

doi:10.3969/j.issn.2095-1035.2023.05.004

## 黔产市售鱼腥草中重金属含量分析及膳食风险评估

刘文政 刘利亚 周贻兵 吴玉田 殷忠\*

(贵州省疾病预防控制中心, 贵阳 550004)

**摘要** 为研究黔产市售鱼腥草中铅、镉、铬、砷 4 种重金属的含量水平及其膳食健康风险水平。以贵州贵阳(GY)、遵义(ZY)、铜仁(TR)、安顺(AS)、毕节(BJ)、六盘水(LPS)、黔东南(QDN)、黔西南(QXN)、黔南(QN)等 9 个市(州)市售鱼腥草为研究对象,利用微波消解处理样品,采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法同时测定样品中的 4 种重金属含量,利用单因子污染指数法、内梅罗综合污染指数法对重金属的污染程度进行评价,利用目标危害系数法进行膳食风险评估。结果显示,鱼腥草中 Pb 含量为 0.084~0.12 mg/kg, Cd 含量为 0.041~0.068 mg/kg, Cr 含量为 0.076~0.43 mg/kg, As 含量为 0.074~0.14 mg/kg。TR、QDN、ZY 市售鱼腥草 Pb 的单项污染指数均大于 1, 9 个市(州)市售鱼腥草 Cd、Cr、As 的单项污染指数均小于 1。不同市(州)市售鱼腥草的内梅罗综合污染指数大小次序为 1>TR>QDN>ZY>AS>GY>BJ>QXN>0.7≥QN>LPS。单一重金属的膳食健康风险指数(THQ)总体上表现为 Cd>Pb>As>Cr, 且均小于 1。成人或儿童食用 9 个市(州)市售鱼腥草后 4 种重金属的复合健康风险指数(TTHQ)大小次序均表现为 TR>QDN>ZY>AS>GY>BJ>QXN>QN>LPS, 且均小于 1。贵州 TR、QDN、ZY 市售鱼腥草已受到 Pb 的污染。TR、QDN、ZY、AS、GY、BJ、QXN 等 7 个市(州)市售鱼腥草的重金属污染程度均为警戒值水平, QN、LPS 市售鱼腥草的重金属污染程度均为安全水平。单一重金属的膳食健康风险均不明显, 4 种重金属引起的复合膳食健康风险水平均较低。总体而言, 成人或儿童食用黔产市售鱼腥草的膳食健康风险较低, 处于安全水平。

**关键词** 电感耦合等离子体质谱法; 贵州; 鱼腥草; 重金属; 膳食风险评估

**中图分类号:** O657.63 TH843 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-1035(2023)05-0425-08

## Content Analysis and Dietary Risk Assessment of Heavy Metals in *Houttuynia Cordata* of Commercially Available from Guizhou Province

LIU Wenzheng, LIU Liya, ZHOU Yibing, WU Yutian, YIN Zhong\*

(Guizhou Center for Diseases Control and Prevention, Guiyang, Guizhou 550004, China)

**Abstract** In order to study the content levels and their dietary health risk levels of four heavy metals including lead, cadmium, chromium and arsenic in *Houttuynia Cordata* from Guizhou province. Taking the

**收稿日期:** 2022-07-22 **修回日期:** 2022-10-09

**基金项目:** 贵州省卫生健康委科学技术基金资助项目(gzwmkj2022-208); 贵州省疾病预防控制中心科学(青年)技术基金资助项目(2021-E1-2 青)

**作者简介:** 刘文政, 男, 主管技师, 主要从事卫生检验及食品安全检验方面的研究。E-mail: lwzjyq1988@163.com

\* **通信作者:** 殷忠, 男, 主任技师, 主要从事卫生检验及食品安全检验方面的研究。E-mail: 541767047@qq.com

**引用格式:** 刘文政, 刘利亚, 周贻兵, 等. 黔产市售鱼腥草中重金属含量分析及膳食风险评估[J]. 中国无机分析化学, 2023, 13(5): 425-432.

LIU Wenzheng, LIU Liya, ZHOU Yibing, et al. Content Analysis and Dietary Risk Assessment of Heavy Metals in *Houttuynia Cordata* of Commercially Available from Guizhou Province [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2023, 13(5): 425-432.

