

DOI:CNKI:61-1390/S.20111025.1731.020

网络出版时间:2011-10-25 17:31

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20111025.1731.020.html>

黄河兰州鲇肌体重金属及有机氯的污染特征

杨元昊¹,任惠丽¹,张世羊²,杨娟宁¹,王绿洲¹,王立新³,李维平¹

(1 中国水产科学研究院 黄河水产研究所,农业部渔业环境及水产品质量中心,陕西 西安 710086;

2 中国水产科学研究院 长江水产研究所,湖北 武汉 430223;3 西北农林科技大学 动物科技学院,陕西 杨凌 712100)

[摘要] 【目的】了解黄河濒危鱼类兰州鲇(*Silurus lanzhouensis*)肌体污染物的残留现状,为黄河濒危鱼类资源保护和黄河水域水产品质量安全评价提供背景资料。【方法】采用国标法,测定了黄河港口至三门峡段兰州鲇肌体中铜(Cu)、锌(Zn)、铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)、硒(Se)、六六六(HCHs= α -HCH+ β -HCH+ γ -HCH+ δ -HCH)、滴滴涕(DDTs=pp'-DDE+op'-DDT+pp'-DDD+pp'-DDT)等 9 种污染物的残留状况,并与相同生境中的黄河鲤(*Cyprinus carpio*)和鲫(*Carassius auratus*)进行了比较研究。【结果】兰州鲇肌体重金属残留水平远高于黄河鲤和鲫,Hg、Cu、Zn、Pb、Cd、Se 等的检出率为 100%,As 的检出率为 54.5%,HCHs 和 DDTs 的检出率为 0。研究水域鱼类肌体主要残留物为 Hg、Se、Pb 和 Cd,其中 Hg 的残留量最高,但除 1 个兰州鲇样品 Hg 含量超标外,其他检测指标的超标率均为 0。均值污染指数表明,兰州鲇肌体污染物残留属于正常背景或轻污染水平,且三门峡段兰州鲇的受污染程度高于港口段,与水质监测结果保持一致。黄河港口至三门峡段水体受 Hg 的污染程度最高,Pb 和 Cd 次之,Cu 和 Zn 最低。兰州鲇肌体中 Cu 与 Zn、Pb 与 Zn、As 与 Zn 及 As 与 Pb 含量之间存在显著的正相关关系($P<0.05$)。【结论】黄河兰州鲇肌体污染物残留属于正常背景或轻污染水平,且主要受水质的影响。因此,应积极防治黄河水域污染,以加强对兰州鲇的资源保护,并确保食用安全。

[关键词] 兰州鲇;重金属;污染指数;污染物残留

[中图分类号] S932.4;X503.225

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2011)12-0067-08

Characteristics of heavy metal and organochlorin pollution in the muscle of *Silurus lanzhouensis* living in the Yellow River

YANG Yuan-hao¹,REN Hui-li¹,ZHANG Shi-yang²,YANG Juan-ning¹,
WANG Lü-zhou¹,WANG Li-xin³,LI Wei-ping¹

(1 Yellow River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Supervision & Test Center for Fisheries Environment and Quality of Fishery Products of Ministry of Agriculture, Xi'an, Shaanxi 710086, China;

2 Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan, Hubei 430223, China;

3 College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】The study was done to investigate pollutant residues in the muscle of endangered fish *Silurus lanzhouensis* that only lives in the Yellow River so as to provide background information for conservation of endangered fishery resources and for aquatic product quality and safety within the Yellow River basin. 【Method】We investigated residues of Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, As, Se, HCHs (HCHs= α -HCH+ β -HCH+ γ -HCH+ δ -HCH) and DDTs (DDTs=pp'-DDE+op'-DDT+pp'-DDD+pp'-DDT) in

* [收稿日期] 2011-06-14

[基金项目] 陕西省科技计划项目(2011K01-13);中国水产科学研究院科研基金项目(2003-01-05);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2011JBFZ03)

[作者简介] 杨元昊(1975—),男,甘肃灵台人,副研究员,硕士,主要从事水产动物营养与水产品质量安全研究。

E-mail: yangyh_010@yahoo.com.cn

[通信作者] 张世羊(1980—),男,安徽庐江人,助理研究员,博士,主要从事环境生物学研究。E-mail: zhangshiyang7@126.com

the muscle of *S. lanzhouensis*, which were captured from Gangkou to Sanmenxia at the Yellow River, and compared with *Cyprinus carpio* and *Carassius auratus* living in the same niche in 2004 and 2005. 【Result】 The results showed a 100% detectable rate for Hg, Cu, Zn, Pb, Cd and Se, 54.5% for As, and 0 for HCHs and DDTs. Heavy metal residues in the muscle of *S. lanzhouensis* were much higher than those in the muscles of *C. carpio* and *C. auratus*. The main residues in the muscle of fishes captured from the survey area were Hg, Se, Pb and Cd, among which Hg residue was the maximum. There was only one sample with standard-exceeding content of Hg, while the remains were below the national standards versus the detected parameters. The average pollution index indicated that the contamination of *S. lanzhouensis* was in background or in a light level, and it was heavier at Sanmenxia than at Gangkou, which was in accordance with the results of water quality monitoring. Water quality monitoring also revealed that the greatest degree of pollution for the investigated reaches was induced by Hg, followed by Pb and Cd. There were significant ($P < 0.05$) and positive correlations between Cu&Zn, Pb&Zn, As&Zn, and As&Pb in the muscle of *S. lanzhouensis*. 【Conclusion】 Pollutant residues in the muscle of *S. lanzhouensis* were in background or in a light-pollution level, and were strongly associated with the surrounding environment. Hence, prevention and control of water pollution within the Yellow River basin is of vital importance to fortify the conservation of *S. lanzhouensis* resources and to ensure consumption safety.

