

太湖鱼体中重金属铬的含量及风险评估

张 聪¹, 宋 超², 裘丽萍², 胡庚东², 陈家长^{1,2*}

(1.南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081; 2.中国水产科学研究院淡水渔业研究中心/农业部水产品质量安全环境因子风险评估实验室(无锡), 江苏 无锡 214081)

摘 要:水产品的重金属污染已经受到越来越多的关注,鱼体内的重金属会随着食物链的富集作用对人体健康构成威胁。为了研究太湖淡水鱼重金属铬的生态风险,采集鱼类 22 种,样本量 401 个进行采样分析调查,其中杂食性鱼类 315 条、肉食性鱼类 49 条、草食性鱼类 37 条。采用原子吸收分光光度计对太湖鱼体中铬的含量进行检测,分析其污染状况并对食用安全性进行评价。结果表明:太湖鱼体重金属铬含量在 ND~5.21 mg·kg⁻¹ 之间,有 12 条鱼处于重污染水平;杂食性鱼类的重金属铬含量显著高于草食性鱼类,而与肉食性鱼类的含量没有相关性,可能与鱼类的生活环境有关。风险评估的结果显示,重金属铬超出暂定每周可耐受摄入量(PTWI)的比例为 7.48%,因此食用太湖鱼类可能会对人体健康产生一定的危害。这为评估太湖水产品质量安全提供了一定的参考依据。

关键词:铬;太湖;鱼类;风险评估

中图分类号:X503.225 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2015)07-1254-07 doi:10.11654/jaes.2015.07.005

Content and Risk Assessment of Chromium in Fishes from Taihu Lake

ZHANG Cong¹, SONG Chao², QIU Li-ping², HU Geng-dong², CHEN Jia-zhang^{1,2*}

(1.College of Fishery, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China; 2.Key Laboratory of Ecological Environment and Resources of Inland Fisheries Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: The presence of heavy metals in aquatic products has raised more and more public concerns. Heavy metals may pose a threat to human health through food chain. In this investigation, 401 fish samples were collected from Taihu Lake, which consisted of 315 omnivorous-samples, 49 carnivorous-samples and 37 herbivorous-samples, belonging to 22 species, to study the ecological risk of heavy metal chromium(Cr). The concentrations of chromium in the fish muscle samples were determined using atomic absorption spectrophotometry (AAS), and the pollution and health risk of Cr in fish were then assessed. The content of Cr in fish samples ranged from ND(no detection) to 5.21 mg·kg⁻¹. There were 12 samples at heavy pollution levels. Omnivorous fish contained significantly higher Cr than herbivorous fish did, but Cr in carnivorous fish was not significantly different from that in other two groups. There were 7.48% fish samples whose Cr concentrations exceeded the provisional tolerable weekly intake(PTWI), indicating that consuming fish from the Taihu Lake may cause health problems for human beings.

Keywords: chromium; Taihu Lake; fish; safety assessment

随着工业化进程的加快,经济社会的快速发展,工业及生活废水的排放量不断增加,人们对于重金属污染的关注也不断加强^[1-2]。与其他污染物不同,重金属不能被降解而消除,水体中重金属铬通过食物链的

浓缩和放大作用,在生物体内累积到一定程度就会产生毒害作用^[3],最终威胁人类的健康。重金属铬是一类有蓄积毒性的重金属^[4],它虽然是人体必需的微量元素之一,但摄入过多会对人类健康造成危害,通过消化道、呼吸道系统最终积累在肝脏、肾脏等器官。研究证实,过量的三价铬也可与染色体结合,影响 DNA 的复制^[5],同时六价铬早已被国际癌症研究机构(IARC)列为第一类致癌物^[6]。

太湖是我国第三大淡水湖,近二十年来,由于人

收稿日期:2015-01-21

基金项目:国家水产品质量安全风险评估项目(GJFP2014009);江苏省普通高校研究生科研创新计划项目

作者简介:张 聪(1990—),女,山东济南人,在读硕士,主要从事渔业生态环境研究。E-mail:547669754@qq.com

* 通信作者:陈家长 E-mail:chenjz@ffrc.cn

类围湖造田以及周边重工业的发展,导致太湖水质污染严重。2007 年太湖蓝藻爆发后,尽管相关的治理举措使水质得到一定的改善,但一些学者研究指出,目前太湖水体中重金属铬对水生生态系统具有一定的生态风险^[7],即便太湖沉积物中重金属铬的生态风险较低^[8-9],作为人类可食用部分的鱼类的重金属研究却很少。因此,对太湖鱼体重金属铬的生态风险评估研究十分必要。本文以太湖鱼类为研究对象,分析了其肌肉组织中重金属铬的含量,评价了食用太湖鱼类对人体健康存在的潜在危险,进而对评估太湖水环境质量及水产品安全提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

