

# 北京地区池塘底泥中重金属分布及其污染评价

宗超, 张莹\*, 李英, 高峰, 吕芳, 姚丽燕, 赵春晖, 孙焯, 隋福顺

(北京市水产技术推广站, 农业部渔业产品质量监督检测测试中心(北京), 北京 100021)

**摘要:** **目的** 针对北京地区 17 家养殖池塘底泥中重金属污染状况进行调查及评价重金属生态风险, 为水产养殖环境提供理论依据并指导生产。 **方法** 使用原子吸收分光光度法测定底泥中 Cu、Zn、Cr、Pb、Cd 含量, 用原子荧光分光光度法测定底泥中 Hg、As 含量; 采用单项污染指数、综合污染指数法及 Hakanson 潜在生态风险评价方法对养殖池塘底泥中重金属的污染状况分别进行评价。 **结果** 17 家池塘底泥中重金属 Cu、Zn、Cr、Pb、Cd、As 的平均含量分别为 17.85、50.27、33.09、14.50、0.06 和 1.98 mg/kg(均以湿基计), Hg 未检出; Zn、Pb、Cd、Hg 和 As 处于安全等级, Cu 污染处于警戒线, Cr 污染处于轻度污染; 底泥中重金属的潜在生态风险顺序依次 Cd>Cu>Pb>As>Cr>Zn, 潜在生态风险危害程度轻微。 **结论** 北京地区 17 家养殖场池塘底泥中重金属含量的蓄积对养殖水产品质量影响较小, 适宜水产养殖。

**关键词:** 底泥; 重金属; 养殖池塘; 污染评价

## Distribution and pollution assessment of heavy metals in sediments of aquaculture ponds in Beijing area

ZONG Chao, ZHANG Ying\*, LI Ying, GAO Feng, LV Fang, YAO Li-Yan,  
ZHAO Chun-Hui, SUN Xuan, SUI Fu-Shun

(Aquatic Product Technology Promotion Department of Beijing, Fishery Product Quality Inspection Center of MOA (Beijing), Beijing 100021, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate 7 kinds of representative heavy metals distribution and analyze the potential ecological risk of heavy metals in the sediments of aquaculture ponds in Beijing area in order to provide references for aquaculture environment rationally. **Methods** The contents of Cu, Zn, Cr, Pb, and Cd were determined by atomic absorption spectroscopy in sediments, and the contents of Hg and As were determined by atomic fluorescence spectrum. The ecological risk assessment was evaluated using single pollution index, Nemerow integrated index and Hakanson potential ecological risk analysis. **Results** The average content results of Cu, Zn, Cr, Pb, Cd, and As were 17.85, 50.27, 33.09, 14.50, 0.06 and 1.98 mg/kg, respectively, and Hg was not detected. Zn, Pb, Cd, Hg, and As in the sediments of aquaculture ponds were at the safe and clean level, while Cu was at alert level and Cr was at slightly polluted level. The potential ecological risk of heavy metals ranked as Cd>Cu>Pb>As>Cr>Zn, and all of the heavy metals in sediments indicated a mild polluting level. **Conclusion** The accumulation of heavy metals content have little impact on the quality of aquaculture products in the 17 representative sediments of aquaculture ponds and they are suitable for aquaculture.

**KEY WORDS:** sediments; heavy metal; aquaculture ponds; pollution assessment

\*通讯作者: 张莹, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为水产品质量安全。E-mail: yingzhang7875@163.com

\*Corresponding author: ZHANG Ying, Assistant Engineer, Aquatic Product Technology Promotion Department of Beijing, South Building, 48A Huawei Road West, Panjiayuan Road East, Chaoyang District, Beijing 100021, China. E-mail: yingzhang7875@163.com

