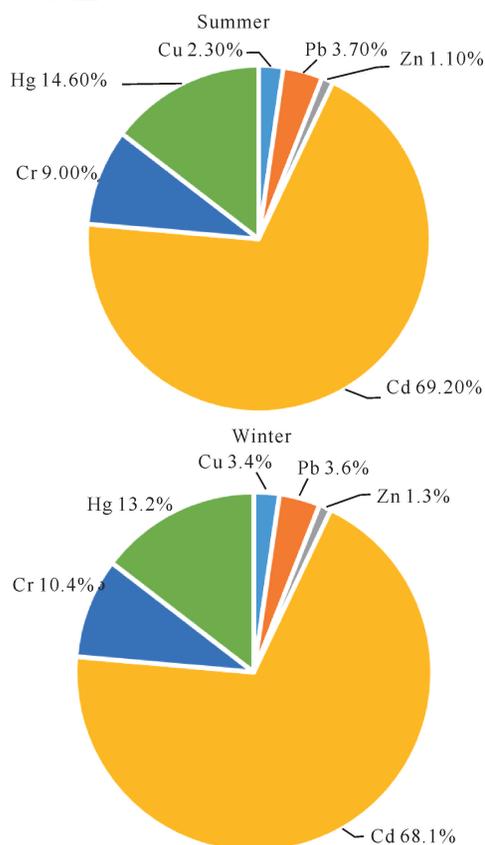


图2 不同重金属对 RI 的贡献率

Fig. 2 Contribution rate of different heavy metals for potential ecological risk index

综上所述,从污染程度角度来看,广西涠洲岛海域表层沉积物中重金属含量平均值从高到低为  $Cd > Cr > Zn > Cu > Pb = Hg$ ;从生态危害的角度看,广西涠洲岛海域表层沉积物重金属的潜在生态风险排序为  $Cd > Hg > Cr > Pb > Cu > Zn$ 。这两种结果的排列顺序并不一致,说明单一的评价方法并不能全面反应该海域表层沉积物的生态状况,各种金属元素对海域生物的毒性不同,污染程度较高的不一定对生态系统的危害就高,因此只有将多种方法结合,才能更全面地反映涠洲岛近岸海域重金属的污染特征及其对海洋生态系统的危害性<sup>[15]</sup>。

### 3 结论

通过对 2018 年 12 月和 2019 年 6 月对涠洲岛海域海水和表层沉积物的调查和评价,得出以下结论:

(1)调查海域海水重金属平均单因子污染系数均小于 1,属于低污染水平,说明该海域海水质量环境良好;冬、夏季水体中的重金属浓度差异较大,但两季度的主要污染因子均相同,重金属单因子污染程度从高到低为  $Pb > Zn > Hg > Cu > Cd > Cr$ 。

(2)调查海域表层沉积物中,冬季重金属平均含量由高到低为  $Zn > Cu > Cr > Pb > Cd > Hg$ ,夏季为  $Cr > Zn > Pb > Cu > Cd > Hg$ ;沉积物综合污染指数均小于 1,属于清洁级。

(3)冬、夏季海域表层沉积物重金属潜在生态危害系数平均值较低,海域表层沉积物环境状况良好;重金属元素对海洋生态系统潜在危害的影响程度从大到小为  $Cd > Hg > Cr > Pb > Cu > Zn$ 。

#### 参考文献

- [1] 王辉,赵悦铭,刘春跃,等. 辽河干流沉积物重金属污染特征及潜在生态风险评价[J]. 环境工程, 2019, 37(11):