仪器:WFX-210 原子吸收分光光度计(北京瑞利分析仪器公司),DigiBlock ED54 电热消解仪(北京莱伯泰科仪器股份有限公司),电子分析天平(梅特勒-托利多仪器有限公司)

试剂:硝酸,30%双氧水(国药集团化学试剂有限公司),铬单元素标准溶液(GBW 08614,环境保护部标准样品研究所),铬环境标准样品(GSB 07-1187—2000,环境保护部标准样品研究所)

实验所用玻璃和塑料仪器先用洗涤剂 and 清水清洗,再用 10%硝酸浸泡 24 h 以上,用去离子水冲洗干净。所用试剂均为优级纯。

1.2 样品采集

采用传统捕捞形式的鱼类资源调查方法,于 2014 年 4—6 月在太湖 11 个领域(包括大雷山、大浦、贡湖、横山、科实站、漫山、平台山、汤湾、沈家尧、长兜港、竺山湖)采集鱼类样本 401 尾,装入样品袋中加冰块用保温箱带回实验室,在-20℃冰柜中保存,直至分析时取出。

1.3 样品处理和分析

样品处理:鱼样在室温下自然解冻,测量体长、体重基本数据。用不锈钢剪刀和镊子取鱼背部肌肉,用

分析天平称 1 g 左右放入酸洗过的消解管中,加入浓 HNO₃ 5 mL,盖上盖子并摇匀,室温下预消解过夜;置于恒温电热板上 110℃加热 3 h,冷却后加入 1 mL H₂O₂,于 110℃加热 30 min;冷却后用去离子水定容至 25 mL,混匀备用。同时设置不加样品的空白及加标处理。

样品分析:使用原子吸收分光光度计对样品进行检测,所作标准曲线相关性在 99.5%以上,回收率在 80%~120%之间,检测限在 0.087~4.740 μg·kg⁻¹。每个样品进行两次平行测试,仪器自动扣除试剂空白,两次结果的相对标准偏差均小于 10%,说明所用的分析方法对鱼体肌肉中铬元素的测定具有较高的精度。

1.4 评价标准与方法

1.4.1 鱼体中重金属铬含量规定的标准

不同水产品以及不同的产业对鱼体中重金属含量的要求不同。表 1 为水产品作为食品或添加剂铬的限量标准,据此将其认定为不得高于 2 mg·kg⁻¹。

1.4.2 污染程度评价

采用单因子污染指数法对鱼体中不同重金属污染程度进行分析。其公式为:

$$P_i = C_i / S_i$$

式中: P_i 为单因子污染指数; C_i 为鱼体肌肉组织中某种重金属含量,mg·kg⁻¹; S_i 为某种重金属的评价标准值,mg·kg⁻¹^[13]。

$P_i > 1$ 表示鱼体已经受到该重金属的污染, P_i 越小表明鱼体受重金属的污染越轻,环境质量越好。依据王化泉关于“海洋生物污染评价标准”的探讨^[14]:当 $P_i < 0.2$ 时,表明重金属浓度符合正常范围,处于未污染水平; $0.2 \leq P_i \leq 0.6$ 时,表明处于轻污染水平; $0.6 < P_i < 1.0$ 时,为中度污染水平; $P_i \geq 1.0$ 则为重污染。

1.4.3 食用安全性评价

对于鱼类食用安全评价,国内外一些学者^[15-17]将检测到的重金属含量仅与国家规定标准作对比,这只能定性判断食用鱼类的安全性。鱼类重金属的膳食评估则应该而且可以更准确地评估鱼类的食用安全性,

表 1 水产品作为食品或添加剂铬的限量标准

Table 1 Standard limits for chromium in fishes as food or additives

标准来源	限量值/mg·kg ⁻¹	备注
食品中污染物限量 ^[10] (GB 2762—2012)	≤2.0	水产动物及其制品
农产品质量安全无公害水产品安全要求 ^[11] (GB 18406.4—2001)	≤2.0	无
WHO(1996) ^[12]	铬的摄入不应该超过 250 μg·d ⁻¹	总的水产品,不仅指鱼
欧盟(2003) ^[12]	风险表征结果认为,铬摄入量低于 1 mg·d ⁻¹ ,没有证据表明会产生有害效应	总的水产品,不仅指鱼

