

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180417001

http://www.yykxjz.cn/

杨茜, 杨庶, 孙耀. 黄海中部泥质区沉积物中重金属的长期变化及其背景值的校正. 渔业科学进展, 2019, 40(1): 20–26
Yang Q, Yang S, Sun Y. Calibration of long-term change of heavy metal content and the heavy metal background in the muddy area of the middle Yellow Sea sediments of China. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(1): 20–26

黄海中部泥质区沉积物中重金属的 长期变化及其背景值的校正*

杨 茜 杨 庶 孙 耀^①

(农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室
中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

摘要 为校正黄海中部泥质区沉积物中重金属的长期变化及其背景值, 对采自黄海中部泥质区 A03 站位沉积剖面的年代学测定、比表面积和重金属(Cu、Pb、Cd 和 Zn)进行了测定, 并在假定第一次工业革命以前的沉积环境基本未受污染的前提下, 建立了其比表面积与重金属背景值的函数模型, 进而反推出单位比表面积下重金属的长期变化特征。将重金属含量实测值和校正后单位比表面积下重金属含量长期变化比较发现, 前者毫无规律可言, 后者则在 20 世纪 50 年代以前, 基本处于重金属含量背景值的合理波动范围之内, 此后, 逐渐背离背景值至今。可以推断, A03 站位所代表的黄海中部泥质区受到外源重金属污染的起始年份约为 1950 年, 4 种重金属 Cu、Pb、Cd、Zn 单位比表面积下的背景值分别为 26.31、22.11、0.20、63.21 mg/kg。许多研究表明, 沉积环境的外源性污染、沉积颗粒的表面活性和粒度是重金属含量偏离背景值的 3 个主要原因。本研究应用相同沉积剖面, 建立了第一次工业革命以前的比表面积与重金属背景值的函数模型, 并对重金属含量的实测值进行了有效校正, 无疑是能够同时满足上述 3 个主要条件的。研究表明, 实际操作中, 采取不同沉积类型区域, 建立相应的重金属背景校正值, 也是可行的。

关键词 长期记录; 沉积物; 重金属; 背景值; 比表面积

中图分类号 X824 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2019)01-0020-07

海水中的重金属经悬浮颗粒物吸收, 进而沉降到海底被埋藏保存(Zhang *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2011), 因此, 沉积物是沿海污染的底质载体(Wang *et al.*, 2014), 也是记录海洋重金属长期变化的理想介质(Na *et al.*, 2012; 杨茜等, 2016a)。Fukue 等(2006)研究表明, 在沉积性质稳定且粒度均匀的底质中, 沉积剖面能够反映重金属的背景值及人工排放的重金属污染等信息, 但如何摒除岩性干扰和人工排放污染的影响是准

确获取重金属背景值的关键(Bábek *et al.*, 2015; 杨茜等, 2016b)。

我国自 20 世纪 80 年代开始, 对海洋沉积物中的重金属污染展开调查, 也尝试利用基线值法和归一化法换算重金属的背景值。但是, 需要指出的是, 基线值法要求样品采自非污染区, 并且应该符合大统计量原则, 如统计面积应不少于 6000 km², 统计量不少于 400 件(Garcia *et al.*, 2009), 依此原则, 我国大多数调

* 国家重点基础研究发展计划(2015CB453303)和中央级公益性科研院所基本科研业务费(20603022017012)共同资助 [This work was supported by the National Basic Research Program of China (2015CB453303), and Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund, YSFRI, CAFS (20603022017012)]. 杨 茜, E-mail: yangqian@ysfri.ac.cn

^① 通讯作者: 孙 耀, 研究员, E-mail: sunyao@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2018-04-17, 收修改稿日期: 2018-07-30

查区域不具备统计条件; 归一化法通常选择 Al、Li、Fe、Ti 等地球化学指标对重金属的背景值进行校正 (Sun *et al.*, 2012; Bing *et al.*, 2013; Wan *et al.*, 2016), 以上指标均被假设来自于自然输入, 且不同的地球化学指标所指示的对象不同, 因自然界中沉积物受人类活动扰动明显, 且矿物组成差异巨大, 故利用上述任何单一地球化学指标构建重金属的背景值都具有局限性 (Lin *et al.*, 2013), 从目前对 Al、Li、Fe、Ti 等校正指标的应用结果也能看出, 利用地球化学指标仅能大致估算重金属背景值的范围 (Lin *et al.*, 2013; Teng *et al.*, 2009; Bábek *et al.*, 2015), 而无法准确计算重金属背景值。综上所述, 有必要寻找适用性更强的背景值校正方法, 以确立重金属的背景值。