Key words: *Silurus lanzhouensis*; heavy metal; pollutant index; pollutant residue

兰州鲇(*Silurus lanzhouensis*)是中国特有的世界濒危鱼类^[1],由陈湘舜^[2]于1977年首次定名。该种仅分布于我国黄河中上游水域,其中黄河港口至三门峡段有一定数量分布^[3-4]。近年来,由于黄河水域遭受不同程度的污染,加上生态环境的破坏,兰州鲇野生种群数量日益减少,资源量急剧下降。

现有关于兰州鲇的研究多集中于其生理生化和营养价值方面^[5-6],关于污染物在兰州鲇肌体中的残留及其对兰州鲇种群影响的报道较少。本研究调查了黄河港口至三门峡段水域兰州鲇、黄河鲤(*Cyprinus carpio*)和鲫(*Carassius auratus*)3种主产鱼肌体中重金属和有机氯农药的残留状况,探讨了兰州鲇肌体中不同重金属残留之间的关系,同时分析了该河段的水质特征,以为黄河濒危鱼类资源的保护和黄河水域水产品的质量安全评价提供背景资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

于2004和2005年在黄河港口至三门峡段采集兰州鲇、黄河鲤和鲫鱼鲜活样本,共采集到兰州鲇42尾、黄河鲤9尾、鲫鱼2尾。按照SC/T 3016—2004《水产品抽样方法标准》中“每组3~4尾鱼组成1个样品”,对采集的样品进行分组。先将采集到的兰州鲇按采样时间和采样点进行归类,对每一类再进行随机分组,共分为11组;黄河鲤分成3组,每组3尾;黄河中鲫鱼资源量少,样本量较小,所采集的2

尾归为1组。取同一组鱼头后背部两侧至尾柄前的去皮去骨肌肉,混合匀浆后作为一个样品,用塑料袋装好密封,编号后于-36℃冰箱中保存待检。同时,为分析调查河段水体的背景特征,于港口和三门峡处各设一个断面,每个断面设3个重复。水样采集按GB 12999—91《水质采样 样品的保存和管理技术规定》进行。

1.2 方法

采用国标法测定新鲜鱼体的重金属及农药残留^[7]。其中锌(Zn)、铁(Fe)用火焰原子吸收光谱法测定,铜(Cu)、铅(Pb)、镉(Cd)用石墨炉原子吸收光谱法测定,砷(As)、汞(Hg)、硒(Se)用原子荧光法测定,六六六 HCHs ($\text{HCHs} = \alpha\text{-HCH} + \beta\text{-HCH} + \gamma\text{-HCH} + \delta\text{-HCH}$)、滴滴涕 DDTs ($\text{DDTs} = \text{pp}'\text{-DDE} + \text{op}'\text{-DDT} + \text{pp}'\text{-DDD} + \text{pp}'\text{-DDT}$)用气相色谱法(ECD检测器)测定。本试验中Hg、As、Pb和Cd的检出限分别为0.15, 10, 5和0.1 $\mu\text{g/kg}$, HCHs和DDTs的检出限分别为0.315和4.63 $\mu\text{g/kg}$ 。以上检测数据均为每kg新鲜鱼肉中的污染物残留质量。

水样中的Cu和Zn用火焰原子吸收光谱法测定,Pb和Cd用石墨炉原子吸收光谱法测定,Hg用原子荧光法测定,总磷(TP)、总氮(TN)和化学需氧量(COD)分别用钼酸铵分光光度法、碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法和重铬酸盐法测定。

1.3 数据处理

数据用“平均值±标准差”(Mean±SD)表示。在进行差异性分析之前,各组数据先用 Shapiro-Wilks test 检验其正态分布以确定适宜的统计方法。本研究采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)探讨鱼肌体不同重金属残留之间的差异,用 Levene’s test 检验方差齐性,用 LSD(Least significant difference)法进行多重比较;用独立样本 *t* 检验比较兰州鲇肌体及水体重金属含量在不同河段间的差异。上述分析在 SPSS 13.0 软件中完成,对重金属残留之间的线性拟合在 Origin 7.0 软件中完成。所有分析的显著水平确定为 *P*<0.05。采用单项污

染指数(污染物实测值与评价标准值的比值)、综合污染指数(各污染物单项污染指数之和)、均值污染指数(各污染物单项污染指数的平均值)和负荷比(某种污染物的单项污染指数占全部污染物单项污染指数总和的百分比)进行污染物残留评价^[8]。