确保人类的健康。参照部分研究文献^[2,18-19],我们将计算的居民每周鱼类摄入量与世界卫生组织-食品添加剂联合专家委员会提出的暂定每周可耐受摄入量(PTWI)进行比较,来检测太湖鱼类重金属铬的食用安全性。

上海地区居民人均每周鱼类摄入量 $0.4389\text{ kg}^{[20]}$, 成年人体质量取 65 kg , 根据鱼体重金属含量计算出居民每周实际可摄入重金属铬的量,再与 PTWI 标准作对比,Cr 的 PTWI 为 $0.0067\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1[21]}$,以该量值来评价食用太湖鱼类的安全性。

1.5 数据处理

采用 Excel 对数据进行初步分析,结果用 $\bar{x}\pm SD$ 表示。运用 GraphPad Prism 5 和 JMP7 软件对数据进行分析。

2 结果与评价

2.1 鱼样的生物统计数据

本次试验共采得鱼类样本量 401 个,种类数 22 种,杂食性鱼类有 315 条,肉食性鱼类有 49 条,草食性鱼类有 37 条,其中以蓝藻为食的鲫鱼的样本数占

总数的一半,占有绝对优势。试验采集鱼样种类繁多,不同食性及生活层次的鱼都有涉及,基本可以反映太湖中鱼类重金属含量水平(表 2)。22 种鱼类中有一半为杂食性鱼类且大多生活在底层区域,可以推断出底层杂食性鱼类已经成为太湖鱼类的优势种。

从表 2 可以看出,试验所采集鱼类的体长主要集中在 40 cm 以下,以 20 cm (甚至 10 cm 左右)占主要部分。同样,鱼类的体重主要集中在 150 g 以下,且 50 g 左右的占了相当大一部分。同时,小型鱼类的体长与体重呈现良好的二次拟合,而体型较大的“四大家鱼”则不符合此规律且数量较少。根据采样情况可以看出,随着环境的恶化、湖泊的富营养化,太湖鱼类正在向小型化趋势发展。这与刘恩生等的研究相同,即太湖鱼类组成的均匀程度不断下降,表现为以小型鱼类鲢为绝对优势种的逐渐增加^[22]。

2.2 太湖鱼体内重金属铬的含量

对太湖鱼类肌肉中 Cr 元素分析可知,Cr 的含量在 $\text{ND}\sim 5.21\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,中位数为 $0.2485\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,未检出的有 8 条鱼,检出率为 98%。从图 1 可知,黄颡鱼、似鲮和鲤鱼的 Cr 含量整体略高,所有鱼类 Cr 含

表 2 捕获鱼类的基本数据

Table 2 Basic data of captured fishes

种类	拉丁名	食性	生活层次	样本量	体长平均值/cm	体重平均值/g
棒花	<i>Abbottina rivularis</i>	杂食性	底层	4	10.30 ± 2.14	11.12 ± 9.29
彩鳞	<i>Acheilognathus imberbis</i>	肉食性	静水或缓流水	5	6.74 ± 1.00	3.25 ± 1.04
餐条	<i>Hemiculter leucisculus</i>	杂食性	中上层	7	19.46 ± 0.78	78.90 ± 16.45
革条鲮	<i>Acheilognathus himantegus</i>	杂食性	中上层	10	8.48 ± 1.01	7.48 ± 2.78
草鱼	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	草食性	中下层	1	21.00	127.85
黑鳍鲈	<i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	杂食性	底层	3	9.83 ± 0.76	10.60 ± 3.28
红鳍原鲈	<i>Cultrichthys erythropterus</i>	肉食性	中上层	7	11.94 ± 3.30	15.02 ± 13.50
湖鲮	<i>Coilia ectenes taihuensis</i>	杂食性	成鱼中下层,幼鱼表层	31	13.25 ± 3.01	8.12 ± 5.78
黄颡鱼	<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	肉食性	底层	7	16.23 ± 2.24	52.83 ± 12.97
鲫鱼	<i>Carassius auratus</i>	杂食性	底层	199	16.41 ± 2.65	79.79 ± 34.93
鲤鱼	<i>Cyprinus carpio</i>	杂食性	底层	6	32.93 ± 3.18	474.52 ± 96.33
鲢鱼	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	杂食性	上层	20	25.41 ± 5.38	246.41 ± 182.76
麦穗	<i>Pseudorasbora parva</i>	杂食性	浅水区	20	8.55 ± 1.06	6.80 ± 2.69
鲇鱼	<i>Silurus asotus</i>	肉食性	底层	4	15.50 ± 9.11	74.83 ± 25.74
青鱼	<i>Mylopharyngodon piceus</i>	杂食性	底层	2	19.75 ± 4.60	93.46 ± 64.04
沙塘鳢	<i>Odontobutis potamophila</i>	肉食性	底层	3	12.00 ± 1.00	34.75 ± 14.38
似鲮	<i>Toxabramis swinhonis</i>	杂食性	中上层	4	11.95 ± 0.83	12.79 ± 3.02
团头鲂	<i>Megalobrama amblycephala</i>	草食性	中下层	27	20.37 ± 3.35	121.31 ± 58.51
兴凯鲮	<i>Acheilognathus chankaensis</i>	草食性	水草丛中	8	7.96 ± 1.18	5.32 ± 2.28
鳊鱼	<i>Aristichthys nobilis</i>	杂食性	中上层	9	31.26 ± 9.56	477.13 ± 340.05
中华鲮	<i>Rhodeus sinensis</i>	草食性	底层	1	5.00	1.78
子陵吻鰕虎鱼	<i>Rhinogobius giurinus</i>	肉食性	底层	23	6.62 ± 0.42	3.41 ± 0.64