比表面积作为岩性校正指标能够直观反应沉积物的粒径大小和表面活性特点, 适用于沉积类型复杂的海域。将沉积物按照砾石、砂、粉砂、粘土分组, 计算各组分的加权平均值, 能校正自然界中沉积物矿物组成差异的影响。Fukue 等 (2006) 曾利用比表面积计算了日本濑户内海及大阪湾重金属背景值, 随着深度的变化特征, 该研究确立了比表面积与重金属背景值之间的函数关系, 但尚未考虑人为污染对沉积物的影响。Katahira 等 (2007) 将 ^{210}Pb 同位素定年数据引入重金属的污染评价工作, 认为沉积剖面能够提供全球工业化以前未受人类污染的沉积物样品, 可用以识别重金属污染的历史变化。但是, 该研究没有考虑岩性对沉积物的扰动, 仅能给出重金属总量随年代的变化特点。上述研究仍然给予作者重要的启示: 1) 比表面积能够反应沉积物的粒径大小, 且不受污染元素影响, 以此作为校正指标能够摒除岩性干扰; 2) 沉积剖面的长期记录能够提供未受人类污染的沉积物样品, 且区域代表性更强, 将以上二者结合, 可为判定重金属背景值的长期变化提供新的材料和方法。

本研究假设相同站位沉积物的表面活性相同, 选择黄海中部泥质区 A03 站位为研究对象, 将年代学数据、比表面积和重金属含量等多项参数指标相融合, 挑选未受人类污染的沉积物样品; 在未受人类污染的沉积物样品中, 确立比表面积与重金属背景值的定量关系, 进而计算重金属背景值, 为控制环境质量和确保生态安全提供可靠的数据支持。

1 材料与方法

1.1 样品来源

本研究采用的沉积物样品取自黄海中部泥质区

A03 站位 (123°01.65'E, 35°00.56'N), 系东方红二号在 2011 年春季航次中利用重力采样器采集, 长度为 227 cm, 每 1 cm 一个样, 分别装入聚乙烯密封袋中, 驱尽空气密闭, 置于 0~4℃ 环境中保存, 运回实验室待用。

1.2 实验方法

1.2.1 重金属含量测定 将沉积物样品经自然风干, 研磨过筛后, 根据海洋监测规范第 5 部分 (GB17378.5-2007), 称取 1 g 经烘干研磨过筛的沉积物样品放至 50 ml 小烧杯中, 用少许水润湿样品, 加入 10 ml HCl, 置于电热板上, 由低温升至 180℃, 蒸至近干, 加入 2 ml 双氧水, 再蒸至近干, 微热浸提, 将溶液及残渣全量转入 10 ml 具塞试管中, 用水稀释至标线, 混匀, 静置 12 h 澄清, 上清液待测。选用的仪器为日立 z5000 型原子吸收分光光度计 (日本), 根据标准曲线对每个样品分别检测 Cu、Pb、Cd、Zn 4 种元素, 每次均吸入之前消解澄清的上清液。

1.2.2 比表面积的测定 将 5 ml 高浓度 H_2O_2 加到沉积物样品中, 混合, 加热到 100℃, 持续 0.5 h, 去除有机物; 再加入低浓度 HCl 去除碳酸盐, 静置 48 h, 在络合剂中超声处理, 最后用 Malvern 2000E 型激光粒度仪 (英国) 测定沉积物的比表面积。

1.2.3 年代学数据的测定 将样品烘干研磨后, 由中国科学技术大学完成 ^{210}Pb 年代检测。根据重力柱采集的年份, 选择 2011 年作为测年零点, 利用沉积速率得到柱状样年龄。

1.3 数据处理

1.3.1 异常值分析 为最大限度地保证本研究的真实性和可信性, 采用 Grubbs 法来检验测定存在的异常值。

1.3.2 重金属背景值的计算方法 使用 Fukue 等 (2006) 的方法计算比表面积 (SS) 与重金属背景值 (B_{GP}) 的函数关系:

$$\text{SS} = \sum a_i \times \text{SS}_i \quad (1)$$

$$B_{\text{GP}} = K_p \times \text{SS} \quad (2)$$

式中, a_i 为沉积物中砾石、砂、粉砂、粘土等各组分的权数; SS_i 为各组分的比表面积 (m^2/g); K_p 为校正系数, 在未受人类污染的沉积物中为常数; 根据公式 (2) 估算 B_{GP} (mg/g) 的大小。

1.3.3 数据统计与分析 采用 Surfer 8.0 和 Origin 8.0 软件绘制图片, Excel 2010 软件进行相关性分析, $P < 0.001$ 为显著性水平。