## 1 引 言

水产养殖池塘中水环境质量直接关系到水产品的安全,也是水生动物赖以生存的介质。池塘中的底泥是水环境的重要组成部分,底泥中的物质可以在水与底泥界面相互交换。通过各种途径进入水体的污染物,绝大部分通过吸附、络合、沉淀等作用沉积到底泥中。因此,底泥的污染状况是全面衡量水环境质量的重要因素<sup>[1,2]</sup>。池塘中污染物主要包括各种重金属元素及药物残留。重金属元素可以通过食物链不断转移,且很难降解排出体外,最终通过沉降、埋藏等过程进入到底泥中。重金属在底泥中的大量积累会形成巨大的潜在危害和风险<sup>[3-7]</sup>。赵汉取等<sup>[8]</sup>对浙北地区养殖池塘表层沉积物进行重金属潜在生态风险评价,发现重金属 Cd 处于中等生态危害等级;余世清等<sup>[9]</sup>研究发现杭州地区河道底泥重金属存在不同程度的超标现象,其中 Hg 和 Cd 是主要的潜在生态风险因子;国内外许多学者检测出重金属有存在部分河流、湖泊及养殖水体底泥中的现象<sup>[10,11]</sup>。目前,北京地区养殖池塘中的污染物多数未进行清淤,底泥中的重金属污染不容忽视。为此,本研究针对北京地区进行池塘底泥中重金属含量及污染特征调查,进一步评价重金属生态风险,分析重金属含量蓄积对养殖环境的影响,并用以指导生产。

## 2 材料与方 法

### 2.1 样品采集与处理

项目针对北京市除丰台区和门头沟区其余共 11 个水产养殖区县。从中选定 17 家养殖基地对其进行养殖具体情况调查,标号为 1~17。采集 17 家养殖场的池塘底泥样本,底泥样品不少于 300 g,采集后装入样品袋中混合均匀并封存粘贴样品标签。运至实验室后底泥自然风干。取约 10 g 底泥在 105 °C 烘至质量恒等测定含水率。

### 2.2 主要检测仪器

Zeenit 700 原子吸收分光光度计(德国耶拿公司); S4 原子吸收分光光度计(美国 Thermo 公司); AFS-830 原子荧光光度计(北京吉天公司); SH420 石墨消解仪(深圳海能仪器有限公司); WX-8000 微波消解仪(上海屹尧仪器科技公司)。

### 2.3 样品测定

称取 0.1 g 的底泥样品置于微波消解罐内罐中,分别加入 5 mL 硝酸、1 mL 氢氟酸、1 mL 盐酸,摇匀盖盖浸泡过夜,然后放入微波消解仪内进行微波加热消解,设定功率为 2000 W,温度为 120 °C,赶酸后用 50 mL 容量瓶定容,同程制备样品空白,待测。元素标样(Cu、Zn、Cr、Pb、Cd、Hg、As)购自国家有色金属及电子材料测试中心。重金属用 Zeenit 700 原子吸收分光光度计以及 AFS-830 原子荧光光度计测定。

### 2.4 数据处理

相关数据使用 Microsoft Excel 2007 录入和整理制表,用 SPSS 19.0 软件进行数据分析。

### 2.5 评价方法

#### 2.5.1 单项污染指数和综合污染指数

采用中国绿色食品发展中心推荐的单项污染指数法和综合污染指数法<sup>[12]</sup>。土壤评价标准采用 GB/T 18407.4-2001《无公害水产品产地环境要求》<sup>[13]</sup>。

单项污染指数法:单个重金属元素的污染程度采用单项污染指数法评价。计算公式为:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

上式中:  $P_i$ —污染物  $i$  的环境质量指数;

$C_i$ —污染物  $i$  的实测浓度(mg/kg);

$S_i$ —无公害质量安全限量(mg/kg)。

评价标准如下:  $P_i < 1$ ——表示未污染;  $P_i > 1$ ——表示污染;且  $P_i$  值越大,则污染越严重。

综合污染指数法:多种重金属的综合污染指数采用内梅罗(Nemerow)指数法,计算公式为:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{P_{i\text{max}}^2 + \bar{P}_i^2}{2}}$$

上式中:  $P_{i\text{max}}$ ——各单因子环境质量污染指数中最大值;

$\bar{P}_i$ ——所有单因子环境质量指数平均值;

$P_{\text{综}}$ ——综合污染指数。

评价标准如下:  $P_{\text{综}} < 0.7$ ——污染等级为安全;  $0.7 < P_{\text{综}} < 1$ ——污染等级为警戒线;  $1 < P_{\text{综}} < 2$ ——污染等级为轻污染;  $2 < P_{\text{综}} < 3$ ——污染等级为中污染;  $P_{\text{综}} > 3$ ——污染等级为重污染。