commercially available *Houttuynia Cordata* from 9 cities of Guizhou as the research object, the samples were digested by microwave digestion, and the content of 4 kinds of heavy metals in the samples was determined simultaneously by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), the pollution degree of heavy metals was evaluated by single factor pollution index method and Nemerow comprehensive pollution index method, the dietary risk of 4 kinds of heavy metals was evaluated by target hazard quotient/total target hazard quotient (THQ/TTHQ). The results were as follows: the content of Pb in *Houttuynia Cordata* was 0.084—0.12 mg/kg, the content of Cd was 0.041—0.068 mg/kg, the content of Cr was 0.076—0.43 mg/kg and the content of As was 0.074—0.14 mg/kg. The pollution index of Pb in TR, QDN and ZY were all greater than 1, and the single pollution index of Cd, Cr, and As of *Houttuynia Cordata* from 9 cities of Guizhou were all less than 1. The order of Nemerow comprehensive pollution index of *Houttuynia Cordata* from different cities is  $1 > TR > QDN > ZY > AS > GY > BJ > QXN > 0.7 \geq QN > LPS$ . The dietary health risk index THQ of a single heavy metal was generally  $Cd > Pb > As > Cr$ , and all were less than 1. The composite health risk index of the four heavy metals after consuming *Houttuynia Cordata* from 9 cities of Guizhou for adults or children were all in the order of  $TR > QDN > ZY > AS > GY > BJ > QXN > QN > LPS$ , and all were less than 1. The *Houttuynia Cordata* commercially available in TR, QDN, and ZY in Guizhou have been contaminated with Pb. The heavy metal pollution levels of the commercially available *Houttuynia Cordata* of TR, QDN, ZY, AS, GY, BJ and QXN were all at the warning level, and the heavy metal pollution levels of the commercially available *Houttuynia Cordata* of QN and LPS were all safe levels. After adults or children consumed *Houttuynia Cordata* from 9 cities of Guizhou, the dietary health risks of a single heavy metal were not obvious. The health risk levels of the complex diet caused by the 4 heavy metals were all lower. Overall, the dietary health risk of *Houttuynia Cordata* from Guizhou produced and commercially available for adults or children is low and at a safe level.

**Keywords** inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS); Guizhou; *Houttuynia Cordata*; heavy metals; dietary risk assessment

鱼腥草 (*Houttuynia Cordata*) 是国家卫健委公布的药食同源植物资源之一<sup>[1]</sup>, 广泛分布在我国陕西、甘肃及长江流域以南各地<sup>[2]</sup>。鱼腥草嫩根茎可食, 常作蔬菜或调味品, 深受西南地区人们的喜爱<sup>[3]</sup>。西南地区土壤重金属污染问题突出<sup>[4-9]</sup>, 重金属 Pb、Cd、Cr、As 等作为土壤中常见的持久性污染物, 可通过食物链在人体内蓄积, 危害人体健康<sup>[10-12]</sup>。而鱼腥草对土壤重金属 Pb、Cd 具有较强的富集作用<sup>[13-14]</sup>, 这严重影响其食用安全性。开展市售鱼腥草中重金属的含量分析及膳食风险评估, 对安全食用鱼腥草具有重要的现实意义。

针对鱼腥草的研究主要偏重于食品保健的应用开发, 而对其成分尤其是无机金属元素的含量及其膳食健康风险的研究较少。陈宏降等<sup>[1]</sup>采用电感耦合等离子体质谱法对全国多个产地的鱼腥草中 27 种无机元素进行测定, 其中 Al 含量较高, 地上部分、根茎的平均含量分别为 780.79、103.99 mg/kg, 部分鱼腥草样品出现 Cd、Pb 含量超标的情况。秦樊鑫等<sup>[2]</sup>采用原子吸收光谱法测定了贵阳不同地区

鱼腥草不同部位 Mg、Ca、Fe、Zn、Cu 等 5 种金属元素的含量, 其中叶中 Ca 含量最高, 为 12 835 mg/kg。仅见赵金璇等<sup>[15]</sup>采用电感耦合等离子体质谱法对贵阳和万山地区鱼腥草中重金属 Cd、Hg、Pb、Mn、As 的含量进行测定, 并对其健康风险进行评估。测定结果显示, 万山、贵阳地区鱼腥草 Cd 含量分别为 0.37、0.17 mg/kg, 均高于 0.10 mg/kg 的国家限值; 万山、贵阳地区鱼腥草 Pb 含量分别为 0.349、0.168 mg/kg, 均高于 0.10 mg/kg 的国家限值。风险评价结果表明, 贵阳、万山两地鱼腥草存在 Cd、Hg、Pb 的中、轻度污染, 但风险指数均低于国际标准 ( $5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$ )。市售鱼腥草嫩根作为贵州地区人们日常生活中消费量较大的重要蔬菜来源, 其中重金属的含量现状与当地人群的膳食健康风险水平密切相关。目前, 针对黔产市售鱼腥草中重金属的膳食健康风险水平未见报道。因此, 亟需开展黔产市售鱼腥草中重金属的含量监测, 并对其进行膳食健康风险评估。

目标危害系数 (Target hazard quotient/Total

target hazard quotient, THQ/TTHQ)法<sup>[16-17]</sup>是目前常用的一种食品中重金属污染物的健康风险评估方法。该法综合考虑了膳食摄入量、暴露时间、体重等因素的影响,不仅可用于评价单一重金属的健康风险,还可对多种重金属复合暴露的健康风险进行评价,具有较强的适用性<sup>[18-20]</sup>。因此,本研究以贵州 9 个市(州)市售鱼腥草为研究对象,采用微波消解-电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法同时测定鱼腥草样品中 Pb、Cd、Cr、As 4 种重金属的含量,结合目标危害系数法对 4 种重金属进行膳食健康风险评估,旨在为鱼腥草的食用安全性评价提供科学依据和参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 仪器与试剂