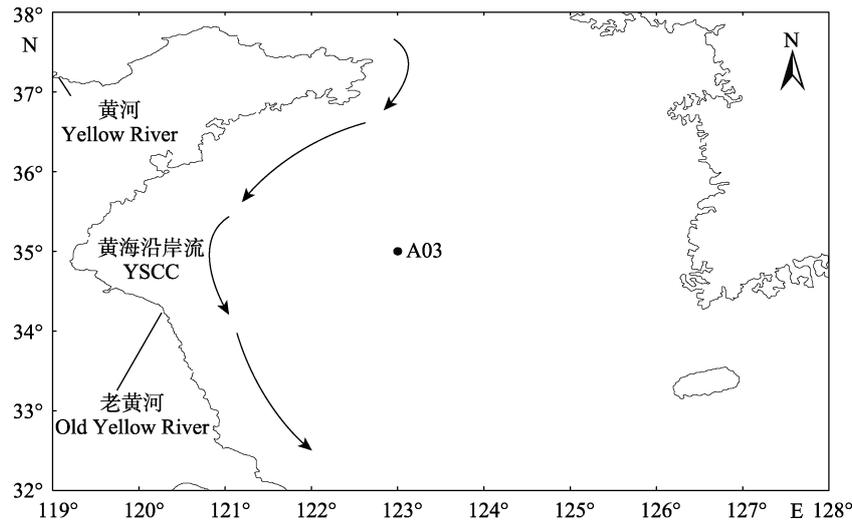


图1 调查站位

Fig.1 Investigation station

2 结果与讨论

2.1 异常值的判别结果

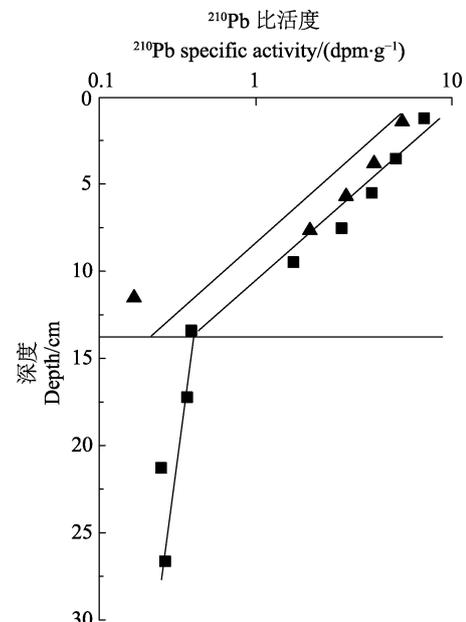
对沉积物样品中的重金属(Cu、Pb、Cd和Zn)含量进行 Grubbs 检验。所有数据的偏差均在允许误差范围内。

2.2 年代学测定结果

A03 站位沉积物样品的 ^{210}Pb 放射性活度和年代测定结果见图2。从图2可以看出, ^{210}Pb 放射性活度多呈二段式分布模式(衰变段和平衡段), 这说明了采样海区的沉积环境稳定, 得到的沉积速率和年代测定可信; 经计算, A03 站位的沉积速率为 0.14 cm/a, 该数据与张小勇等(2013)的研究结果相同。

2.3 重金属和比表面积的测定结果

从图3可以看出, Cu含量的变化范围为 17.19~35.34 mg/kg, 平均值为 29.31 mg/kg, Cu含量从底部的 19.52 mg/kg 上升到 77 cm 处的 33.00 mg/kg, 并且在 77 cm 以浅一直保持着 33.00 mg/kg 的较高含量, 并最终于表层达到最大值。Pb含量的变化范围为 14.18~29.99 mg/kg, 平均值为 24.49 mg/kg, Pb含量在底层最低, 到表层达到峰值, 整体呈上升趋势。Cd含量的变化范围为 0.049~0.338 mg/kg, 平均值为 0.239 mg/kg, Cd的含量从底部的 0.09 mg/kg 到 63 cm 处上升明显, 在 63 cm 以浅呈现出稳定的特征含量。Zn含量的变化范围为 55.91~74.69 mg/kg, 平均值为 66.51 mg/kg, Zn含量波动较小, 从底层到表层呈明显的上升趋势, 并且在 1 cm 处达到最大值。整体而言, 重金属 Cu、Pb、

图2 A03 站位的 ^{210}Pb 垂直分布Fig.2 The vertical distribution of ^{210}Pb in A03 station

注: 方点为 ^{210}Pb 总量; 三角为 ^{210}Pb 过剩
Note: Quadrate dot indicates ^{210}Pb total;
Triangle indicates ^{210}Pb excess