- 65-69,165.
- [2] 邱绍芳. 涠洲岛附近海域水质和底质环境的分析与评价[J]. 广西科学院学报,1999,15(4):170-173.
- [3] 梁鑫,彭在清. 广西涠洲岛珊瑚礁海域水质环境变化研究与评价[J]. 海洋开发与管理,2018,35(1):114-119.
- [4] 谢谊,张腾,雷富,等. 涠洲岛西面及西南面沉积物重金属污染分析[J]. 广西科学,2018,25(1):57-62,67.
- [5] 国家海洋局海洋环境监测中心. 海洋监测规范:GB 17378-2007 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [6] 孙书涵,王冬艳,胡克,等. 双台子河口区水中重金属污染评价及其生态效应分析[J]. 世界地质,2007,26(1):75-79.
- [7] 毛文永. 环境影响评价技术方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2005.
- [8] 国家海洋局第三研究所. 海水水质标准:GB 3097-1997 [S]. 北京:环境科学出版社,2004.
- [9] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach [J]. Water Research,1980,14(8):975-1001.
- [10] 马德毅,汤烈风,王菊英,等. 海洋沉积物质量:GB 18668-2002 [S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [11] 冯慕华,龙江平,喻龙,等. 辽东湾东部浅水区沉积物中重金属潜在生态评价[J]. 海洋科学,2003,27(3):52-56.
- [12] 黄宏,郁亚娟,王晓栋,等. 淮河沉积物中重金属污染及潜在生态危害评价[J]. 环境污染与防治,2004,26(3):207-208,231.
- [13] 陈静生,周家义. 中国水环境重金属研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,1992:168-170.
- [14] 徐轶肖,谢谊,赵鹏,等. 北部湾涠洲岛海水重金属污染现状研究[J]. 生态环境学报,2018,27(5):908-915.
- [15] 雷富,张荣灿,陈宪云,等. 夏季广西北部湾近岸海域海水和表层沉积物中重金属污染现状及评价[J]. 海洋技术,2013,32(2):94-100.

## Quality Status and Evaluation of Heavy Metals in the Sea around Weizhou Island

LIANG Qianqian<sup>1</sup>, LIU Xiong<sup>2</sup>, XU Yixiao<sup>3</sup>, ZHANG Teng<sup>3</sup>, LEI Fu<sup>1</sup>, CHEN Liwen<sup>1</sup>, HUANG Xiaoxu<sup>1</sup>, DAI Shengsheng<sup>4</sup>

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Key Laboratory of Marine Natural Products and Combinatorial Biosynthesis Chemistry, Beibu Gulf Marine Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. Center for Dynamic Supervision for Usage of Fangchenggang City Sea Area, Fangchenggang, Guangxi, 538001, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Ministry of Education, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi, 530001, China; 4. Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

**Abstract:** This study intends to analyze and evaluate the pollution of heavy metals (copper, lead, zinc, cadmium, chromium, mercury) in the seawater and surface sediments of Weizhou Island, Guangxi, which can provide scientific basis for the environmental protection and sustainable development of the sea area. In December 2018 and June 2019, water quality and 7 surface sediment samples were collected from 8 stations in the sea area of Weizhou Island. The content of heavy metals was determined by atomic absorption spectrometry and DMA-80 direct mercury analyzer, and the pollution degree of heavy metals in water quality and surface sediment was analyzed and evaluated. The results showed that the average content of heavy metals in seawater in the investigated area did not exceed the Class I standard limit for seawater quality, and the contents of Pb and Zn in some stations exceeded the standard in summer. The pollution degree of heavy metals in seawater was Pb > Zn > Hg > Cu > Cd > Cr. The comprehensive pollution degree and potential ecological risk of heavy metals in surface sediments were generally lower, and the pollution index was Cd > Cr > Zn >

Cu>Pb=Hg. The influence degree of heavy metals on the potential hazards of marine ecosystem was Cd>Hg>Cr>Pb>Cu>Zn, and the main potential ecological risk factors in the sediments of this sea area were Cd and Hg. All in all, the heavy metal pollution in the sea area of Weizhou Island belongs to the low pollution level.