AL204 万分之一电子天平(梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司),Ethos A 微波消解系统(意大利 Milestone 公司),iCAP Q 型电感耦合等离子体质谱仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司),Milli-Q integral 超纯水处理系统(美国 Millipore 公司)。

硝酸(超级纯,苏州晶瑞化学股份有限公司),过氧化氢(优级纯,国药集团化学试剂有限公司),铅、镉、铬、砷的单元素标准储备溶液(1 000  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,国家有色金属及电子材料分析测试中心),钐(Sc)、铟(In)、铋(Bi)内标溶液(1 000  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,国家有色金属及电子材料分析测试中心),GBW10048 芹菜标准物质(GSB-26,国家标准物质中心),超纯水。

### 1.2 样品的采集

鱼腥草样品采自于贵州 GY(贵阳)、LPS(六盘水)、ZY(遵义)、BJ(毕节)、TR(铜仁)、AS(安顺)、QDN(黔东南)、QN(黔南)、QXN(黔西南)9 个市(州)当地的大型超市或农贸市场,每个地区采集 20 份,每份样品 2 kg 左右,共计 180 份样品。将鱼腥草样品送至实验室,先用自来水洗净表面泥土,再用超纯水清洗,最后用滤纸将表面水分吸干,置于匀浆机内充分粉碎匀浆混匀,四分法缩分为 0.5 kg,装入洁净塑料瓶内,于 2~8  $^{\circ}\text{C}$  下保存,待测。

### 1.3 样品分析

采用 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中的微波消解法消解鱼腥草样品,称取 0.5 g(精确至 0.000 1 g)鱼腥草的均匀样品,置于微波消解罐内,加 8 mL 硝酸,旋紧罐盖,进行微波消解。待消解程序结束后,冷却开盖,将消解罐置于电热板上 100  $^{\circ}\text{C}$  加热 30 min,用水定容至 50 mL,摇匀过 0.22  $\mu\text{m}$  水系滤膜,鱼腥草中重金属

Pb、Cd、Cr 和 As 含量采用电感耦合等离子体质谱法测定。同时进行试剂空白实验。

### 1.4 质量控制

所有试剂均为优级纯,分析用水均由超纯水处理系统制备。测定过程中,每 10 个样品设置一个平行样,所有样品均由试剂空白、平行双样、加标回收和添加芹菜标准物质(GBW10048)进行质量控制。对鱼腥草的平行双样中 Pb、Cd、Cr、As 含量进行测定,要求平行双样的相对偏差必须小于或等于 5%。称取 0.5 g(精确至 0.000 1 g)某黔产市售鱼腥草样品,分别加入 1 mL 低浓度(5  $\mu\text{g}/\text{L}$ )、1 mL 中浓度(25  $\mu\text{g}/\text{L}$ )、1 mL 高浓度(50  $\mu\text{g}/\text{L}$ )三个不同浓度水平的混合标准使用液,采用微波消解进行样品前处理,定容至 50 mL,分别对 Pb、Cd、Cr、As 含量进行测定,最后计算加标回收率,样品加标回收率要求必须在 80.0%~120%。对芹菜标准物质(GBW10048)中 Pb、Cd、Cr、As 含量进行 6 次平行测定,其测定结果必须在证书指示值的范围内,且其相对标准偏差(RSD)必须小于或等于 10%。

### 1.5 重金属污染评价

#### 1.5.1 单因子污染指数法

采用单因子污染指数法<sup>[21]</sup>评价各重金属的污染程度。单因子污染指数的计算见公式(1):

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中: $P_i$ 表示污染物  $i$  的单项污染指数; $C_i$ 表示污染物  $i$  的实测值,mg/kg; $S_i$ 表示污染物  $i$  的评价标准值,mg/kg。若  $P_i \leq 1$  时,表明未受到重金属污染;若  $P_i > 1$  时,表明已受到重金属污染,且  $P_i$  越大,受重金属的污染程度越深。采用 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中食品污染物的限值作为鱼腥草的评价标准值,鱼腥草中 Pb、Cd、Cr、As 的限值(评价标准值)分别为 0.10、0.10、0.50、0.50 mg/kg。

#### 1.5.2 内梅罗综合污染指数法

内梅罗综合污染指数是一种兼顾极值或最大值的计权型多因子环境质量指数<sup>[21]</sup>,采用内梅罗综合污染指数重金属污染程度进行评价,可避免均值法、加和法和加权平均法等易受主观因素影响的缺陷。计算方法见公式(2):

$$P_n = \sqrt{\frac{P_{\text{ave}}^2 + P_{\text{max}}^2}{2}} \quad (2)$$

式中: $P_n$ 表示内梅罗综合污染指数; $P_{\text{ave}}$ 表示单因子污染指数的平均值; $P_{\text{max}}$ 表示单因子污染指数的最