2.5.2 潜在生态风险评价方法

用 Hakanson 的潜在生态危害指数法评价重金属污染对养殖水产品质量的潜在生态风险。根据该方法, 重金属潜在生态危害系数  $E_r^i$  (ecological harm coefficient)和重金属潜在生态危害指 RI(ecological risk index)的计算公式分别为

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_f^i = T_r^i \cdot C_s^i / C_n^i$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \cdot C_f^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \cdot C_s^i / C_n^i$$

式中:  $E_r^i$  为重金属 i 的潜在生态危害系数;  
 $T_r^i$  为重金属 i 的毒性响应系数(见表 1);  
 $C_f^i$  为第 i 种重金属元素的污染系数;  
 $C_s^i$  为沉积物中第 i 种重金属含量的实测值 (mg/kg);  
 $C_n^i$  为重金属 i 的背景参比值(采用全国土壤背景值, 见表 1)。

并且, 参照 Hakanson 方法, 根据重金属生态危害系数( $E_r^i$ )和生态危害指数(RI)对沉积物中重金属污染程度进行分级(见表 2)。

表 1 重金属的参比值( $C_n^i$ )和毒性系数( $T_r^i$ )<sup>[14]</sup>

Table 1 Reference values ( $C_n^i$ ) and toxicity factor ( $T_r^i$ ) of heavy metals

元素	Cu	Zn	Cr	Pb	Cd	As
$C_n^i$ (mg/kg)	50	175	90	70	1	15
$T_r^i$	5	1	2	5	30	10

表 2 生态危害系数、指数与危害程度分级<sup>[15]</sup>

Table 2 Logical risk degrees corresponding to the potential ecological risk index and factor

生态危害程度	轻微	中等	强	很强	极强
$E_r^i$	<40	40~80	80~160	160~32	320
RI	<150	150~300	300~600	600	

3 结果与分析

3.1 养殖场沉积物中重金属含量

17 家池塘底泥中重金属含量检测分析结果如表

3。Cu、Zn、Cr、Pb、Cd、Hg、As 的平均值含量分别为 17.85(8.57~30.30)、50.27(26.73~78.69)、33.09 (4.50~80.02)、14.50(8.41~36.02)、0.06(0.008~0.137)、未检出、1.98(0.92~3.15)mg/kg(湿)。北京地区池塘底泥中重金属的平均含量从大到小依次为 Zn > Cr > Cu > Pb > As > Cd > Hg, 表明在北京地区池塘底泥中重金属 Zn 和 Cr 的含量较高, Cd 和 Hg 的含量较低。依据《无公害水产品产地环境要求》要求养殖池塘底泥中 Cu、Zn、Cr、Pb、Cd、Hg 和 As 的含量应分别 30、150、50、50、0.5、0.2、20 mg/kg(湿)。可知 17 家池塘底泥中各重金属平均含量均未超过标准限制值要求。

从标准偏差和变异系数的统计结果来看, 北京地区池塘底泥中 7 种重金属的标准差顺序依次为 Cr > Zn > Pb > Cu > As > Cd > Hg, 其中, 重金属 Cr 和 Zn 的标准差较大, 重金属 As、Cd 及 Hg 的标准差较小; 7 种重金属的变异系数从大到小依次为 Cd > Cr > Pb > Cu > As > Zn > Hg, 其中, 重金属 Cd 和 Cr 的变异系数较大, 重金属 As、Zn 及 Hg 的变异系数较小。说明, 北京地区池塘底泥中各元素间的标准差和变异系数均相差较大, 反映了池塘底泥中各采样点 7 种重金属污染状况有较大差异<sup>[16]</sup>。

3.2 养殖池塘底泥中重金属污染状况评价

北京地区养殖池塘重金属单项污染指数和综合污染指数见表 4。计算可知, 北京地区池塘底泥中除重金属 Cr 出现单项污染指数  $P_i > 1$ , 受到重金属 Cr 污染, 其余重金属单项污染指数均  $P_i < 1$  未受到污染, 说明北京地区个别养殖场池塘底泥受到 Cr 污染; 从综合污染指数来看, Cu 的综合污染指数  $P_m > 0.7$ , 说明 Cu 的污染处于警戒线, 需要引起重视; Cr 综合污染指数  $1 < P_m < 2$ , 说明北京地区养殖池塘底泥中 Cr 为轻度污染, 需进行污染控制和底泥疏浚治理; 其余重金属 Zn、Pb、Cd、Hg 和 As 的综合污染指数  $P_m < 0.7$ , 表明这 5 种重金属污染等级均为安全。