2 结果与分析

2.1 黄河中上游水域不同年份 3 种鱼肌体内的重金属残留量

兰州鲇、黄河鲤和鲫鱼肌体中 7 种重金属污染物的测定结果见表 1,同时还测定了兰州鲇肌体中的 Fe,其含量为(8.31±5.89) mg/kg。

表 1 黄河中上游水域不同年份 3 种鱼肌体内的重金属残留量
Table 1 Heavy metal residues in the muscle of the 3 captured fishes differing in years
in the middle and up reaches of the Yellow River

年份 Year	鱼类 Species	项目 Item	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	As	Se
2004	兰州鲇 (<i>n</i> =5) <i>S. lanzhouensis</i>	含量 Content range	0.05~0.44	5.6~18	0.06~0.40	0.007~0.020	0.003~0.25	0.05~0.50	0.34~0.37
		平均值±标准差 Mean±SD	0.23±0.14	12±6.3	0.18±0.16	0.013±0.006	0.14±0.13	0.22±0.21	0.36±0.02
2005	兰州鲇 (<i>n</i> =6) <i>S. lanzhouensis</i>	含量 Content range	0.07~0.16	5.5~9.6	0.01~0.06	0.008~0.059	0.009~0.31	ND~0.02	0.12~0.64
		平均值±标准差 Mean±SD	0.10±0.03	7.8±1.8	0.03±0.02	0.018±0.020	0.10±0.14	0.008±0.007	0.28±0.18
	黄河鲤 (<i>n</i> =3) <i>C. carpio</i>	含量 Content range	0.06~0.11	5.6~9.7	0.01~0.03	0.006~0.011	0.009~0.011	ND	—
		平均值±标准差 Mean±SD	0.09±0.03	7.6±2.9	0.02±0.01	0.009±0.003	0.010±0.001	ND	—
	鲫鱼(<i>n</i> =1) <i>C. auratus</i>	含量 Content	0.09	10	0.02	0.010	0.011	ND	—
总体污染统计(<i>n</i> =15) Collective statistics of content			含量 Content range	0.05~0.44	5.5~18	0.01~0.40	0.006~0.059	0.003~0.31	ND~0.50
			平均值±标准差 Mean±SD	0.14±0.11	9.2±3.7	0.08±0.12	0.014±0.013	0.10±0.12	0.08±0.16
									0.31±0.15

注:*n* 为样本量,“ND”表示未检出,“—”表示未做测定或计算。
Note:*n* indicates sample size,“ND” means non-detected,“—” means undetermined or uncalculated.

由表 1 可知,兰州鲇肌体中各种重金属元素含量由高到低依次为 Zn>Fe>Se>Cu>Hg>As>Pb>Cd;黄河鲤和鲫鱼肌体中各元素含量高低顺序相同,均为 Zn>Cu>Pb>Hg>Cd>As,黄河鲤肌体中的 Zn 含量显著高于 Cu、Pb、Hg、Cd 和 As(多重比较 LSD,*P*<0.05)。历时 2 年的调查结果表明,鱼肌体中 Hg 的检出率为 100%,其中有 1 个兰州鲇样品 Hg 含量超标,达 0.31 mg/kg(标准值为 0.3 mg/kg),而黄河鲤和鲫样品中 Hg 均未超标;兰州鲇肌体中 As 的检出率为 54.5%,黄河鲤和鲫的 As 检出率为 0,超标率均为 0;Cu、Zn、Pb、Cd 和 Se 在 3 种鱼肌体中的检出率均为 100%,但超标率为 0。在检测的 3 种鱼肌体中,重金属含量最高值均出现在兰州鲇样品中。

本研究还测定了兰州鲇、黄河鲤和鲫肌体中的

HCHs、DDTs,但均未检测到这 2 种有机氯农药的残留。

2.2 黄河中上游水域不同年份 3 种鱼肌体中污染物的残留评价

黄河兰州鲇、黄河鲤和鲫 3 种鱼肌体中各检测指标按不同年份的污染指数见表 2。从检测的 9 种污染物的负荷比来看,2004 年兰州鲇肌体中的主要污染物为 Hg、As、Se 和 Pb,4 项污染物的负荷比达 81.1%;2005 年兰州鲇肌体中的主要污染物为 Hg、Se、Cd 和 Zn,4 项污染物的负荷比达 91.6%,2 年中兰州鲇受 Hg 污染最为严重。黄河鲤和鲫肌体的主要污染物均为 Zn 和 Cd,这 2 项污染物占黄河鲤和鲫的负荷比分别为 70.7%和 75.0%。兰州鲇、黄河鲤和鲫肌体受 Cu、HCHs 和 DDTs 的污染均极为轻微。

表 2 黄河中上游水域不同年份 3 种鱼肌体污染物的残留评价

Table 2 Evaluation of pollutant residues in the muscle of the 3 captured fishes differing in years in the middle and up reaches of the Yellow River