大值。内梅罗综合污染指数法将重金属污染程度分为 5 个水平等级： $P_n \leq 0.7$  为安全水平， $0.7 < P_n \leq 1$  为警戒值水平， $1 < P_n \leq 2$  为轻度污染水平， $2 < P_n \leq 3$  为中度污染水平， $P_n > 3$  为重度污染水平<sup>[21]</sup>。

### 1.6 重金属的膳食健康风险评价

采用目标危害系数 (THQ) 法对鱼腥草中单一重金属和多种重金属的复合膳食健康风险分别进行评价<sup>[22]</sup>。该方法假定污染物吸收剂量等于人体摄入量，以测定的污染物人体摄入量与参考剂量的比值作为评价标准，既能评价单一重金属的健康风险，也能对多种重金属的复合健康风险进行评价<sup>[21]</sup>。单一重金属的膳食健康风险 THQ 的计算见公式(3)，多种重金属的复合膳食健康风险 TTHQ 的计算见公式(4)：

$$THQ = \frac{E_F \times E_D \times F_{IR} \times C}{R_{FD} \times W_{AB} \times T_A} \times 10^{-3} \quad (3)$$

$$TTHQ = \sum THQ \quad (4)$$

式中： $E_F$  表示暴露频率，d/a； $E_D$  表示暴露时间，a； $F_{IR}$  表示鱼腥草的日均摄入量，g/d； $C$  表示鱼腥草中重金属的含量，mg/kg； $R_{FD}$  表示每天每千克体重对应的非致癌口服参考剂量，mg/(kg·d)； $W_{AB}$  表示平均体重，kg； $T_A$  表示非致癌平均暴露时间，d。

若  $THQ < 1$ ，表明暴露人群无明显的膳食摄入健康风险；若  $THQ > 1$ ，表明暴露人群极可能存在膳食摄入健康风险。单一重金属的 THQ 值越大，表明该重金属对暴露人群造成的健康风险越大。若  $TTHQ < 1$ ，表明食用鱼腥草对人体健康造成的风险较低；若  $TTHQ > 1$ ，表明食用鱼腥草对人体健康造成的风险较高。TTHQ 值越大，表明食用鱼腥草对人体健康造成的风险越高。THQ 法参数的取值如表 1 所示。

表 1 THQ 法参数取值

Table 1 Values of the parameter used in the calculation of THQ

参数	参数缩写	指标取值	文献来源
暴露频率/(d·a <sup>-1</sup> )	$E_F$	365	[21]
暴露时间/a	$E_D$	70	[21]
鱼腥草的日均摄入量/(g·d <sup>-1</sup> )	$F_{IR}$	301.4(成人), 231.5(儿童)	[21]
平均体重/kg	$W_{AB}$	60.0(成人), 32.7(儿童)	[21]
鱼腥草中重金属的含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )	$C$	由实验测定得到	
非致癌平均暴露时间/d	$T_A$	25 550	[21]
参考剂量/[mg·(kg·d) <sup>-1</sup> ]	$R_{FD}$	Pb(0.003 5)	[23]
		Cd(0.001)	[23]
		Cr(1.5)	[23]
		As(0.003)	[23]

### 1.7 数据处理

采用 Microsoft Excel 2017 和 SPSS 19.0 对实验数据进行统计分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 鱼腥草中重金属的含量水平

分别对 9 个市(州)市售鱼腥草中重金属(Pb、Cd、Cr、As)的含量进行测定，结果见表 2。由表 2 可知，鱼腥草 Pb 含量为 0.084~0.12 mg/kg，Cd 含量为 0.041~0.068 mg/kg，Cr 含量为 0.076~0.43 mg/kg，As 含量为 0.074~0.14 mg/kg。依据 GB 2762—2017 蔬菜中 Pb( $\leq 0.1$  mg/kg)、Cd( $\leq 0.1$  mg/kg)、Cr( $\leq 0.5$  mg/kg)、As( $\leq 0.5$  mg/kg)的限量标准可知，除 ZY、QDN、TR 等 3 个市(州)市售鱼腥草 Pb 含量稍高于国家标准限值外，其他 6 个市(州)市售鱼腥草 Pb 含量均低于国家标准限值，9 个市(州)市售鱼腥草 Pb、Cd、Cr、As 含量均低于国家标准限

值。测定结果表明，贵州部分市(州)市售鱼腥草存在一定程度的 Pb 污染，有必要对重金属污染程度展开评价，同时对成人、儿童的膳食风险进行评估。

重金属的含量分布在各市(州)市售鱼腥草中存在一定差异(表 2)。TR、QDN 市售鱼腥草 Pb 含量最高，显著高于其他市(州)市售鱼腥草( $P < 0.05$ )，分别为 0.12、0.11 mg/kg，而 LPS、QXN 市售鱼腥草 Pb 含量最低，可能的原因是 TR、QDN 市售鱼腥草在种植生产过程中，受到来自当地铅锌矿区的工业污染<sup>[7]</sup>。ZY、QDN 市售鱼腥草 Cd 含量显著高于其他市(州)市售鱼腥草( $P < 0.05$ )，分别为 0.068、0.063 mg/kg，而 LPS、QN、QXN 市售鱼腥草 Cd 含量最低，这与 ZY、QDN 当地金属矿藏丰富、种植土壤可能存在 Cd 污染、企业种植的鱼腥草品种不同有关<sup>[9]</sup>。GY、TR、QXN 鱼腥草 Cr 含量显著高于其他市(州)市售鱼腥草( $P < 0.05$ )，分别为 0.43、0.38、0.34 mg/kg，而 QDN、AS、QN 市售鱼腥草 Cr 含量最