**Key words:** Weizhou Island, heavy metals, seawater, sediments, pollution evaluation

责任编辑:米慧芝

## 解析酒业结构性繁荣,看米香型白酒等小酒种品类如何升级

柴俊

(北京盛初集团总经理)

中国经济已经到了升级换挡、调整结构的高质量发展时代。解析酒业的结构性繁荣可以发现,除了白酒外,葡萄酒、黄酒、保健酒等其他酒种整体发展压力比较大,因此,中国酒行业的繁荣实际上是白酒的繁荣。从消费品领域来看,白酒行业繁荣的主要原因是实现了消费升级,白酒是消费升级最主要的践行者,也是最大的受益者。

### 1 酒类营销的核心是价位升级

在消费升级过程中,为了实现更高的价位,企业为消费者提供更好的产品、服务和体验。在酒类营销中价格是核心,其主要原因有4点:一是价位决定地位;二是价位就是需求,消费者选择酒类产品首先选择的价位;三是价位就是定位,品牌定位最有效的手段就是价格;四是价位决定价值,白酒消费是感性消费,讲究的是档次、面子和尊重,因此价格决定价值,是白酒营销的核心。

消费升级的核心是价位升级,任何消费品品类如果不能实现价位升级就很难发展。观察白酒行业发现,每一个成功的单品基本上都代表一个价位,即所谓的大单品。

### 2 米香型白酒等小酒种升级的五大方向

进一步看白酒行业的繁荣,浓香、清香、酱香三大香型发展得较好,然而作为四大主流香型之一的米香型白酒发展相对偏冷,如何实现结构升级是米香型白酒发展的重要课题。

#### 2.1 亚品类细分

品类扩容的过程就是亚品类细分的过程。啤酒从早期的熟啤到纯生再到后来的精酿,亚品类对啤酒品类的发展起到了至关重要的作用。白酒行业的浓香品类能做大就受益于浓香品类的再细分,如五粮液的多粮浓香、老窖的单粮浓香、洋河的绵柔浓香等。如果没有亚品类,原先品类要实现更高的价位,消费者接受起来非常困难,很难做大。因此,亚品类是米香型白酒等小酒种升级非常重要的途径。

#### 2.2 价位战略一定要“打两头,带中间”

“打两头,带中间”的价位战略是品类快速扩容的重要手段。对于米香型白酒而言,既要做300元以上的高端价位,也要做30元的大众升级价位。高端产品要实现形象引领,大众产品要做好群众基础,这样就会形成对中间价位的带动,促进品类的发展。

#### 2.3 产品品牌化和品牌系列化

第一是产品品牌化。企业要成功打造产品品牌,一是要有一款占据整个企业销售额70%—80%的大单品;二是该大单品在目标区域同价位产品中处于数一数二的位置,这两点缺一不可。如果企业的产品很多,依靠汇量增长,那么企业就很难实现高质量发展;如果企业产品在某一个细分价位占据数一数二的位置,那么企业的盈利能力和抗风险能力都会很好。

第二是品牌系列化。在消费升级过程中,消费者的需求是变化的,市场是动态的,这就要求企业在消费升级过程中不断开辟新的价位,实现价位迁移。此时如果用单一单品发力会很难,而系列化产品之间是有关联的,低价位产品的销售对高价位产品有推动作用,高价位产品对低价位产品有拉动作用,从而形成推拉结合的作用。

#### 2.4 品质升级

亚品类细分的本质是让消费者记住一个有具体内涵支撑的概念,因此亚品类创新要在品质升级上有体现。酒类品质升级有四个方向:一是工艺,浓香、清香、酱香的工艺不一样,有地缸发酵、池窖发酵、泥窖发酵;此外环境、微生物、酒曲也不一样;二是时间价值,存酒时间越长,酒的品质越好;三是风味,当前风味越来越趋向复合化,风味需求的变化促成香型的演变;四是健康,饮酒是快乐的,将酒做到既快乐又健康是一个重要的方向。

#### 2.5 消费者培育模式升级

价位低的产品依赖终端推动,因此要做好终端客情和氛围;价位高的产品依靠意见领袖带动,因此必须要做C端,比如餐饮的消费者活动、针对企事业单位公关团购活动以及宴席市场的消费培育,做好核心消费者培育。