年份 Year	鱼类 Species	项目 Item	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	As	Se	HCHs	DDTs	综合污染 指数 Synthetical pollution index	均值污染 指数 Average pollution index
2004	兰州鲇 <i>S. lanzhouensis</i>	单项污染指数 Single pollution index	0.005	0.24	0.36	0.13	0.47	0.44	0.36	—	—	2.01	0.29
		负荷比/% Duty ratio	0.24	11.9	17.9	6.4	23.4	21.9	17.9	—	—		
2005	兰州鲇 <i>S. lanzhouensis</i>	单项污染指数 Single pollution index	0.002	0.16	0.06	0.18	0.33	0.02	0.28	0.002	0.005	1.04	0.12
		负荷比/% Duty ratio	0.19	15.4	5.8	17.3	31.7	1.94	27.2	0.19	0.48		
	黄河鲤 <i>C. carpio</i>	单项污染指数 Single pollution index	0.002	0.15	0.04	0.09	0.03	0.01	—	0.002	0.005	0.34	0.04
		负荷比/% Duty ratio	0.51	45.0	12.9	25.7	9.8	2.9	—	0.47	1.4		
	鲫鱼 <i>C. auratus</i>	单项污染指数 Single pollution index	0.002	0.20	0.04	0.10	0.04	0.01	—	0.002	0.005	0.40	0.05
		负荷比/% Duty ratio	0.50	50.0	10.0	25.0	10.0	2.5	—	0.50	1.25		
总体含量评价 Collective evaluation of content		单项污染指数 Single pollution index	0.003	0.18	0.16	0.14	0.32	0.16	0.31	0.002	0.005	1.28	0.14
		负荷比/% Duty ratio	0.23	14.1	12.5	10.9	25.0	12.5	24.2	0.16	0.39		
评价标准/(mg·kg ⁻¹) Assessment standard			≤50	≤50	≤0.5	≤0.1	≤0.3	≤0.5	≤1.0	≤0.1	≤0.5		

注:未检出参数的污染指数以检出限的一半参与统计。下表同。

Note:Pollution index for non-detected parameters was calculated by half of their detection limits. The following table is the same.

2.3 黄河中上游水域不同河段兰州鲇肌体污染物的残留与评价

表 3 表明,黄河港口段兰州鲇肌体中的主要污染物为 Hg、Se、Pb、Cd 和 Zn,5 项污染物的负荷比达 88.3%;三门峡段主要污染物为 Se、As、Zn 和 Hg,4 项污染物的负荷比达 78.1%。除港口段 Cd 和 Hg 含量较三门峡段略高外,其余几种污染物含量均以三门峡段高于港口段,但统计结果显示,兰州鲇肌体中 9 种污染物的残留量在 2 个河段间均无显著差异(独立样本 *t* 检验, $P>0.05$)。三门峡段兰州鲇综合污染指数和均值污染指数较港口段略高,说明从总体上看,三门峡段兰州鲇受 9 种污染物的污染程度略较港口段严重。

表 3 黄河中上游水域不同河段兰州鲇肌体中污染物的残留与评价

Table 3 Pollutant residues and evaluation in the muscle of *S. lanzhouensis* captured from different sampling sites in the middle and up reaches of the Yellow River

采样点 Sampling site	项目 Item	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	As	Se	HCHs	DDTs	综合污染 指数 Synthetical pollution index	均值污染 指数 Average pollution index
港口 (<i>n</i> =7) Gangkou	平均值/(mg·kg ⁻¹) Mean	0.15	9.4	0.09	0.018	0.15	0.08	0.25	ND	ND	1.47	0.16
	标准差/(mg·kg ⁻¹) SD	0.14	6.0	0.14	0.019	0.14	0.14	0.10	—	—		
	单项污染指数 Single pollution index	0.003	0.19	0.18	0.18	0.50	0.16	0.25	0.002	0.005		
	负荷比/% Duty ratio	0.20	12.9	12.2	12.2	34.0	10.9	17.0	0.14	0.34		

续表 3 Continued table 3

采样点 Sampling site	项目 Item	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	As	Se	HCHs	DDTs	综合污染 指数 Synthetical pollution index	均值污染 指数 Average pollution index
三门峡 (n=4) Sanmenxia	平均值/(mg·kg ⁻¹) Mean	0.18	12	0.10	0.012	0.066	0.14	0.43	ND	ND	1.50	0.17
	标准差/(mg·kg ⁻¹) SD	0.08	5.4	0.13	0.006	0.116	0.24	0.19	—	—		
	单项污染指数 Single pollution index	0.004	0.24	0.20	0.12	0.22	0.28	0.43	0.002	0.005		
	负荷比/% Duty ratio	0.27	16.0	13.3	8.0	14.7	18.7	28.7	0.13	0.33		

