

# 有色金属矿区周边水体螺蛳食用安全风险分析

苏亚渊, 覃勇荣, 陆素芬, 肖源枝, 陈 乐, 刘旭辉\*

河池学院化学与生物工程学院, 广西 宜州  
Email: \*hcxylxh@163.com

收稿日期: 2021年3月3日; 录用日期: 2021年3月11日; 发布日期: 2021年3月30日

## 摘 要

为了说明有色金属矿区周边水体的食物安全问题, 以地方特色食物——螺蛳为研究对象, 通过采集当地有色金属矿区周边不同水体的螺蛳样品, 并采集污染程度较轻或无污染水体中的螺蛳样品作对照, 分别用原子吸收光谱法和原子荧光光谱法, 测定其不同部位的重金属Cu、Cr、Zn和As的含量, 并参照我国食品污染物限量标准, 说明其食用部位是否存在食用安全风险。结果表明: 1) 在检测的螺蛳样品重金属元素中, Zn的含量最高, Cu的含量次之, 其不同部位重金属含量的平均大小排序为Zn > Cu > As > Cr; 2) 不同重金属在螺蛳体内的累积量有差异, 其中, Zn、Cu、As均为内脏团 > 足肌 > 外壳, 而Cr则为外壳 > 内脏团 > 足肌; 3) 厂矿、城镇、人口密集村落、大型公共活动场所、旅游区和开发区、高强度劳动作业区, 其周围区域水体螺蛳样品的重金属含量相对比较高; 4) 采集的部分螺蛳样品, 其食用部分的重金属含量超标, 其中, 铬的最大超标倍数为11.44, 无机砷的最大超标倍数为3.10, 前者超标情况比后者更严重。因此, 长期食用有色金属矿区周边水体重金属含量超标的螺蛳及其制品, 存在一定的安全风险。

## 关键词

河池, 有色金属矿区, 重金属污染, 螺蛳, 食品安全, 风险分析

# Edible Safety Risk Analysis of *Bellamya quadrata* in Surrounding Water Body of Non-Ferrous Metal Mining Area

Yayuan Su, Yongrong Qin, Sufen Lu, Yuanzhi Xiao, Le Chen, Xuhui Liu\*

School of Chemistry and Bio-Engineering, Hechi University, Yizhou Guangxi  
Email: \*hcxylxh@163.com

\*通讯作者。

文章引用: 苏亚渊, 覃勇荣, 陆素芬, 肖源枝, 陈乐, 刘旭辉. 有色金属矿区周边水体螺蛳食用安全风险分析[J]. 水产研究, 2021, 8(1): 34-43. DOI: 10.12677/ojfr.2021.81004

## Abstract

In order to illustrate the food safety issues in the waters surrounding the non-ferrous metal mining area, the local special food, *Bellamyia quadrata* was taken as the research object. By collecting *B. quadrata* samples from different water bodies around the local non-ferrous metal mining areas, and collecting the *B. quadrata* samples from the water with less pollution or non-polluted water as a control. The content of heavy metals Cu, Cr, Zn, and As in different parts of the *B. quadrata* was determined by atomic absorption spectrometry and atomic fluorescence spectrometry respectively, and with reference to the national food contaminants limit standards, it is indicated whether there are food safety risks in their edible parts. The results show that: 1) among the heavy metal elements in the *B. quadrata* samples, the content of Zn is the highest, followed by the content of Cu, and the order of the average content of heavy metals in different parts is Zn > Cu > As > Cr; 2) the accumulation amount of heavy metals in *B. quadrata* spiral is different, among them, Zn, Cu and As are visceral mass > foot muscle > shell, while Cr is shell > visceral muscle > foot muscle; 3) the heavy metal content of *B. quadrata* samples in the surrounding areas of factories and mines, towns, densely populated villages, large public activity places, tourism areas and development zones, and high intensity labor operation areas is relatively high; 4) the content of heavy metals in the edible parts of the collected *B. quadrata* samples exceeds the standard. The maximum limit multiple of chromium is 11.44, and the maximum limit multiple of inorganic arsenic is 3.10. The former is more serious than the latter. Therefore, long-term consumption of *B. quadrata* and their products with excessive weight metal content in the water surrounding non-ferrous metal mining areas poses a certain safety risk.