Cd和Zn的变化趋势相近, 呈现从底层向表层逐渐上升的趋势。

比表面积的变化范围为 1.20~1.86 m^2/g , 平均值为 1.64 m^2/g , 比表面积在 59 cm 以浅稳定在 1.7 m^2/g 左右, 在 59 cm 处突然下降, 到 213 cm 处达到最低, 为 1.20 m^2/g 。

将重金属与比表面积的变化趋势进行比较发现, 在深为 20 cm 以下的沉积物中, 重金属与比表面积的变化特征契合度较高, 在比表面积大的沉积剖面中重

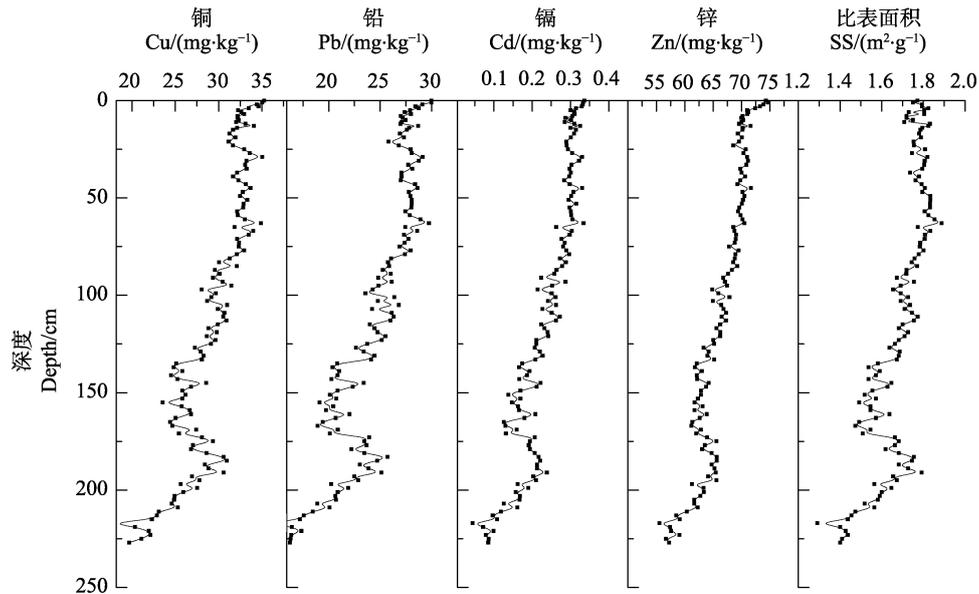


图 3 柱状沉积物中重金属(Cu、Pb、Cd 和 Zn)和比表面积(SS)的分布特征

Fig.3 The distributions of Cu, Pb, Cd, Zn and SS in core sediment

金属含量高, 比表面积小的沉积剖面中重金属含量低, 主要原因是比表面积作为岩性校正指标, 能够直观反应沉积物的粒径大小和表面活性特点, 如电荷密度和阳离子交换能力的差异都将影响沉积物对重金属的吸附能力。通常情况下, 比表面积越大, 吸附能力更强, 能够富集更多的重金属(Choi *et al*, 2007)。

2.4 重金属的校正及重金属背景值

根据沉积速率挑选第一次工业革命的深层沉积物, 对重金属 Cu、Pb、Cd、Zn 与比表面积进行相关性分析认为, 二者之间的相关性显著(表 1)。

经计算, 第一次工业革命以前的深层沉积物样品的平均比表面积为 1.56 m²/g, 进而反推出单位比表面积下重金属的校正值, 其公式如下:

$$Cu_{GP} = \frac{(Cu_c + 11.28) \times 1.56}{SS_c} - 11.28$$

$$Pb_{GP} = \frac{(Pb_c - 15.45) \times 1.56}{SS_c} + 15.45$$

$$Cd_{GP} = \frac{(Cd_c + 0.47) \times 1.56}{SS_c} - 0.47$$

$$Zn_{GP} = \frac{(Zn_c + 29.43) \times 1.56}{SS_c} - 29.43$$

校正后重金属在近 200 年的变化特征见图 4a。从图 4a 可以看出, Cu 在 1900 年以前稳定在 26.00 mg/kg 左右, 然后迅速上涨, 在 2011 年达到 29.30 mg/kg。Pb 的含量在 1900 年以前的多数年份都小于 23.00 mg/kg, 在随后的 100 年里呈缓慢的上升趋势, 在 2004 和 2011 年达到最大值, 为 24.93 mg/kg。Cd 的含量在 1900 年