低,其显著性差异可能与 GY、TR、QXN 当地土壤某些金属元素存在高背景值、鱼腥草品种有差异等因素有关<sup>[15]</sup>;而 As 含量在不同市(州)市售鱼腥草

中差异性不显著( $P>0.05$ )。鱼腥草重金属含量高可能与该品种鱼腥草对重金属的富集能力强弱有关<sup>[1]</sup>。

表 2 鱼腥草中 Pb、Cd、Cr 和 As 的含量

Table 2 Content of Pb,Cd,Cr and As in *Houttuynia Cordata* (n=6)

市(州)	Pb	Cd	Cr	As
ZY	0.10±0.02 <sup>ab</sup>	0.068±0.014 <sup>a</sup>	0.099±0.024 <sup>b</sup>	0.079±0.013 <sup>c</sup>
BJ	0.093±0.017 <sup>b</sup>	0.059±0.012 <sup>b</sup>	0.15±0.013 <sup>b</sup>	0.074±0.016 <sup>c</sup>
QN	0.090±0.013 <sup>b</sup>	0.041±0.010 <sup>c</sup>	0.076±0.022 <sup>c</sup>	0.095±0.021 <sup>b</sup>
QDN	0.11±0.09 <sup>a</sup>	0.063±0.023 <sup>ab</sup>	0.092±0.018 <sup>c</sup>	0.10±0.02 <sup>ab</sup>
GY	0.087±0.013 <sup>b</sup>	0.061±0.016 <sup>b</sup>	0.43±0.05 <sup>a</sup>	0.098±0.025 <sup>b</sup>
LPS	0.086±0.015 <sup>c</sup>	0.044±0.014 <sup>c</sup>	0.13±0.02 <sup>b</sup>	0.086±0.013 <sup>b</sup>
TR	0.12±0.03 <sup>a</sup>	0.062±0.012 <sup>b</sup>	0.38±0.06 <sup>a</sup>	0.11±0.02 <sup>ab</sup>
AS	0.098±0.024 <sup>ab</sup>	0.062±0.017 <sup>b</sup>	0.090±0.021 <sup>c</sup>	0.095±0.013 <sup>b</sup>
QXN	0.084±0.016 <sup>c</sup>	0.040±0.013 <sup>c</sup>	0.34±0.06 <sup>ab</sup>	0.14±0.04 <sup>a</sup>

注:同列不同字母表示差异达到 0.05 显著水平。

2.2 质量控制结果

对鱼腥草的平行双样中 Pb、Cd、Cr、As 含量进行测定,平行双样的相对偏差均小于 5%。试剂空白中 Pb、Cd、Cr、As 含量均远低于混合标准系列曲线的最低浓度点(1 μg/L),符合对应的质量控制要求。样品

加标回收率及其相对标准偏差的结果如表 3 所示。由表 3 可知,黔产某市售鱼腥草样品中 Pb、Cd、Cr、As 的本底值分别为 0.102、0.063、0.095、0.076 mg/kg。样品加标回收率为 90.5%~114%,满足必须在 80.0%~120%范围内的要求,符合对应的质量控制要求。

表 3 样品加标回收率及相对标准偏差

Table 3 Spike recovery and relative standard deviation of *houttuynia cordata*

元素	样品本底值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	加标浓度/(μg·L <sup>-1</sup> )	测定结果/(mg·kg <sup>-1</sup> )	回收率/%	RSD/%
Pb	0.102	5	0.112	101	4.7
		25	0.148	92.6	3.7
		50	0.206	105	2.7
Cd	0.063	5	0.072	90.5	4.4
		25	0.115	105	3.4
		50	0.171	109	2.5
Cr	0.095	5	0.106	111	4.9
		25	0.147	105	3.5
		50	0.208	114	2.3
As	0.076	5	0.086	101	3.9
		25	0.129	107	3.4
		50	0.187	112	2.1

对芹菜标准物质(GBW10048)中 Pb、Cd、Cr、As 含量分别进行 6 次平行测定,测定结果见表 4。由表 4 可知,芹菜标准物质的测定结果均在证书指

示值的范围内,且 6 次平行测定结果的相对标准偏差(RSD)为 3.6%~5.9%,均小于 10%,符合对应的质量控制要求。

表 4 芹菜标准物质(GBW10048)的测定结果及相对标准偏差

Table 4 Determination results and relative standard deviation of celery standard substance(GBW10048)