2.4 黄河中上游水域兰州鲇肌体中重金属残留量之间的关系

对从兰州鲇肌体中检测到的 Zn、Fe、Se、Cu、Hg、As、Pb、Cd 8 种元素含量进行相关性分析,结果

(图 1)发现,Cu 与 Zn、Pb 与 Zn、As 与 Zn 以及 As 与 Pb 含量之间存在显著的正相关关系,其余元素之间无显著相关性。

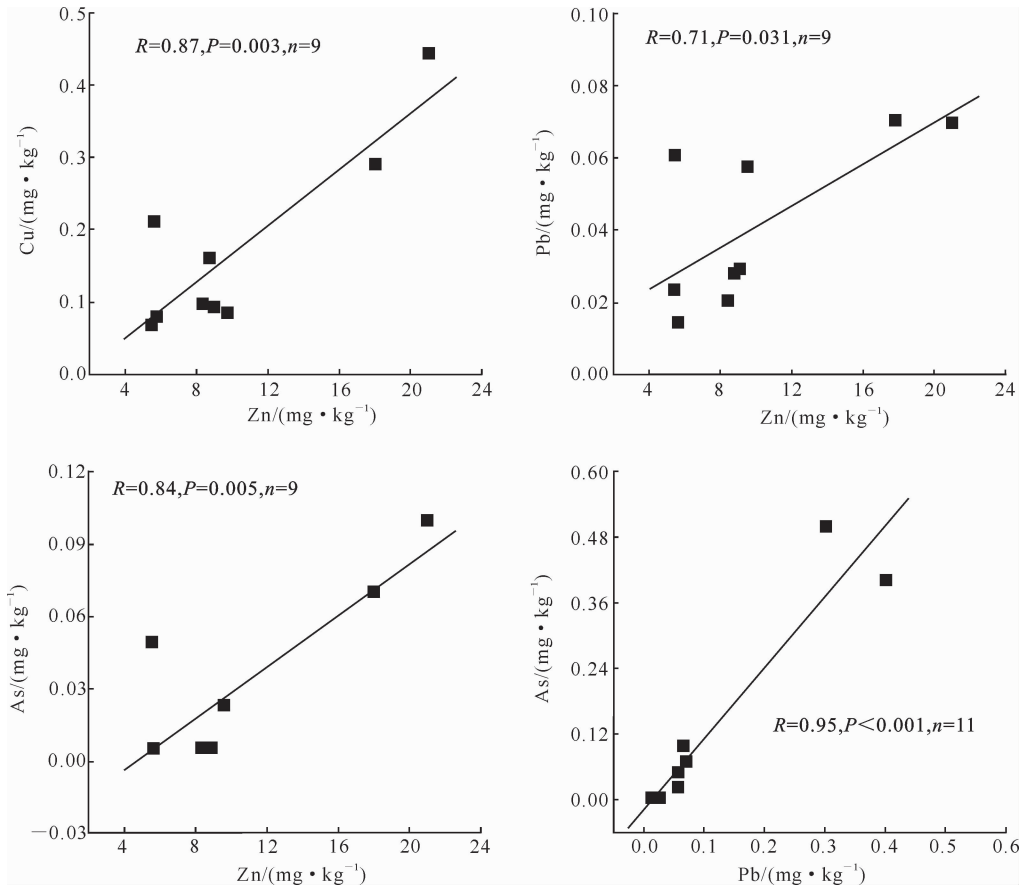


图 1 兰州鲇肌体重金属元素含量之间的线性关系

Fig. 1 Linear relationships between elements in the muscle of *S. lanzhouensis*

2.5 黄河中上游港口至三门峡段水体重金属等污染物的分析

2004 年黄河港口至三门峡段的水质监测结果见表 4。由表 4 可知,黄河水体中 Hg 的平均含量在港口和三门峡 2 个断面分别超标 13 和 10 倍;Pb 的平均含量在港口和三门峡断面分别超标 0.8 和 3.0

倍,Cd 的平均含量在三门峡断面超标 1.0 倍;Cu 和 Zn 的平均含量均未超标。经统计,5 种金属元素含量在 2 个断面间均无显著差异(独立样本 *t* 检验, *P*>0.05)。从总体上看,港口和三门峡 2 个断面水域主要受 Hg、Pb 和 Cd 的污染,其中 Hg 的污染最为严重,Pb 和 Cd 污染次之,Cu 和 Zn 的污染程度最

低。综合污染指数和均值污染指数表明,三门峡段水域的重金属污染程度较港口段严重。本试验同步测定的 TP、TN 和 COD 在所有监测点均超标,超标

范围达 100%,参照 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》进行判定,2 个断面所有监测点位的水质均不符合Ⅲ类水水质标准要求。

表 4 2004 年黄河港口、三门峡断面水体重金属等污染物的含量

Table 4 Summary of pollutant contents (including heavy metal,etc) in the Yellow River from Gangkou to Sanmenxia in 2004

断面 Section	项目 Item	Hg	Cu	Zn	Pb	Cd	TP	TN	COD	综合污 染指数 Synthetical pollution index	均值污 染指数 Average pollution index
港口 (n=3) Gangkou	平均值/(mg·L ⁻¹) Mean	0.001 4	0.16	0.44	0.09	0.002	1.43	5.0	44		
	标准差/(mg·L ⁻¹) SD	0.001 1	0.26	0.66	0.11	0.002	1.24	1.0	6.2	16.8	3.36
	超标率/% Standard- exceeding rate	67.0	0	33.0	33.0	0	100	100	100		
三门峡 (n=3) Sanmenxia	平均值/(mg·L ⁻¹) Mean	0.001 1	0.29	0.63	0.20	0.010	1.40	5.5	52		
	标准差/(mg·L ⁻¹) SD	0.000 8	0.45	1.0	0.28	0.013	1.18	1.5	5.7	17.8	3.56
	超标率/% Standard- exceeding rate	33	0	33	67	33	100	100	100		
总体平均值/(mg·L ⁻¹) Total mean		0.001 3	0.21	0.49	0.12	0.006	1.42	5.2	48		
标准差/(mg·L ⁻¹) SD		0.000 8	0.29	0.72	0.16	0.010	1.17	1.3	7.2	17.4	3.48
Ⅲ类地表水水质标准 Standard of grade Ⅲ for surface water quality		≤0.000 1	≤1.0	≤1.0	≤0.05	≤0.005	≤0.2	≤1.0	≤20		