表 1 比表面积(SS)与重金属的相关性

Tab.1 Correlations between the heavy metals (Cu, Pb, Cd, Zn) and SS

重金属 Heavy metals	比表面积 SS		
	相关性公式 Regression equation	R ²	P
铜 Cu	y = 24.51x - 11.28	0.9221	<0.001
铅 Pb	y = 24.16x + 15.45	0.9507	<0.001
镉 Cd	y = 0.43x - 0.47	0.9217	<0.001
锌 Zn	y = 22.07x - 29.43	0.8937	<0.001

以前平均值约为 0.23 mg/kg, 而后 Cd 含量缓慢上升, 直到 1996 年达到峰值, 随后逐渐回落。Zn 的背景值在 1900 年以前一直稳定在 65.00 mg/kg 左右, 在随后的 100 年里一直上升, 到 2004 年达到高峰, 为 69.26 mg/kg, 而后有小幅回落。

整体而言, 校正后重金属的含量在 1900 年以前相对较低, 该现象与清朝末期较低的生产力相一致, 尤其在 1825~1860 年间, Pb、Cd 和 Zn 的含量均出现了近 200 年来的最低点, 其原因可能与黄河改道导致的重金属输送量下降有关。校正后重金属上升的起点在 1900~1920 年之间, 上升时间与民国早期的第二次工业革命的影响吻合。而发生在 1920 年的海原大地震造成了大量黄土倾斜进入黄海, 也有可能是造成校正后重金属上升的重要原因。1980 年开始, 改革开放使中国的生产力迅速上升, 大量的重金属被释放到水环境中, 并进入近海, 进而沉降到沉积物中被埋藏保存, 与之相对应的是校正后重金属也在该时期迅速上升。2000 年以后, 我国的工业虽然发展迅速, 但随着

含铅汽油的淘汰,Pb的校正后含量开始下降(Wan *et al.*, 2016),与Pb有着相似地球化学性质且共生的Zn、Cd也同样出现了下降趋势(张雷等, 2011)。

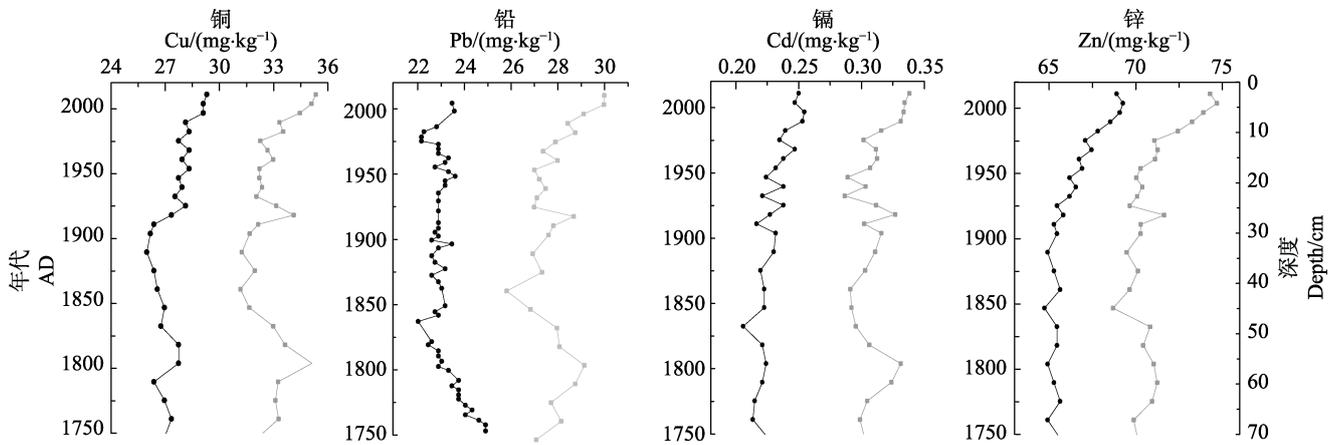
从图4b可以看出,整个沉积剖面中,单位比表面积下Cu的变化范围为24.42~29.30 mg/kg,平均值为26.73 mg/kg;Pb的变化范围为20.47~24.93 mg/kg,平均值为22.61 mg/kg;Cd的变化范围为0.17~0.25 mg/kg,平均值为0.21 mg/kg;Zn的变化范围为61.66~69.26 mg/kg,平均值为64.29 mg/kg。

镜校正后各个重金属含量在20 cm处至表层上升明显,对应的是1950年以后的重金属上升趋势,说明1950年以后开始受到重金属的污染;比较校正前后的重金属总量之间有明显的分界点,该点在沉积剖面的100 cm上下,随重金属种类的变化具体深度有所