## Keywords

Hechi, Non-Ferrous Metal Mining Area, Heavy Metal Pollution, *Bellamyia quadrata*, Food Safety, Risk Analysis

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

螺蛳是软体动物螺蛳属的通称，或方形环棱螺(*Bellamyia quadrata*)的俗称，我国大部分地区有分布，因其高蛋白、低脂肪，且富含维生素和钙、磷、铁等无机元素，可作为优质保健食品开发利用[1]。

河池地处桂西北，矿产资源丰富，被喻为中国有色金属之乡，经济价值巨大[2] [3] [4]。过去很长一段时间，由于矿山无序开采、环保措施滞后等原因，导致矿区周边环境受到严重污染，境内大小江河均受到不同程度的污染[5] [6]。螺蛳作为一种地方特色食品，其食用安全问题逐渐引起了人们的重视[7]。

研究者发现，螺类对水体中重金属有较强的富集作用，可净化水体和底泥[8] [9] [10]。祝云龙等对大通湖和东洞庭湖区水体、沉积物及水生生物重金属的水平进行检测和生态评价[11] [12]。何继宝测定了某河流螺蛳样本和水样中的部分重金属含量，结果发现，螺蛳中的铅、砷、镉、铜、铬分别是水样的 250、326、2304、180、166 倍[13]。潘海燕对洪泽湖水产品中的重金属含量进行调查，发现龙虾和螺蛳中的铅含量超标[14]。周菊[15]等人测定了食用螺的重金属含量，发现其对汞和铜的回收率较高。袁维佳等[16]

对螺蛳的重金属富集作用进行研究时发现,螺蛳对铜、锌、铅的富集能力较强,对铬和镉的富集能力较弱,其富集能力是其他水体动物的10倍左右。吕耀平[17]等人研究了铜、锌、汞、铬4种重金属离子对方形环棱螺的急性毒性,发现其对铜离子抗耐性较差,可作为铜离子污染环境的指示生物。刘飞等[18]研究菹草和螺蛳对养殖池塘水体及底泥净化的效果,通过不同程度覆盖面积的菹草与螺蛳的共同作用,对水体和底泥的净化效果进行分析,其研究表明,螺蛳对池塘水体及底泥具有一定的净化效果,且覆盖面积30%的菹草和螺蛳组合净化效果较好。端正花等[19]人对中国圆田螺的重金属积蓄规律进行研究,发现其对镉污染有指示作用,其壳与软组织均能够蓄积镉,且重金属镉的积蓄量随着暴露时间的增长而增加。包坚敏[20]等人研究了铜、汞、锌、镉对泥螺的影响,发现其对汞、锌、镉的安全质量浓度高于渔业水质标准指标,说明其对汞、锌、镉有较强的抗耐性。国内外对有色金属矿区周边的环境质量及食物安全问题进行过一些调查研究[21][22][23][24][25],但针对螺蛳食用安全风险的研究鲜有报道。

本调查以广西河池矿区周边水体常见的方形环棱螺为研究对象,通过采集有色金属矿区周边水体的螺蛳样品,测定其体内的重金属含量,参考我国食品污染物的限量和国家食品安全相关标准,对螺蛳的食用安全进行分析,并提出相应的防控对策和建议,供相关部门参考。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 调查区域概况

河池市地处桂西北,云贵高原南麓,106°34'~109°09'E、23°41'~25°37'N,属于典型的喀斯特地形地貌,境内的主要江河水体有:红水河、龙江河、刁江、大环江、小环江、东小江、奇庚江、洛寿水库、六坡水库、龙潭水库、乔音水库等,有色金属矿产主要集中在南丹、环江、罗城、宜州、金城江、凤山等县区,被称为有色金属之乡,富含锡、镉、锌、银、钨、铜、铅、铋、铟、镭、铀等稀散金属和硫、砷等非金属矿产[26][27],采矿历史悠久,矿产资源开发和金属冶炼加工是当地的重要的经济支柱。过去由于管理不善,资金不足和技术落后等原因,环境破坏问题突出,江河水体污染比较严重。