3 讨 论

3.1 黄河港口至三门峡段鱼类污染及水质状况

黄河港口至三门峡段水域供检鱼类肌体 Cu、Zn、Pb、Cd、Hg、Se 的检出率为 100%,As 的检出率为 42.9%,其中有 1 个兰州鲇样品 Hg 含量超标,其余污染物均未超过国家标准限量规定,表明从黄河港口至三门峡段,这 7 种污染物在鱼肌体内有不同程度的残留,但总体上在国家标准规定范围之内。研究水域内鱼类的主要残留物为 Hg、Se、Pb 和 Cd,其中 Hg 是兰州鲇肌体中最为严重的残留物。3 种鱼肌体中 Cu 的残留量最低,HCHs 和 DDTs 均未检出。HCHs 和 DDTs 这 2 种有机氯农药通过饲料和环境途径影响着水产品的质量安全,这 2 种农药在我国有 30 多年的使用历史,但在 1983 年已停止生产和使用。本研究调查的鱼类肌体中均未检出 HCHs 和 DDTs,说明该段黄河水域中鱼类受这 2 种有机氯农药污染的程度较轻。

目前,有关重金属残留污染等级尚无统一的评价标准。一般认为,均值污染指数<0.2 为正常背景水平,≥0.2~0.6 为轻污染水平,≥0.6~1.0 为污染水平,≥1.0 为重污染水平^[8]。按照这一标准,

2004 年兰州鲇均值污染指数为 0.29,属轻污染水平,2005 年兰州鲇、黄河鲤和鲫的均值污染指数分别为 0.12、0.04 和 0.05,均处在正常背景水平。综合污染指数能较全面地反映鱼体对污染物的总体积累情况,从这一指标来看,几种供测鱼样受到检测污染物的威胁顺序为:2004 年兰州鲇>2005 年兰州鲇>2005 年鲫>2005 年黄河鲤。本研究中采集到的鲫鱼数量十分有限,而且规格很小,仅能组成 1 个分析样品,故对鲫鱼数据只做了一般性比较,这一情况也说明,曾作为黄河主产鱼类之一的鲫鱼,其资源严重枯竭,因此,后续研究中应进一步深入开展黄河水域鲫鱼资源衰退原因的相关研究。

此外,由污染指数可知,三门峡段兰州鲇受 Cu、Zn、Pb、Cd、Hg、As、Se、HCHs 和 DDTs 等 9 种污染物的污染程度较港口段严重,这与水质监测结果一致。可见,鱼体重金属污染与水质状况密切相关。在调查水域检测的 5 种重金属污染物中,Hg 的污染位居首位,Pb 和 Cd 污染次之,Cu 和 Zn 的污染最低。这些可积累性污染物在水环境中通过鱼类鳃呼吸、体表接触和摄食等途径进入鱼体后,不能或只有部分通过生物代谢作用排出体外,进而造成重金属在生物体内的积累^[9],这可能是该研究水域鱼类肌

体主要残留物为 Hg、Pb 和 Cd 的重要原因之一。关于兰州鲇肌肉重金属水平与黄河水域重金属水平之间的相关关系问题,还需要另行试验进一步研究。

3.2 重金属在鱼体中积累的特点

生物可从环境中摄取重金属,经过食物链的生物放大作用,在生物体内成千万倍地富集,再通过食物进入人体,进而导致人体慢性中毒^[10]。不同鱼类对重金属的积累程度不同,其影响因素主要有:食物链营养级的差异、饵料生物中的重金属含量、饵料生物的种类或个体差异、生物学特征差异、栖息水层、鱼体对重金属的代谢和排毒能力、水环境中的重金属含量及重金属被鱼体吸收过程中相互间的协同或拮抗作用等。一般认为,不同种鱼类对重金属的积累顺序为:肉食性>杂食性>草食性,底层>中、上层;无鳞>有鳞。于常荣等^[11]对松花江鱼类 Hg 污染的研究结果也验证了这一观点。