不同。从图4b的‘r’型分布特征看出,本研究结论与理想沉积剖面中金属背景值的分布特征一致(Fukue *et al.*, 2006),说明利用SS获得的校正结果是可靠的。将第一次工业革命以前的重金属Cu、Pb、Cd、Zn的校正值视为A03站位的背景值,取平均值,分别为26.31、22.11、0.20、63.21 mg/kg。

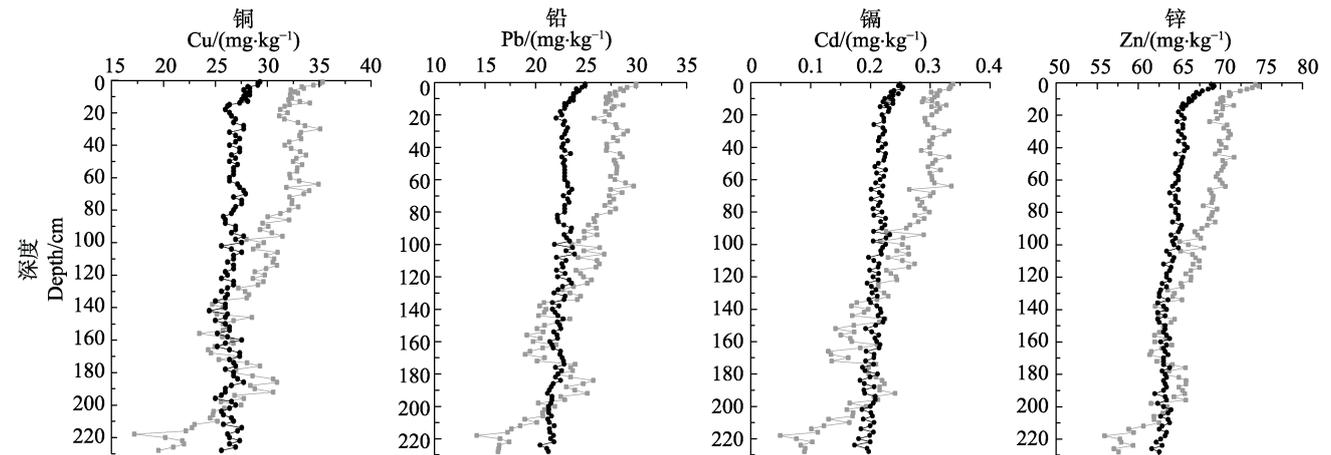
2.5 黄海中部泥质区重金属背景值与其他区域重金属背景值的比较

将黄海中部泥质区重金属背景值与中国土壤元素的背景值比较可知,Cu的背景值略高于中国土壤元素, Pb和Zn的背景值略低于中国土壤元素,而Cd的背景值远高于土壤中的含量;与人类活动较为密集的松花江沉积物中重金属的背景值相比,Pb和Zn的背



(a) 校正前后重金属在近200年的变化特征

(a) Long term variation of heavy metals before and after calibration in the last 200 years



(b) 校正前后重金属的长期变化特征

(b) Long term variation of heavy metals before and after calibration

图4 重金属的变化特征

Fig.4 Variation of heavy metals

-■-: 校正后重金属; -●-: 未校正重金属
-■-: Calibrated heavy metal, -●-: Uncalibrated heavy metal

景值与松花江表层沉积物中的背景值含量相近, Cu 的背景值高于松花江表层沉积物, 仅有 Cd 的背景值远低于松花江表层沉积物; 与黄海其他各个海域沉积

物中重金属背景值的研究结果比较可知, Cu 和 Cd 的背景值均与临近的南黄海北部的背景值相近, Pb 和 Zn 的背景值在整个黄海海域处于中游水平(表 2)。

表 2 黄海中部泥质区及典型区域沉积物中重金属背景值比较

Tab.2 Background data of heavy metals in the muddy area of the middle Yellow Sea and the other typical areas (g/kg)

研究区域 Study area	铜 Cu	铅 Pb	镉 Cd	锌 Zn	参考文献 Reference
黄海中部泥质区 Muddy area of the middle Yellow Sea	26.31	22.11	0.20	63.21	本研究
南黄海北部 Northern south Yellow Sea	25.80	33.90	0.240	90.50	彭修强等(2015)
黄、东海表层沉积物 Surface sediments of the Yellow sea and the East China Sea	10.52	20.27	0.053	66.10	彭修强等(2015)
南黄海表层沉积物 Surface sediments of the South Yellow Sea	15.92	14.54	0.103	60.00	彭修强等(2015)
松花江表层沉积物 Surface sediments of the Songhua River	15.83	23.26	1.720	63.23	刘宝林等(2014)
中国土壤元素 Soil of China	22.60	26.00	0.097	74.20	彭修强等(2015)