元素	证书指示值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	测定结果/(mg·kg <sup>-1</sup> )				RSD/%		
Pb	2.7±0.7	2.66	2.54	2.79	2.62	2.85	2.73	4.2
Cd	0.092±0.006	0.093	0.088	0.095	0.094	0.092	0.087	3.6
Cr	1.35±0.22	1.29	1.36	1.38	1.42	1.47	1.45	4.7
As	0.39±0.08	0.38	0.42	0.39	0.43	0.37	0.41	5.9

2.3 鱼腥草的重金属污染程度评价

采用单项污染指数法、内梅罗综合污染指数法

对 9 个市(州)市售鱼腥草的重金属污染程度进行评价,评价结果如表 5 所示。由表 5 可知,从单项污染

指数评价结果来看,TR、QDN、ZY 3 个市(州)市售鱼腥草 Pb 的污染指数均大于 1,其他 6 个市(州)市售鱼腥草 Pb 的污染指数均小于 1,9 个市(州)市售鱼腥草 Cd、Cr、As 的单项污染指数均小于 1。表明 TR、QDN、ZY 3 个市(州)市售鱼腥草已受到 Pb 的污染,9 个市(州)市售鱼腥草未受到 Cd、Cr、As 的污染。从内梅罗综合污染指数评价结果来看,9 个市(州)市售鱼腥草中重金属的内梅罗综合污染指数均小于 1,不同市(州)市售鱼腥草的内梅罗综合污染指数大小次序为:1 > TR > QDN > ZY > AS > GY > BJ > QXN > 0.7 > QN > LPS,表明 TR、QDN、ZY、AS、GY、BJ、QXN 市售鱼腥草的重金属污染程度为警戒值水平,QN、LPS 市售鱼腥草的重金属污染程度为安全水平。

#### 2.4 鱼腥草的膳食健康风险评估

采用 THQ/TTHQ 法对 9 个市(州)市售鱼腥草样品中 Pb、Cd、Cr 和 As 进行膳食风险评估。不同市(州)市售鱼腥草中 Pb、Cd、Cr 和 As 的 THQ/TTHQ 值如表 6 所示。由表 6 可知,从单一重金属健康风险指数的评价结果来看,9 个市(州)市售鱼腥草的单一重金属健康风险指数 THQ 总体上表现为 Cd > Pb > As > Cr,且均小于 1,表明成人或儿童

食用黔产市售鱼腥草后,4 种单一重金属引起的膳食健康风险均不明显。从重金属的复合健康风险指数的评价结果来看,成人或儿童食用黔产市售鱼腥草后 4 种重金属的复合健康风险指数 TTHQ 均小于 1,其大小次序均表现为:TR > QDN > ZY > AS > GY > BJ > QXN > QN > LPS,表明成人或儿童食用 9 个市(州)市售鱼腥草后,4 种重金属引起的复合膳食健康风险水平均较低。总体而言,成人或儿童食用黔产市售鱼腥草的膳食健康风险较低,处于安全水平。

表 5 鱼腥草的单因子污染指数和综合污染指数比较

Table 5 Comparison of single factor pollution index and composite pollution index of *Houttuynia Cordata*

市(州)	$P_i$				$P_n$
	Pb	Cd	Cr	As	
ZY	1.02	0.68	0.20	0.16	0.81
BJ	0.93	0.59	0.30	0.15	0.75
QN	0.90	0.41	0.15	0.21	0.70
QDN	1.06	0.63	0.18	0.20	0.84
GY	0.87	0.61	0.86	0.20	0.76
LPS	0.86	0.46	0.26	0.17	0.69
TR	1.17	0.62	0.76	0.22	0.96
AS	0.98	0.62	0.18	0.19	0.77
QXN	0.84	0.49	0.68	0.21	0.71

表 6 鱼腥草中 Pb、Cd、Cr 和 As 的 THQ/TTHQ 值

Table 6 THQ/TTHQ values of Pb, Cd, Cr and As in *Houttuynia Cordata*

市(州)	THQ								TTHQ	
	Pb		Cd		Cr		As		成人	儿童
	成人	儿童	成人	儿童	成人	儿童	成人	儿童		
ZY	0.15	0.21	0.34	0.48	0.000 33	0.000 47	0.13	0.19	0.62	0.88
BJ	0.13	0.19	0.30	0.42	0.000 50	0.000 70	0.12	0.17	0.55	0.78
QN	0.13	0.18	0.21	0.29	0.000 25	0.000 36	0.18	0.25	0.51	0.72
QDN	0.15	0.21	0.32	0.44	0.000 31	0.000 43	0.17	0.24	0.64	0.90
GY	0.12	0.18	0.31	0.43	0.001 4	0.002 0	0.16	0.23	0.60	0.84
LPS	0.12	0.17	0.23	0.32	0.000 43	0.000 62	0.14	0.20	0.50	0.70
TR	0.17	0.24	0.31	0.44	0.001 3	0.001 8	0.18	0.25	0.66	0.93
AS	0.14	0.20	0.31	0.44	0.000 30	0.000 42	0.16	0.22	0.61	0.86
QXN	0.12	0.17	0.24	0.34	0.001 1	0.001 6	0.18	0.25	0.54	0.76