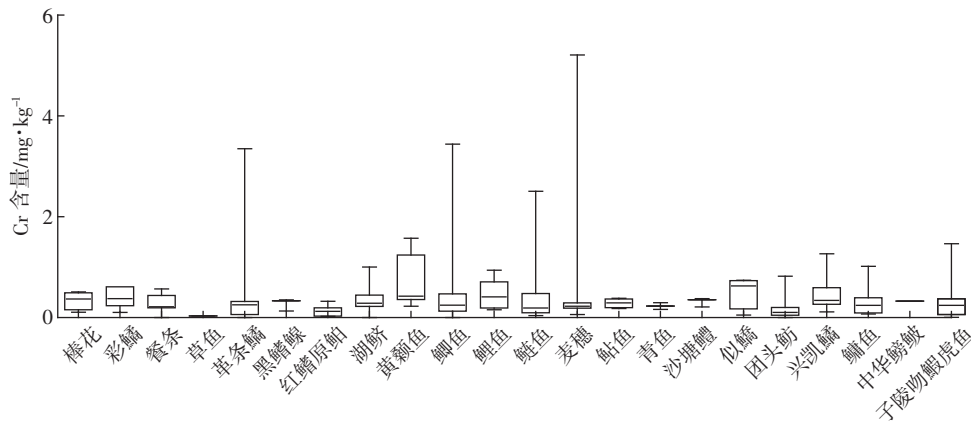
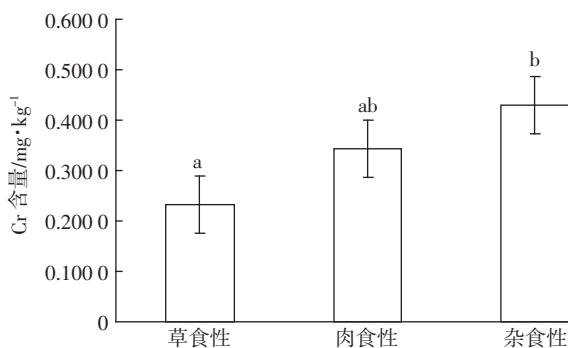


图 1 重金属 Cr 在鱼体内的分布

Figure 1 Distribution of Cr content in fish muscles

量的中位数水平相差不大,但是麦穗、鲫鱼、革条鲮和鲢鱼的个别条数的 Cr 含量明显高于大众水平。鲤鱼、鲢鱼和鲫鱼体内的重金属铬含量都偏高。

针对不同食性的鱼肌肉组织中铬含量水平进行分析发现:杂食性鱼类肌肉中铬含量水平显著高于 ($P<0.05$)草食性鱼类肌肉中的含量,而与肉食性鱼类之间没有差异(图 2)。草食性、肉食性和杂食性鱼类肌肉中重金属铬的含量分别为 $0.231\ 8$ 、 $0.342\ 8$ 、 $0.429\ 5\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。



图中不同小写字母表示各处理间差异显著 ($P<0.05$)

Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$) between different fish groups