3.3 养殖池塘底泥中重金属生态风险评价

北京 17 家养殖场池塘底泥中重金属潜在生态危害系数均小于 40, 属于轻微污染。重金属的潜在生态危害系数从大到小依次为 Cd > Cu > Pb > As > Cr > Zn。各采样点重金属潜在生态危害指数均小于 150, 属于低潜在生态风险水平, 如表 5 所示。因此, 池塘底泥中重金属含量蓄积对养殖环境影响较小。

表 3 池塘底泥污染物含量(湿重)  
Table 3 Concentrations of contaminants in sediments of aquaculture ponds (wet matter)

	Cu(mg/kg)	Zn(mg/kg)	Cr(mg/kg)	Pb(mg/kg)	Cd(mg/kg)	Hg(mg/kg)	As(mg/kg)
1	15.58	39.61	26.17	8.44	0.014	—	2.00
2	9.75	39.52	33.36	8.61	0.013	—	1.57
3	30.3	76.67	34.94	10.38	0.137	—	1.89
4	20.05	48.52	34.27	11.17	0.059	—	3.15
5	12.28	34.37	24.55	13.03	0.052	—	1.58
6	19.12	54.05	27.69	15.78	0.065	—	2.19
7	14.24	78.69	4.5	11.37	0.108	—	1.78
8	29.56	55.89	30.2	9.74	0.115	—	1.24
9	24.31	43.12	22.48	8.41	0.062	—	2.15
10	8.57	26.73	11.51	10.1	0.031	—	0.97
11	9.58	29.23	7.19	20.71	0.008	—	0.92
12	25.63	69.34	80.02	16.06	0.086	—	1.96
13	11.45	50.27	43.27	36.02	0.046	—	1.88
14	14.48	49.35	47.37	26.01	0.043	—	2.45
15	16.58	56.11	45.91	12.28	0.043	—	2.97
16	24.16	56.94	51.19	11.67	0.033	—	2.80
17	17.83	46.24	37.89	16.69	0.039	—	2.17
范围值	8.57~30.30	26.73~78.69	4.50~80.02	8.41~36.02	0.008~0.137	—	0.92~3.15
平均值	17.85	50.27	33.09	14.50	0.06	—	1.98
标准差	6.91	14.88	18.12	7.27	0.37	—	0.63
变异系数	0.39	0.30	0.55	0.50	6.17	—	0.32

注: —表示未检出

表 4 池塘底泥重金属污染指数  
Table 4 Pollution index of heavy metals in the aquaculture sediment

	Cu(mg/kg)	Zn(mg/kg)	Cr(mg/kg)	Pb(mg/kg)	Cd(mg/kg)	Hg(mg/kg)	As(mg/kg)
1	0.52	0.26	0.52	0.17	0.03	0.01	0.10
2	0.33	0.26	0.67	0.17	0.03	0.01	0.08
3	1.01	0.51	0.70	0.21	0.27	0.01	0.09
4	0.67	0.32	0.69	0.22	0.12	0.01	0.16
5	0.41	0.23	0.49	0.26	0.10	0.01	0.08
6	0.64	0.36	0.55	0.32	0.13	0.01	0.11
7	0.47	0.52	0.09	0.23	0.22	0.01	0.09
8	0.99	0.37	0.60	0.19	0.23	0.01	0.06

续表 4

	Cu(mg/kg)	Zn(mg/kg)	Cr(mg/kg)	Pb(mg/kg)	Cd(mg/kg)	Hg(mg/kg)	As(mg/kg)
9	0.81	0.29	0.45	0.17	0.12	0.01	0.11
10	0.29	0.18	0.23	0.20	0.06	0.01	0.05
11	0.32	0.19	0.14	0.41	0.02	0.01	0.05
12	0.85	0.46	1.60	0.32	0.17	0.01	0.10
13	0.38	0.34	0.87	0.72	0.09	0.01	0.09
14	0.48	0.33	0.95	0.52	0.09	0.01	0.12
15	0.55	0.37	0.92	0.25	0.09	0.01	0.15
16	0.81	0.38	1.02	0.23	0.07	0.01	0.14
17	0.59	0.31	0.76	0.33	0.08	0.01	0.11
平均污染指数	0.60	0.34	0.66	0.29	0.11	0.01	0.10
最大污染指数	1.01	0.38	1.60	0.72	0.27	0.01	0.16
综合污染指数	0.83	0.36	1.22	0.55	0.21	0.01	0.13