### 3 结论

采用微波消解仪对黔产市售鱼腥草样品进行消解处理后,利用电感耦合等离子体质谱法同时测定样品中 Pb、Cd、Cr、As 4 种重金属含量。TR、QDN、ZY 3 个市(州)市售鱼腥草 Pb 含量均大于或等于 0.10 mg/kg 的国家限量标准,表明 TR、QDN、ZY 3 个市(州)市售鱼腥草已受到 Pb 的污染。利用单项污染指数法、内梅罗综合污染指数法对市售鱼腥草

的重金属污染程度进行评价。单项污染指数法评价结果表明,TR、QDN、ZY 3 个市(州)市售鱼腥草已受到 Pb 的污染,9 个市(州)市售鱼腥草未受到 Cd、Cr、As 的污染;内梅罗综合污染指数法评价结果表明,TR、QDN、ZY、AS、GY、BJ、QXN 市售鱼腥草的重金属污染程度为警戒值水平,QN、LPS 市售鱼腥草的重金属污染程度为安全水平。

采用目标危害系数(THQ/TTHQ)法对成人和儿童食用市售鱼腥草的膳食健康风险进行评估。评

估结果表明,成人或儿童食用9个市(州)市售鱼腥草后,单一重金属的膳食健康风险均不明显。成人或儿童食用9个市(州)市售鱼腥草后,4种重金属引起的复合膳食健康风险水平均较低。总体而言,成人或儿童食用黔产市售鱼腥草的膳食健康风险较低,处于安全水平。

#### 参考文献

- [1] 陈宏降,罗益远,刘佳楠,等. ICP-MS分析鱼腥草不同部位中无机元素差异[J]. 中国新药杂志, 2019, 28(22): 2769-2775.  
CHEN Hongjiang, LUO Yiyuan, LIU Jianan, et al. Analysis of inorganic elements in different parts of houttuynia cordata by ICP-MS[J]. Chinese Journal of New Drugs, 2019, 28(22): 2769-2775.
- [2] 秦樊鑫,杨昱. 不同微量元素在鱼腥草植株不同器官中的分布特征[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(2): 10-14.  
QIN Fanxin, YANG Yu. Distribution characteristics of different trace elements in different organs of houttuynia cordata thunb[J]. Food Research and Development, 2015, 36(2): 10-14.
- [3] 周美丽,范晓旭,杨春花,等. 应用电感耦合等离子体质谱法结合化学计量学方法对野生和栽培鱼腥草的鉴别[J]. 理化检验-化学分册, 2019, 55(11): 1305-1311.  
ZHOU Meili, FAN Xiaoxu, YANG Chunhua, et al. Identification of wild and domesticated houttuynia cordata by ICP-MS with chemometric analysis [J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis, 2019, 55(11): 1305-1311.
- [4] CHEN L, ZHOU S L, SHI Y X, et al. Heavy metals in food crops, soil, and water in the Lihe River Watershed of the Taihu region and their potential health risks when ingested [J]. Sci Total Environ, 2018, 615: 141-149.
- [5] DENG X, YANG Y, ZENG H Y, et al. Variations in iron plaque, root morphology and metal bioavailability response to seedling establishment methods and their impacts on Cd and Pb accumulation and translocation in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. J Hazard Mater, 2020, 384: 121343.
- [6] ZHU L, LIU J W, XU S G, et al. Deposition behavior, risk assessment and source identification of heavy metals in reservoir sediments of Northeast China [J]. Ecotox Environ Saf, 2017, 142: 454-463.
- [7] 李武江,朱四喜,王众,等. 西南山地煤矿区耕地土壤-农作物重金属富集及健康风险评估[J]. 中国无机分析化学, 2021, 11(5): 22-30.  
LI Wujiang, ZHU Sixi, WANG Zhong, et al. Heavy metals enrichment and health risk assessment of cultivated soil-crops in mountainous coal mining areas of southwest China [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(5): 22-30.
- [8] 刘文政,贾亚琪,殷忠. 贵阳污灌区菜地土壤团聚体中有机碳和重金属的含量特征及相关性分析[J]. 中国无机分析化学, 2021, 11(5): 36-43.  
LIU Wenzheng, JIA Yaqi, YIN Zhong. Content characteristics and correlation of organic carbon and heavy metals in aggregates of wastewater irrigation soil of Guiyang [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(5): 36-43.
- [9] 张富贵,彭敏,王惠艳,等. 基于乡镇尺度的西南重金属高背景区土壤重金属生态风险评估[J]. 环境科学, 2020, 41(9): 4197-4209.  
ZHANG Fugui, PENG Min, WANG Huiyan, et al. Ecological risk assessment of heavy metals at township scale in the high background of heavy metals, southwestern, China [J]. Environmental Science, 2020, 41(9): 4197-4209.
- [10] ZHU M L, JIANG Y, CUI B, et al. Determination of the heavy metal levels in and implications for human health risk assessment [J]. Hum Ecol Risk Assess An Int J, 2015, 21(5/6): 1218-1229.
- [11] TANG L, DENG S H, TAN D, et al. Heavy metal distribution, translocation, and human health risk assessment in the soil-rice system around Dongting Lake area, China [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2019, 26(17): 17655-17665.
- [12] 丁敏,陈璐,万春燕,等. 鲁西南沿黄县区玉米中铅、镉、砷、铬的重金属含量及健康风险评估[J]. 中国无机分析化学, 2022, 12(1): 57-63.  
DING Min, CHEN Lu, WAN Chunyan, et al. Heavy metal content and health risk assessment of lead, cadmium, arsenic and chromium in corn grains in counties along the Yellow River of southwest Shandong province [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2022, 12(1): 57-63.
- [13] 候伶龙,黄荣,周丽蓉,等. 鱼腥草对土壤中镉的富集及根系微生物的促进作用[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 817-821.  
HOU Linglong, HUANG Rong, ZHOU Lirong, et al. The accumulation of Cd in houttuynia cordata and its promotion by rhizospheric microbes [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(4): 817-821.
- [14] 曾泽雨. Pb、Cd胁迫对鱼腥草生理特性及其累积效应的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.