图 2 不同食性鱼体内重金属 Cr 含量

Figure 2 Content of Cr in different edible fishes

2.3 重金属铬在鱼体中的污染程度评价

采用单因子污染指数法对鱼体中重金属铬污染程度进行分析(图 3)可知,总体来说,鱼体受到铬元素的污染程度较低,有 376 条鱼处于微污染和未污染水平。鱼体受到铬重污染的有 12 条,超标率为 2.99%。鲫鱼、革条鲮、鲢鱼和麦穗 4 种鱼类超标,且

均为杂食性鱼类。这可能与杂食性鱼类受水中各种物质的直接影响有关,因杂食性鱼类摄食底栖动物较多,而底栖生物重金属含量高于鱼类^[23]。

2.4 食用安全性评价

从 Cr 占 PTWI 百分比来分析,有 7.48% 的鱼类铬值超出标准值 100% 以上(图 4),且湖鲚、黄颡鱼、鲫鱼、鲤鱼和鲢鱼都是人类经常食用的鱼品种。因此,食用太湖中的鱼类有一定的铬中毒风险,但风险较低,故建议适量食用太湖鱼类产品。

3 分析与讨论

3.1 太湖中鱼类铬含量与其他地区的比较分析

本次采样调查的 401 条鱼中 Cr 含量结果在 $\text{ND}\sim 5.21\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,中位数为 $0.248\ 5\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中超出国家标准 $2\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的有 12 条,超标率为 2.99%。Chi 等对梅梁湾的鲤鱼、鲫鱼、鲢鱼和鳊鱼重金属分析表明,只有鲫鱼的 Cr 含量为 $(0.387\pm 0.109)\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其他种类未检出^[24]。Hao 等调查太湖鱼类重金属 Cr 含量为鲤鱼 $0.324\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、鲫鱼 $0.286\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、草鱼 $0.495\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[25]。本次调查的样本量多,且与以上两文献的铬含量相差不大,表明太湖鱼体重金属铬含量总体上符合国家标准,但有个别鱼类的铬含量超标。

武汉南湖、野芷湖和东湖的野生淡水鱼类肌肉中重金属铬含量为 $(0.08\pm 0.01)\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[16];东北三省中鱼的重金属铬含量 $\text{ND}\sim 0.521\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[26]。太湖中鱼类肌肉的铬含量高于以上两个地区。鱼类可以作为指示生物来评估生态系统的重金属污染状况^[27],太湖的重金属铬污染程度要高于武汉和东北地区。