注: 汞含量值以土壤检出限值的一半计算

表 5 沉积物中重金属潜在生态危害系数和危害指数  
Table 5 Potential ecological risk factor and index of heavy metals in the sediment

养殖场	$E_r^i$							RI
	Cu	Zn	Cr	Pb	Cd	As	Hg	
1	2.23	0.40	0.58	1.21	2.10	1.33	—	7.84
2	1.39	0.40	0.74	1.23	1.95	1.05	—	6.76
3	4.33	0.77	0.78	1.48	20.55	1.26	—	29.16
4	2.86	0.49	0.76	1.60	8.85	2.10	—	16.66
5	1.75	0.34	0.55	1.86	7.80	1.05	—	13.36
6	2.73	0.54	0.62	2.25	9.75	1.46	—	17.35
7	2.03	0.79	0.10	1.62	16.20	1.19	—	21.93
8	4.22	0.56	0.67	1.39	17.25	0.83	—	24.92
9	3.47	0.43	0.50	1.20	9.30	1.43	—	16.34
10	1.22	0.27	0.26	1.44	4.65	0.65	—	8.49
11	1.37	0.29	0.16	2.96	1.20	0.61	—	6.59
12	3.66	0.69	1.78	2.29	12.90	1.31	—	22.63
13	1.64	0.50	0.96	5.15	6.90	1.25	—	16.40
14	2.07	0.49	1.05	3.72	6.45	1.63	—	15.41
15	2.37	0.56	1.02	1.75	6.45	1.98	—	14.13
16	3.45	0.57	1.14	1.67	4.95	1.87	—	13.64
17	2.55	0.46	0.84	2.38	5.85	1.45	—	13.53
平均值	2.55	0.50	0.74	2.07	8.42	1.32	—	

## 4 结论

水产养殖中的重金属污染分为外源性和内源性,外源性通常指工农业生产中的重金属污染物通过大气沉降、雨水冲刷、随废水排放等途径进入水体引起污染;内源性指在养殖过程中,由于饲料的投放、渔药的施用等养殖行为所导致的重金属污染。重金属由于具有持久性、生物富集和放大作用而一直受国内外环境学家的关注。然而重金属含量的升高,将严重影响着人类及其他生物的健康与生存,如 Hg、As、Cr 能引起神经系统疾病和有致痛作用。

本次通过使用原子吸收分光光度法和原子荧光分光光度法测定底泥中 Cu、Zn、Cr、Pb、Cd、Hg、As 含量,并对其污染特征进行研究。北京地区 17 家池塘底泥中所有养殖场 7 种重金属的平均值、标准差及变异系数的结果可知池塘底泥中各污染物含量均为未超过标准限制值;从标准偏差和变异系数的统计结果来看,池塘底泥在 7 种重金属污染情况下污染程度不同,这可能与饲料等投入品中携带的重金属、人类活动影响的大小及方式等有关。单项污染指数和综合污染指数结果表明,北京地区个别养殖场池塘底泥受到 Cr 污染, Cu 处于轻度污染,亟需进行污染控制和底泥疏浚治理。总体而言,北京地区 17 家养殖场池塘底泥中重金属含量的蓄积对养殖水产品质量影响较小,适宜水产养殖。