本次调查结果显示,兰州鲇肌体中的 Hg 残留远高于黄河鲤和鲫,其中 2005 年兰州鲇肌体中的 Hg 含量是黄河鲤和鲫的 10 和 9.09 倍;Cu、Zn、Pb、Cd、As 等 5 种重金属在兰州鲇肌体中的残留也略高于黄河鲤和鲫。在检测的 3 种鱼肌体中,重金属含量的最高值均出现在兰州鲇样品中,这表明重金属在兰州鲇肌体中的残留较黄河鲤和鲫严重。兰州鲇比黄河鲤和鲫更容易富集 Hg 等重金属元素,这是因为黄河鲤和鲫是有鳞杂食性鱼类,食物链相对较短,且栖息在水域的中上层,而兰州鲇是底栖、无鳞肉食性凶猛鱼类^[12-14],食物链相对较长(至少有 4 个环节),容易从环境中积累重金属,而且会经食物链逐级放大。据报道,在加拿大北部,由于采矿业非常发达加上环保力度不足,致使该区域的北极和亚北极鱼类对重金属污染非常敏感,调查发现至少有 22 种具有商业、娱乐或生计价值的鱼类受到了采矿业扩建的影响^[15]。兰州鲇属濒危鱼类,目前资源量相当匮乏。本研究发现,黄河中的兰州鲇受重金属污染的程度远高于相同生境中的黄河鲤和鲫,重金属污染可能会对该种质资源构成一定威胁,因此需要做好黄河水域重金属污染的防治工作,以加强对兰州鲇的资源保护。

3.3 鱼体重金属残留量之间的关系

本研究结果表明,兰州鲇肌体中 Cu 与 Zn、Pb 与 Zn、As 与 Zn 以及 As 与 Pb 的含量之间存在显著的正相关关系,这与孙平跃等^[16]报道的河鲈体内重金属 Cu 与 Zn 的含量之间存在显著的正相关关系一致。重金属在鱼体内富集并呈相关性的原因可能

如下:一方面,鱼类生活的水环境中的重金属含量可能存在一定程度的相关性,如富集水平较高的重金属在水体中的本底含量高;另一方面可能与鱼体对重金属的富集机制有关,如 Cu 和 Zn 都是动物和人体必需的微量元素,它们是一些蛋白和酶的组成成分,起着维持生命正常发育和新陈代谢的作用。而毒性作用较强的 Hg、Pb、As 通过摄食、鳃和体表吸收等途径进入鱼体后,很容易蓄积在鳃、肝脏等部位,这是因为由磷脂组成的鳃膜能提供一个带静负电荷的表面,对游离的金属离子产生直接的吸附^[17];而肝脏作为解毒器官,组织内有大量束缚重金属的金属硫蛋白^[18]。随着鱼体的生长发育,蓄积在鳃和肝脏的重金属再通过血液循环转移至其他组织中。

重金属对人体的危害很大,如 Pb 污染的食品可损害人体的造血系统、神经系统和肾脏等;As 可引起人体胃肠障碍、末梢神经炎、结膜炎等疾病,摄入 As 含量高的食物还会引起肺癌和皮肤癌^[10]。Hg 是生物体内非必需的毒性很强的重金属元素,如长期食用被 Hg 污染的水产品,Hg 就会在人体中积累,使人出现慢性中毒^[19]。本研究发现,黄河港口和三门峡 2 个断面水域中的 Hg 含量均较高,而兰州鲇肌体中 Hg 的残留也较高,说明水体中 Hg 含量与兰州鲇肌体中的 Hg 积累有一定的关系,这也提示应加强黄河水域中 Hg 污染的防治工作,以确保黄河鱼类的食用安全。

4 结 论

本研究于 2004 和 2005 年调查研究了黄河港口至三门峡段濒危鱼类兰州鲇肌体中重金属及有机氯的污染特征,结果发现:

1) 兰州鲇肌体重金属残留水平远高于黄河鲤和鲫,其中 Hg、Cu、Zn、Pb、Cd、Se 等的检出率为 100%,As 的检出率为 54.5%,HCHs 和 DDTs 的检出率为 0。

2) 研究水域鱼类肌体主要重金属残留物为 Hg、Se、Pb 和 Cd,其中 Hg 的残留量最高,除 1 个样品 Hg 含量超标外,其他检测指标的超标率均为 0。

3) 兰州鲇肌体重金属残留属于正常背景或轻污染水平,且三门峡段兰州鲇受污染程度高于港口段。

4) 黄河港口至三门峡段水体受 Hg 的污染程度最高,Pb 和 Cd 次之,Cu 和 Zn 最低。

5) 兰州鲇肌体中 Cu 与 Zn、Pb 与 Zn、As 与 Zn 以及 As 与 Pb 含量之间存在显著的正相关关系

($P < 0.05$)。

[参考文献]