3.2 重金属铬在不同鱼类的差异性分析

对鱼肉重金属铬蓄积程度进行比较,杂食性鱼类

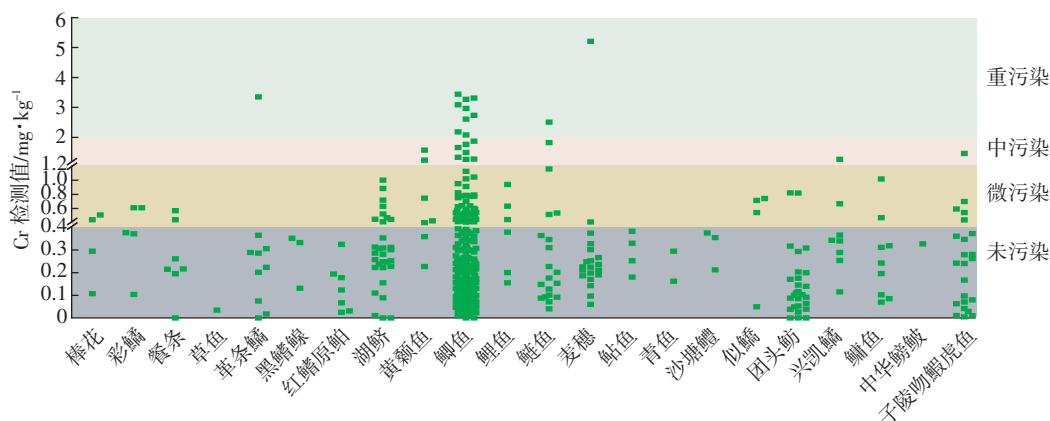


图3 污染等级

Figure 3 Levels of Cr pollution in fishes

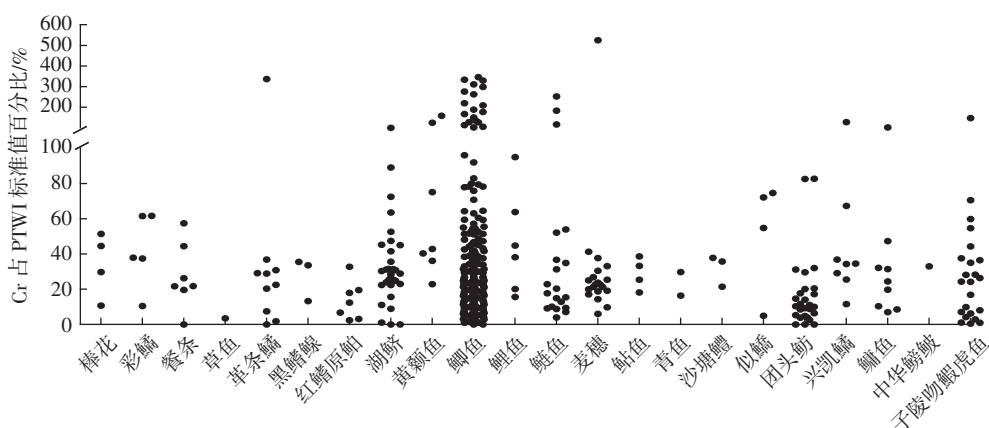


图4 Cr占PTWI百分比

Figure 4 Percentages of Cr over PTWI

的含量显著高于草食性鱼类($P<0.05$),而与肉食性鱼类之间没有差异。这与谢文平等研究的肉食性鱼类重金属残留大于草食性和杂食性鱼类的结果略有不同^[28],可能由于杂食性鱼类的食物链较长,受影响的因素较多,使其重金属含量偏高。虽然肉食性鱼类的食物链等级较高,但本次研究的鱼类以小型鱼类为主,肉食性鱼类以浮游动植物及水生昆虫为主食,重金属富集能力强显不出来。

普遍认为,重金属在鱼体内的富集程度与鱼的生活层次有关。如曾龄颐等对湘江流域长沙段鱼类肌肉重金属分析结果表明,底栖生活的鱼类重金属大于上层鱼类^[29]。本研究发现重金属铬的含量与鱼的生活层次没有相关性,由于本次采集鱼样的范围比较大,受到环境背景值不同的影响亦较大。据 Pourang 报道,重金属的富集程度与鱼的食性、水质硬度、环境温度、鱼龄、性别等诸多因素相关^[30]。就本文而言,也可能因为太湖是浅水湖泊,平均水深只有 1.89 m,鱼类生活

层次分层不是很明显。

3 结论

(1)太湖中鱼类重金属铬含量在 $ND\sim 5.21\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,本次调查中样品的超标率为 2.99%,其中麦穗、鲫鱼、革条鲮和鲢鱼的含量较高。与武汉和东北地区相比,太湖重金属铬污染程度略高。不同种类鱼体重金属铬的污染特征为杂食性鱼类大于草食性鱼类,与鱼的生活层次没有相关性。

(2)按污染等级分类,太湖中鱼类多数处于未污染与微污染的级别,但仍有 2.99% 的鱼处于重污染的水平,因此需要对太湖的重金属铬污染范围进行更进一步的研究。

(3)从食用安全性分析,太湖鱼肉有 7.48% 的铬含量超标,这些鱼类为人们日常食用鱼。因此,食用太湖中的鱼类有一定的铬中毒风险,但风险较低,故建议适量食用太湖鱼类产品。

参考文献:

- [1] 何江, 吕昌伟, 谢志磊, 等. 呼伦湖水-沉积物系统中重金属的含量特征[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(1): 118-123.
HE Jiang, LÜ Chang-wei, XIE Zhi-lei, et al. Distribution of heavy metals in water-sediment system of Hulun Lake[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, 34(1): 118-123.
- [2] 余杨, 王雨春, 周怀东, 等. 三峡水库蓄水初期鲤鱼重金属富集特征及健康风险评价[J]. 环境科学学报, 2013, 33(7): 2012-2019.
YU Yang, WANG Yu-chun, ZHOU Huai-dong, et al. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in carp (*Cyprinus carpio*) from the Three Gorges Reservoir after 175 m impoundment[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, 33(7): 2012-2019.
- [3] 郑 珊, 邱栋梁. 植物重金属污染的分子生物学研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 792-798.
ZHENG Shan, QIU Dong-liang. Development progress of molecular biology in heavy metals pollution of plants[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(Suppl): 792-798.
- [4] Newman M C, Unger M A. 生态毒理学原理[M]. 二版. 北京: 化学工业出版社, 2007: 1-10.
Newman M C, Unger M A. Fundamentals of ecotoxicology[M]. Second Edition. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 1-10.
- [5] 岳 军, 黄碧霞. 微量元素铬与健康[J]. 明胶科学与技术, 2005, 25(1): 1-3.
YUE Jun, HUANG Bi-xia. Trace element chromium and human-body health care[J]. *The Science and Technology of Gelatin*, 2005, 25(1): 1-3.
- [6] International Agency for Research on Cancer, IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans[M]. IARC, 2004.
- [7] 陈璐璐, 周北海, 徐冰冰, 等. 太湖水体典型重金属镉和铬含量及其生态风险[J]. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2290-2296.
CHEN Lu-lu, ZHOU Bei-hai, XU Bing-bing, et al. Cadmium and chromium concentrations and their ecological risks in the water body of Taihu Lake, East China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(10): 2290-2296.
- [8] 刘 莹, 肖 琳. 太湖沉积物重金属污染生态风险的综合评价[J]. 环境保护科学, 2014, 40(3): 46-50.
LIU Ying, XIAO Lin. Comprehensive evaluation of ecological risk of heavy metal pollution in the surface sediments of Taihu Lake[J]. *Environmental Protection Science*, 2014, 40(3): 46-50.
- [9] 陈春霄, 姜 霞, 郑丙辉, 等. 太湖竺山湾沉积物重金属形态分析及风险评价[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(6): 177-182.
CHEN Chun-xiao, JIANG Xia, ZHENG Bing-hui, et al. Heavy metals in sediment of Lake Taihu's Zhushan Bay: Chemical speciation and risk evaluation[J]. *Environmental Science and Technology*, 2013, 36(6): 177-182.
- [10] 中华人民共和国卫生部. GB 2762—2012 食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
Ministry of Health of PRC. GB 2762—2012, Contaminants in food limited[S]. Beijing: China Standards Press, 2012.
- [11] 中华人民共和国卫生部. GB18406. 4—2001, 农产品安全质量无公害水产品安全要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
Ministry of Health of PRC. GB18406. 4—2001, Safety qualification for agricultural product safety requirements for non-environmental pollution aquatic products[S]. Beijing: China Standards Press, 2001.
- [12] European commission health and consumer protection directorate - general. Opinion of the scientific committee on food on the tolerable upper intake level of trivalent chromium[R]. 2003.
- [13] 崔 毅, 陈碧娟, 宋云利, 等. 胶州湾海水、海洋生物体中重金属含量的研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(3): 650-654.
CUI Yi, CHEN Bi-juan, SONG Yun-li, et al. Heavy metals content in sea water and marine organisms at Jiaozhou Bay[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(3): 650-654.
- [14] 王化泉. 关于海洋生物污染评价若干标准的初步探讨[C]//广东省海岸带和海洋资源调查文集(二). 广州: 广东科技出版社, 1984: 132-141.
WANG Hua-quan. A preliminary inquiry about several criteria to evaluate marine pollution[C]//Collected works of the research about coastal zone and marine resources in Guangdong Province. Guangzhou, Guangdong Science and Technology Press, 1984: 132-141.
- [15] 刘金铃, 徐向荣, 丁振华, 等. 海南珊瑚礁区鱼体中重金属污染特征及生态风险评价[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(2): 262-266.
LIU Jin-ling, XU Xiang-rong, DING Zhen-hua, et al. Heavy metals contamination in fish from coral reef ecosystem and ecology risk evaluation[J]. *Marine Environmental Science*, 2013, 32(2): 262-266.
- [16] 董绪燕, 孙智达, 戚向阳, 等. 武汉淡水鱼中重金属含量分析及安全性初步研究[J]. 卫生研究, 2006, 35(6): 719-721.
DONG Xu-yan, SUN Zhi-da, QI Xiang-yang, et al. Concentrations of heavy metals and safe assessments of fishes in main lakes from Wuhan City[J]. *Journal of Hygiene Research*, 2006, 35(6): 719-721.
- [17] 何 琳, 江 敏, 戴习林, 等. 养殖鱼体中重金属污染状况评价[J]. 食品工业科技, 2013, 34(10): 49-52.
HE Lin, JIANG Min, DAI Xi-lin, et al. Assessment of heavy metal pollution in the farmed fish[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(10): 49-52.
- [18] Zeng J, Yang L Y, Chuai X M, et al. Comparison of metal concentrations in water, sediments and fish from two large shallow lakes[J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2013, 10(6): 1209-1218.
- [19] Olmedo P, Pla A, Hernandez A F, et al. Determination of toxic elements (mercury, cadmium, lead, tin and arsenic) in fish and shellfish samples: Risk assessment for the consumers[J]. *Environment International*, 2013, 59: 63-72.
- [20] Zhang L, Li J G, Zhao Y F, et al. Poly Brominated Diphenyl Ethers (PBDEs) and indicator Poly Chlorinated Biphenyls (PCBs) in foods from China: Levels, dietary intake, and risk assessment[J]. *Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(26): 6544-6551.
- [21] 杨晨驰, 黄亮亮, 李建华. 东苕溪下游鲫鱼不同组织重金属含量分析及食用安全性评价[J]. 食品科学, 2013, 34(19): 317-320.
YANG Chen-chi, HUANG Liang-liang, LI Jian-hua. Analysis of heavy metals and safety evaluation of crucian carp from the downstream East