3 结论

本研究对黄海中部泥质区 A03 站位沉积剖面中重金属含量进行测定。实测结果显示, 重金属变化特征相近, 呈现从沉积物表层向下逐渐降低的趋势。

对比重金属含量与比表面积相关性发现, 在深为 20 cm 以下沉积物中, 重金属与比表面积相关性显著, 根据深层沉积物中比表面积与重金属之间的函数关系, 能够计算单位比表面积下重金属含量在 A03 站位的变化特点。经过与历史事件的比对发现, 单位比表面积下重金属含量的变化特征与沿海重大历史事件相对应。将校正后重金属含量与未校正前重金属总量进行比对发现, 前者毫无规律可言, 后者则在 20 世纪 50 年代以前, 基本处于重金属含量背景值的合理波动范围之内, 此后, 逐渐背离背景值至今。可以推断, A03 站位所代表的黄海中部泥质区受到外源重金属污染的起始年份约为 1950 年, 4 种重金属 Cu、Pb、Cd、Zn 单位比表面积下的背景值, 分别为 26.31、22.11、0.20、63.21 mg/kg。许多研究表明, 沉积环境的外源性污染、沉积颗粒的表面活性和粒度是重金属含量偏离背景值的 3 个主要原因。本研究应用相同沉积剖面, 建立了第一次工业革命以前的比表面积与重金属背景值的函数模型, 并对重金属含量的实测值进行了有效校正, 无疑是能够同时满足上述 3 个主要条件的。实际操作中, 采取不同沉积类型区域, 建立相应的重金属背景校正值也是可行的。

与我国其他典型区域及黄海海域的大面积调查结果相比, 黄海中部泥质区的重金属背景值与早期研究结果相近, 但是, 针对黄海中部泥质区重金属背景的研究其代表性更强, 更能反应研究区域重金属背景值的变化特点。

参 考 文 献

- Bábek O, Grygar TM, Faměra M, *et al.* Geochemical background in polluted river sediments: How to separate the effects of sediment provenance and grain size with statistical rigour. *Catena*, 2015, 135: 240–253
- Bing HJ, Wu YH, Naha WH, *et al.* Accumulation of heavy metals in the lacustrine sediment of Longgan Lake, middle reaches of Yangtze River, China. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 69(8): 2679–2689
- Choi MS, Yi HI, Yang SY, *et al.* Identification of Pb sources in Yellow Sea sediments using stable Pb isotope ratios. *Marine Chemistry*, 2007, 107(2): 255–274
- Fukue M, Yanai M, Sato Y, *et al.* Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, 136(1): 111–119
- Garcia CAB, Barreto MS, Passosa EA, *et al.* Regional geochemical baselines and controlling factors for trace metals in sediments from the Poxim River, Northeast Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2009, 20(7): 1334–1342
- Katahira K, Ishitake M, Moriwaki H, *et al.* Method for the estimation of the past illegal dumping recorded in a sediment core. *Water Air and Soil Pollution*, 2007, 179(1–4): 197–206.
- Lin CY, Wang J, Liu SQ, *et al.* Geochemical baseline and distribution of cobalt, manganese, and vanadium in the Liao River Watershed sediments of China. *Geosciences Journal*, 2013, 17(4): 455–464
- Liu BL, Bi SY, Dong DM, *et al.* Background values of certain heavy metal elements in the sediments of the upper reach of Songhua River. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2014, 36(4): 454–459 [刘宝林, 毕淑云, 董德明, 等. 松花江上游水体沉积物中若干重金属元素的自然背景值. *吉林农业大学学报*, 2014, 36(4): 454–459]
- Liu S, Shi X, Liu Y, *et al.* Concentration distribution and assessment of heavy metals in sediments of mud area from inner continental shelf of the East China Sea. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 64(2): 567–579
- Na CK, Park HJ. Distribution of heavy metals in tidal flat sediments and their bioaccumulation in the crab *Macrophthalmus japonicas*, in the coastal areas of Korea. *Geosciences Journal*, 2012, 16(2): 153–164
- Peng XQ, Xiang LH, Guo N, *et al.* Sources identification and hazardous risk delineation of heavy metals contamination in