- [1] 汪松,解焱. 中国物种红色名录 [M]. 北京:高等教育出版社,2004:165.
Wang S,Xie Y. China species red list [M]. Beijing:Higher Education Press,2004:165. (in Chinese)
- [2] 陈湘舜. 我国鲢科鱼类的总述 [J]. 水生生物学集刊,1977,6(2):197-216.
Chen X L. A review of the Chinese Siluridae [J]. Acta Hydrobiologica Sinica,1977,6(2):197-216. (in Chinese)
- [3] 褚新洛,郑葆珊,戴定远,等. 中国动物志:硬骨鱼纲,鲢形目 [M]. 北京:科学出版社,1999:77-93.
Chu X L,Zheng B S,Dai D Y,et al. Fauna sinica:Osteichthyes,Siluriformes [M]. Beijing:Science Press,1999:77-93. (in Chinese)
- [4] 陕西省水产研究所,陕西师范大学. 陕西鱼类志 [M]. 西安:陕西科学技术出版社,1992:101-122.
Shaanxi Province Fisheries Research Institute,Shaanxi Normal University. The fishes of Shaanxi [M]. Xi'an:Shaanxi Scientific and Technical Press,1992:101-122. (in Chinese)
- [5] 杨元昊,周继术,吉红,等. 温度对兰州鲇消化酶活性的影响 [J]. 动物学杂志,2006,41(6):104-108.
Yang Y H,Zhou J S,ji H,et al. Effect of temperature on activity of digestive enzymes in *Silurus lanzhouensis* [J]. Chinese Journal of Zoology,2006,41(6):104-108. (in Chinese)
- [6] 杨元昊,李维平,龚月生,等. 兰州鲇肌肉生化成分分析及营养学评价 [J]. 水生生物学报,2009,33(1):54-60.
Yang Y H,Li W P,Gong Y S,et al. Analysis of biochemical composition and evaluation of nutritive quality in muscles of *Silurus lanzhouensis* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica,2009,33(1):54-60. (in Chinese)
- [7] 中华人民共和国农业部,中国国家标准化管理委员会. GB 5009—2003 食品卫生检验方法理化部分 [S]. 北京:中国标准出版社,2004.
Ministry of Health of the People's Republic of China,Standardization Administration of the People's Republic of China. GB 5009—2003 Methods of food hygienic analysis-physical and chemical section [S]. Beijing:Standard Press of China,2004. (in Chinese)
- [8] 魏泰莉,杨婉玲,赖子尼,等. 珠江口水域鱼虾类重金属残留的调查 [J]. 中国水产科学,2002,9(2):172-176.
Wei T L,Yang W L,Lai Z N,et al. Residues of heavy metals in economic aquatic animal muscles in Pearl River estuary,south China [J]. Journal of Fishery Sciences of China,2002,9(2):172-176. (in Chinese)
- [9] Sankar T V,Zynudheen A A,Anandan R,et al. Distribution of organochlorine pesticides and heavy metal residues in fish and shellfish from Calicut region,Kerala,India [J]. Chemosphere,2006,65:583-590.
- [10] Luu T T G,Sthiannopkao S,Kim K W. Arsenic and other trace elements contamination in groundwater and a risk assessment study for the residents in the Kandal Province of Cambodia [J]. Environment International,2009,35(3):455-460.
- [11] 于常荣,梁冬梅,曹喆,等. 松花江鱼类汞污染现状研究 [J]. 环境科学,1994,15(4):35-38.
Yu C R,Liang D M,Cao Z,et al. The study on the status of mercury contamination in fish in the Songhua River [J]. Environmental Sciences,1994,15(4):35-38. (in Chinese)
- [12] 杨元昊,任惠丽,李维平,等. 不同季节中兰州鲇肌肉水解氨基酸 [J]. 西北大学学报:自然科学版,2007,37(5):759-762.
Yang Y H,Ren H L,Li W P,et al. A study on hydrolytic amino acids in muscles of *Silurus lanzhouensis* in different seasons [J]. Journal of Northwest University:Natural Science Edition,2007,37(5):759-762. (in Chinese)
- [13] 杨元昊,王绿洲,周继术,等. 兰州鲇消化器官理化特征及 pH 值对其消化酶活力的影响 [J]. 陕西师范大学学报:自然科学版,2006,34(S2):71-75.
Yang Y H,Wang L Z,Zhou J S,et al. Characters of digestive tract and effect of pH values on activities of digestive enzymes in *Silurus lanzhouensis* [J]. Journal of Shaanxi Normal University:Natural Science Edition,2006,34(S2):71-75. (in Chinese)
- [14] Boeck G D,Meeus W,Coen W D,et al. Tissue-specific Cu bioaccumulation patterns and differences in sensitivity to waterborne Cu in three freshwater fish:rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*),common carp (*Cyprinus carpio*),and gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. Aquatic Toxicology,2004,70(3):179-188.
- [15] Lemly A D. Mining in northern Canada;Expanding the industry while protecting arctic fishes:A review [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety,1994,29(2):229-242.
- [16] 孙平跃,王斌. 长江口区河鲢体内的重金属含量及其污染评价 [J]. 应用与环境生物学报,2003,10(1):79-83.
Sun P Y,Wang B. Metal content and contamination assessment in *Corbicula fluminea* from the Yangtze River eatuary [J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology,2003,10(1):79-83. (in Chinese)
- [17] Gordon K,Pagenkopf G K. Gill surface interaction model for trace metal toxicity to fish;Role of complexation,pH and water hardness [J]. Environmental Science & Technology,1983,17:342-347.
- [18] Allen P. Soft-tissue accumulation of lead in the blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner),and the modifying effects of cadmium and mercury [J]. Biological Trace Element Research,1995,50(3):193-208.
- [19] Dusek L,Svobodova Z,Janouskova D,et al. Bioaccumulation of mercury in muscle tissue of fish in the Elbe River(Czech Republic):Multispecies monitoring study 1991—1996 [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety,2005,61:256-267.