- Tiaoxi River[J]. *Food Science*, 2013, 34(19):317-320.
- [22] 刘恩生. 鱼类与水环境间相互关系的研究回顾和设想[J]. 水产学报, 2007, 31(3):391-397.
- LIU En-sheng. Review on the interrelationship between fishes and water environment[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31(3):391-397.
- [23] 杨丽华, 方展强, 郑文彪, 等. 广州市场食用鱼和贝类重金属含量及评价[J]. 环境科学与技术, 2002, 25(6):15-17.
- YANG Li-hua, FANG Zhan-qiang, ZHENG Wen-biao, et al. Evaluation of heavy metals in edible fishes and bivalves available in a market in Guangzhou City[J]. *Environmental Science and Technology*, 2002, 25(6):15-17.
- [24] Chi Q Q, Zhu G W, Alan L D. Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19(12):1500-1504.
- [25] Hao Y, Chen L, Zhang X L, et al. Trace elements in fish from Taihu Lake, China: Levels, associated risks, and trophic transfer[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2013, 90:89-97.
- [26] 覃东立, 汤施展, 白淑艳, 等. 东北地区鲤、鲫、草鱼肌肉中重金属含量评价[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(2):264-270.
- QIN Dong-li, TANG Shi-zhan, BAI Shu-yan, et al. Heavy metal concentrations in muscle of fishes from the Northeast China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(2):264-270.
- [27] Rashed M N. Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake[J]. *Environ Int*, 2001, 27(1):27-33.
- [28] 谢文平, 陈昆慈, 朱新平, 等. 珠江三角洲河网区水体及鱼体内重金属含量分析与评价[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(10):1917-1923.
- XIE Wen-ping, CHEN Kun-ci, ZHU Xin-ping, et al. Evaluation on heavy metal contents in water and fishes collected from the waterway in the Pearl River Delta, South China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(10):1917-1923.
- [29] 曾龄颐, 李文丽, 黎 瑛. 湘江流域长沙段鱼类重金属污染情况分析评价[J]. 轻工科技, 2012, 9:94-95.
- ZENG Ling-yi, LI Wen-li, LI Ying. Analysis and evaluation heavy metals in fishes from Xiangjiang River[J]. *Light Industry Science and Technology*, 2012, 9:94-95.
- [30] Pourang N. Heavy metal bioaccumulation in different tissues of two fish species with regards to their feeding habits and trophic levels[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1995, 35(2):207-219.

新书推荐



矿区污染源头控制

党 志 郑刘春 卢桂宁 等著

本书是一部关于矿区污染控制源头控制之酸性矿山废水中重金属去除研究的成果专著。全书共7章,在全面介绍了酸性矿山废水的形成及其环境影响、酸性矿山废水中重金属的去除方法、农业废弃物改性利用研究现状的基础上,系统总结了作者研究团队对玉米秸秆、稻草秸秆、花生壳等农业废弃物进行改性制备高效吸附重金属的廉价生物质吸附材料方面的研究成果。这些研究成果的应用可从源头控制酸性矿山废水对环境的污染,是矿区污染源头控制的可行技术。

本书可供环境科学与工程、农业资源利用、地球化学、矿业工程等学科的科研人员,环境保护、矿产资源、农业及水利等部门的工程技术与管理人员,以及高等院校相关专业的师生参考。

※出版社: 出科学出版社

※出版日期: 2015年3月1日

※丛 书 名: 环境污染源头控制与生态修复系列丛书

※精 装: 221 页

※语 种: 简体中文

※条 形 码: 9787030437563