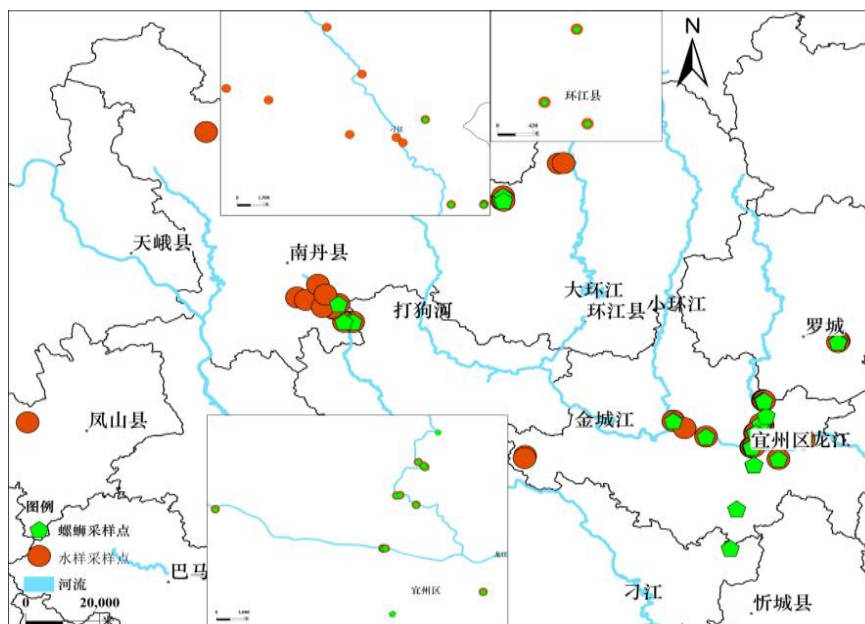
### 2.2. 样品采集及处理

选择晴朗的天气,到已选定的矿区周边水体及河流进行调研采样,并选择没有受到重金属污染或污染程度较轻的河流和水体采集对照样品,现场测定水温、pH、溶解氧等水质参数。采样点分别有:宜州区叶茂水电站、怀远镇小环江、庆远镇龙江码头、矮山乡六坡水库、祥贝乡古龙码头、刘三姐镇下视河和小龙度假村,罗城县龙潭水库,环江县驯乐乡北山铅锌矿、川山镇木论社区下寨屯,南丹县坡前水库、大厂矿区、灰岭尾矿坝等地。采集螺蛳时,用趟网捕捞,将采集到的螺蛳样品用干净的瓶子收集并做好标识,用GPS测定各采样点的地理坐标,并做好相应的采样记录。采样点的分布情况见图1。

将采集的螺蛳样品尽快带回实验室,用干净水放养1.5 d以上,让其充分吐泥,之后,挑选活力较强的螺蛳用纯水清洗干净,模拟螺蛳的食用处理方法,用纯水煮沸5 min左右,然后将螺蛳捞出,分离出螺壳、足肌、内脏团,做好标记,放入110℃电热恒温鼓风干燥箱烘6 h直至恒重,冷却后将样品取出,用微型粉碎机粉碎,过100目尼龙筛,用电子分析天平称取过筛后的样品0.1000(±0.0005) g,放入消解管内,加入浓硝酸:高氯酸=3:2的混和酸10 mL,浸泡过夜[28][29][30][31],次日放入消解炉内消解至样品透明无色。待消解液完全冷却后,定容到50 mL容量瓶内,再用孔径为0.45 μm的微孔滤膜过滤,将滤液保存在塑料样品瓶中,做好相关标记,待测。

### 2.3. 重金属含量的测定

螺蛳样品中锌、铜和铬含量的测定,用原子吸收光谱法,砷含量的测定用原子荧光光谱法[32][33]。各待测元素的线性回归方程及相关系数见表1。



**Figure 1.** Distribution map of snail sampling points in surrounding water bodies of non-ferrous metal mining area in Hechi Guangxi

**图 1.** 广西河池有色金属矿区周边水体螺蛳采样点分布图

**Table 1.** Linear regression equation and correlation coefficient of each element to be measured

**表 1.** 各待测元素的线性回归方程及相关系数

元素	回归方程	相关系数 $R^2$
Zn	$Y = -0.012587 + 0.33150 X$	0.9981
Cu	$Y = 5.7935 - 0.0163 X$	0.9996
Cr	$Y = 0.00086 + 0.010219 X$	0.9993
As	$Y = 8.2864 + 13.406 X$	0.9991