- surface sediments in the southern of the South Yellow Sea. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, 35(11): 3628–3638 [彭修强, 项立辉, 郭娜, 等. 南黄海南部海域表层沉积物重金属来源解析及风险评价. *环境科学学报*, 2015, 35(11): 3628–3638]
- Sun Q, Liu T, Di B, *et al.* Temporal and spatial distribution of trace metals in sediments from the northern Yellow Sea coast, China: Implications for regional anthropogenic processes. *Environmental Earth Sciences*, 2012, 66(3): 697–705
- Teng YG, Ni SJ, Wang JS, *et al.* Geochemical baseline of trace elements in the sediment in Dexing area, South China. *Environmental Geology*, 2009, 57(7): 1649–1660
- Wan DJ, Song L, Yang JS, *et al.* Increasing heavy metals in the background atmosphere of central North China since the 1980s: Evidence from a 200-year lake sediment record. *Atmospheric Environment*, 2016, 138: 183–190
- Wang LM, Li GX, Gao F, *et al.* Sediment records of environmental changes in the south end of the Zhejiang-Fujian coastal mud area during the past 100 years. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2014, 32(4): 899–908
- Yang Q, Xia B, Sun Y, *et al.* The temporal and spatial distribution of mercury and arsenic in the central Bohai Sea. *Progress in Fishery Sciences*, 2016a, 37(4): 54–59 [杨茜, 夏斌, 孙耀, 等. 渤海中部海域水体中 Hg、As 的时空分布特征. *渔业科学进展*, 2016a, 37(4): 54–59]
- Yang Q, Xia B, Yang S, *et al.* Normalization and spatial distribution of mercury in the sediments and seawater of the central Bohai Sea. *Progress in Fishery Sciences*, 2016b, 37(4): 49–53 [杨茜, 夏斌, 杨庶, 等. 渤海中部海域沉积物中 Hg 的校正及其空间分布特征. *渔业科学进展*, 2016b, 37(4): 49–53]
- Zhang L, Qin YW, Zheng BH, *et al.* Distribution and pollution assessment of heavy metals in sediments from typical areas in the Bohai Sea. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, 31(8): 1676–1684 [张雷, 秦延文, 郑丙辉, 等. 环渤海典型海域潮间带沉积物中重金属分布特征及污染评价. *环境科学学报*, 2011, 31(8): 1676–1684]
- Zhang R, Zhang F, Ding Y, *et al.* Historical trends in the anthropogenic heavy metal levels in the tidal flat sediments of Lianyungang, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2013, 25(7): 1458–1468
- Zhang XY, Yang Q, Sun Y, *et al.* The distribution of phosphorus forms and bioavailability in sediments from Huang Dong Hai continental shelf. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(11): 3509–3519 [张小勇, 杨茜, 孙耀, 等. 黄东海陆架区沉积物中磷的形态分布及生物可利用性. *生态学报*, 2013, 33(11): 3509–3519]

(编辑 陈严)

Calibration of Long-Term Change of Heavy Metal Content and the Heavy Metal Background in the Muddy Area of the Middle Yellow Sea Sediments of China

YANG Qian, YANG Shu, SUN Yao^①

(Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment; Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

Abstract In order to calibration the long-term change of heavy metal content and the heavy metal background in the muddy area of the middle Yellow Sea sediment of China, we combined with the contents of heavy metals (Cu, Pb, Cd, Zn), ²¹⁰Pb data and the specific surface area (SS) of core A03 from the Huanghai Sea to structure the function models of the heavy metals (Cu, Pb, Cd, Zn) background. With the function models, we calculated the long-term change of the content of the heavy metals in the same SS in core A03. We compared with the content of the heavy metals in the same SS versus the content of heavy metals, showed a obvious demarcation point between them, in 100 cm. The trend is similar with a ideal sediment profile, which means that the starting point of contamination is around 100 cm. Calculated by deposition rate, the sediment age in the 100cm of the core is much older than 200 years. The average value of heavy metal contents under a single specific surface area (SS) below 100 cm without human pollution is taken as the background value of heavy metal Cu, Pb, Cd and Zn at station A03. The background of them are 26.31 mg/kg, 22.11 mg/kg, 0.20 mg/kg and 63.21 mg/kg, respectively. Compared with the nearby sea area, the background of heavy metals is similar. Compared with historical events, the variation characteristics of the heavy metals content under a single specific surface area correspond to major coastal historical events, which means that the estimation reduced the impacts from the provenance and particle characteristics of the sediments on the heavy metals content and that it provides a reference useful for increasing the veracity of evaluation of heavy metals contamination.

Key words Long sedimentary record; Sediment; Heavy metal; Background content; Specific surface area

① Corresponding author: SUN Yao, E-mail: sunyao@ysfri.ac.cn