- ZENG Zeyu. The reaserch of physiological characteristics and accumulation of houuttuynia cordata thunb under single cadmium,lead and combination pollution stress[D]. Ya'an;Sichuan Agricultural University,2010.
- [15] 赵金璇,李玉锋,梁佳,等. 贵阳和万山地区部分蔬菜中的重金属含量及其健康风险[J]. 生态毒理学报,2009,4(3):392-398.
- ZHAO Jinxuan,LI Yufeng,LIANG Jia, et al. Contents of heavy metals in some vegetables and their potential risks to human health in Guiyang and Wanshan areas[J]. Asian Journal of Ecotoxicology,2009,4(3):392-398.
- [16] 聂荣荣,古勉辉,董文静,等. 梅州金柚中金属元素分析及膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报,2021,12(12):4742-4749.
- NIE Rongrong, Gu Mianhui, DONG Wenjing, et al. Metallic element analysis and dietary risk assessment of Meizhou golden pomelo[J]. Journal of Food Safety & Quality,2021,12(12):4742-4749.
- [17] 徐明芳,岳甜,傅利军,等. 微波消解-电感耦合等离子体-质谱法同步检测白玉菇中 Pb、As、Cd 及其健康风险评估[J]. 食品科学,2020,41(24):333-339.
- XU Mingfang, YUE Tian, FU Lijun, et al. Simultaneous determination of Pb, As and Cd in white hypsizygus marmoreus by microwave digestion inductively coupled plasma-mass spectrometry and health risk assessment[J]. Food Science,2020,41(24):333-339.
- [18] 倪杨,史玉琴,石磊,等. 北京地区六种主产水果矿质元素含量分析及初步膳食风险评估[J]. 食品工业科技,2020,41(13):307-314.
- NI Yang, SHI Yuqin, SHI Lei, et al. Mineral element contents of six dominant fruits in Beijing and their dietary risk assessment[J]. Science and Technology of Food Industry,2020,41(13):307-314.
- [19] 李冰茹,张全刚,姚真真,等. 北京市售干食用菌中重金属特征分析及健康风险评估[J]. 现代食品科技,2020,36(12):293-299,319.
- LI Bingru, ZHANG Quangang, YAO Zhenzhen, et al. Analysis of heavy metals in dried edible fungi commercially available in Beijing and assessment of health risks via consumption[J]. Modern Food Science and Technology,2020,36(12):293-299,319.
- [20] TAGN M L, LU G H, FAN B L, et al. Bioaccumulation and risk assessment of heavy metals in soil-crop systems in Liujiang Karst area, Southwestern China[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2021, 28(8): 9657-9669.
- [21] 王浩,叶丽丽,陈永山,等. 广西典型铝矿区复垦地蔬菜中重金属含量特征及健康风险评估[J]. 西南农业学报,2020,33(11):2655-2661.
- WANG Hao, YE Lili, CHEN Yongshan, et al. Heavy metal content characteristics and health risk assessment of vegetables in reclaimed land of bauxite mine region in Guangxi[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences,2020,33(11):2655-2661.
- [22] ABDELHAMID C, SAMIRA A, Ouardia G. Food survey: levels and potential health risks of chromium, lead, zinc and copper content in fruits and vegetables consumed in Algeria[J]. Food Chem Toxicol, 2014, 70(5):48-53.
- [23] 黄先亮,赵博,吴彦蕾,等. 广西八角中铅、镉、铬含量分析及膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报,2022,13(1):128-133.
- HUANG Xianliang, ZHAO Bo, WU Yanlei, et al. Analysis of lead, cadmium and chromium and dietary risk assessment of illicium verum in Guangxi [J]. Journal of Food Safety & Quality,2022,13(1):128-133.