## 参考文献

- [1] 冯艳红,林玉锁,张孝飞,等. 苏南地区农村河塘底泥中重金属污染调查与评价[J]. 环境监测管理与技术, 2007, 19(5): 19-22.  
Feng YH, Lin YS, Zhang XF, *et al.* Investigation and assessment on heavy metal pollution in ponds sediment of southern Jiangsu province[J]. *Acmin Tech Environ Monit*, 2007, 19(5): 19-22.
- [2] Yu SQ, Xu WF, Wang QY. Heavy metal pollution in the river sediment in Hangzhou and assessment of its potential ecological risk [J]. *Sichuan Environ*, 2011, 30(4): 36-43.
- [3] Voincent SA. Determination of metal enrichment factors [J]. *Environ Sci Technol*, 1991 (25): 1760-1766.
- [4] Bai JH, Cui AS, Chen B, *et al.* Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China [J]. *Ecol Model*, 2011, 222(2): 301-306.
- [5] 何光俊,李俊飞,谷丽萍,等. 河流底泥的重金属污染现状及治理进展[J]. *水利渔业*, 2007, 27(5): 60-62.  
He GJ, Li JF, Gu LP, *et al.* Pollution and treatment of heavy metals in the mud of rivers [J]. *Res Fish*, 2007, 27(5): 60-62.
- [6] 李海燕,黄延,王崇臣. 北京西城区雨水管道沉积物中重金属污染风险评价[J]. *环境污染与防治*, 2010, 32(3): 28-33.  
Li HY, Huang Y, Wang CC, *et al.* Assessment on the pollution risk of heavy metal in the storm sewer sediments in Xicheng District, Beijing [J]. *Environ Pollut Control*, 2010, 32(3): 28-33.
- [7] 吴芝瑛,虞左明,盛海燕,等. 杭州西湖底泥疏浚工程的生态效应[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(3): 277-284.  
Wu ZY, Yu ZM, Sheng HY, *et al.* Ecological effects of the dredging in the West Lake, Hangzhou [J]. *J Lake Sci*, 2008, 20(3): 277-284.
- [8] 赵汉取,韦肖杭,王俊,等. 浙北地区养殖池塘表层沉积物重金属潜在生态风险评价[J]. *安全与环境学报*, 2014, 14(2): 224-229.  
Zhao HQ, Wei XH, Wang J, *et al.* Ecological risk assessment of the sediments in the aqua-cultural ponds in terms of heavy-metal pollution in the northern part of Zhejiang [J]. *J Saf Environ*, 2014, 14(2): 224-229.
- [9] 余世清,许文锋,王泉源. 杭州城区河道底泥重金属污染及潜在生态风险评价[J]. *四川环境*, 2011, 30(4): 36-43.  
YU SQ, Xu WF, Wang QY. Heavy metal pollution in the river sediment in hangzhou and assessment of its potential ecological risk [J]. *Sichuan Environ*, 2011, 30(4): 36-43.
- [10] Voincent SA. Determination of metal enrichment factors [J]. *Environ Sci Technol*, 1991(25): 1760-1766.
- [11] 陈守莉,王平祖,秦明周,等. 太湖流域典型湖泊沉积物中重金属污染的分布特征[J]. *江苏农业学报*, 2007, 23(2): 124-130.  
Chen SL, Wang PZ, Qin MZ, *et al.* Distribution characterization of heavy metal pollution in typical sediment from lake taihu region [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 2007, 23(2): 124-130.
- [12] 贾成霞,张清靖,刘盼,等. 北京地区养殖池塘底泥中重金属的分布及污染特征[J]. *水产科学*, 2011, 30(1): 17-21.  
Jia CX, Zhang QJ, Liu P, *et al.* Heavy metal distribution and pollution characteristics in sediments of aquaculture ponds in Beijing area [J]. *Fish Sci*, 2011, 30(1): 17-21.
- [13] GB/T 18407.4-2001 农产品安全-无公害水产品产地环境要求[S].  
GB/T 18407.4-2001 Safety qualification for agricultural product—Environmental requirements requirements for origin of non-environmental pollution aquatic products [S].
- [14] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control-A sediment ecological approach [J]. *Water Res*, 1980, 14: 975-1000.

[15] 吕彩云. 重金属检测方法研究综述[J]. 资源开发与市场, 2008, 24(10): 887-889.

Lv CY. Review on the detection methods of heavy metals [J]. Resour Dev Market, 2008, 24(10): 887-889.

[16] 王霞, 黄河上游典型地区底泥重金属调查与污染评价[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2014.

Wang X. Investigation and pollution assessment of heavy metals in surface sediments form typical regions in upstream of Yellow River [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2014.

(责任编辑: 金延秋)

## 作者简介



宗 超, 硕士, 工程师, 主要研究方向为水产品质量安全。

E-mail: zongchao2000@163.com



张 莹, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为水产品质量安全。

E-mail: yingzhang7875@163.com