### 3. 结果分析

#### 3.1. 螺蛳不同部位的重金属含量

在采集的 25 个螺蛳样品中, 不同部位重金属含量的测定结果见表 2。从螺蛳不同部位重金属含量平均值来看, Zn 含量最高, 其次是 Cu, Cr 和 As 含量相对较低, 且两者相差不大, 不同重金属平均含量大小排序为:  $Zn > Cu > As > Cr$ ; 从重金属在螺蛳不同部位累积的平均值来看, Zn、Cu、As 均为内脏团 > 足肌 > 外壳, 而 Cr 则为外壳 > 内脏团 > 足肌。从不同采集点螺蛳体内重金属累积的情况来看, 靠近城镇及人口密集区水域、人类活动频繁区附近水域、厂矿周边水域, 样品中的重金属含量比较高, 见图 2、图 3。

#### 3.2. 螺蛳体内重金属含量的相关性分析

为了说明螺蛳体内不同部位重金属含量的关系, 可对其相关性进行分析(见表 3)。结果显示, 螺蛳外壳的 Cr 与斧足的 As 呈显著正相关, 与斧足的 Cu 呈极显著负相关; 斧足的 Cr 与外壳的 Cu 呈极显著的正相关, 与斧足和内脏团的 Cu 呈显著负相关, 与外壳的 Zn 呈极显著负相关; 内脏团的 Cr 与内脏团的 As 呈显著正相关, 与斧足及内脏团的 Zn 呈显著负相关; 外壳中的 As 与外壳、斧足及内脏团中的 Zn 呈

显著或极显著正相关(说明其有相同的来源); 斧足的 As 与外壳和内脏团的 Cu 呈显著或极显著正相关; 内脏团的 As 与外壳的 Cu 呈显著正相关; 斧足的 Cu 与内脏团的 Cu、斧足及内脏团的 Zn 呈显著或极显著的正相关; 内脏团的 Cu 与外壳的 Zn 呈显著正相关; 斧足的 Zn 与内脏团的 Zn 呈极显著的正相关。由此可知, 螺蛳体内的重金属累积, 主要是来源于外源污染, 部分重金属可能有相同的来源。

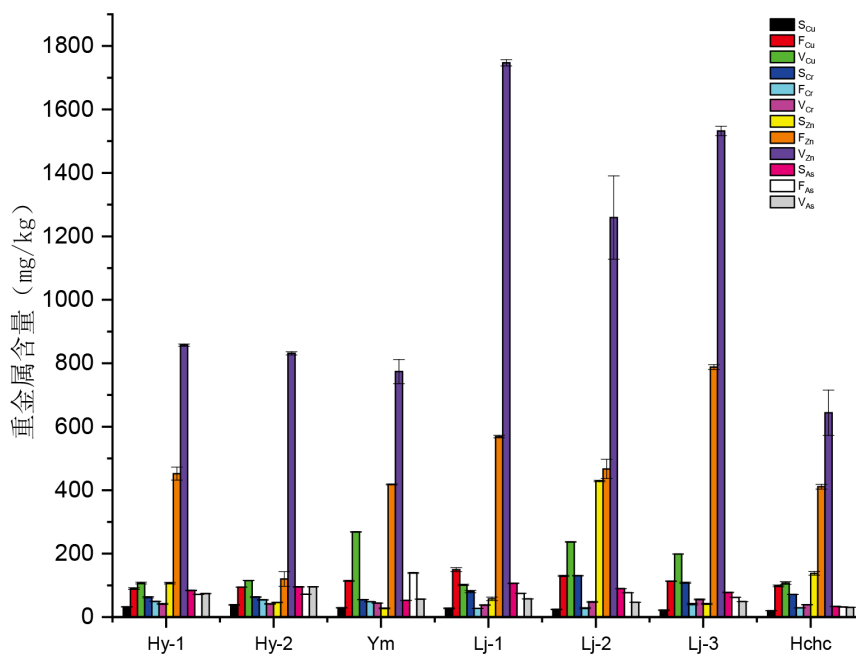


Figure 2. Heavy metal content of snail samples from Longjiang River  
图 2. 龙江河螺蛳样品的重金属含量

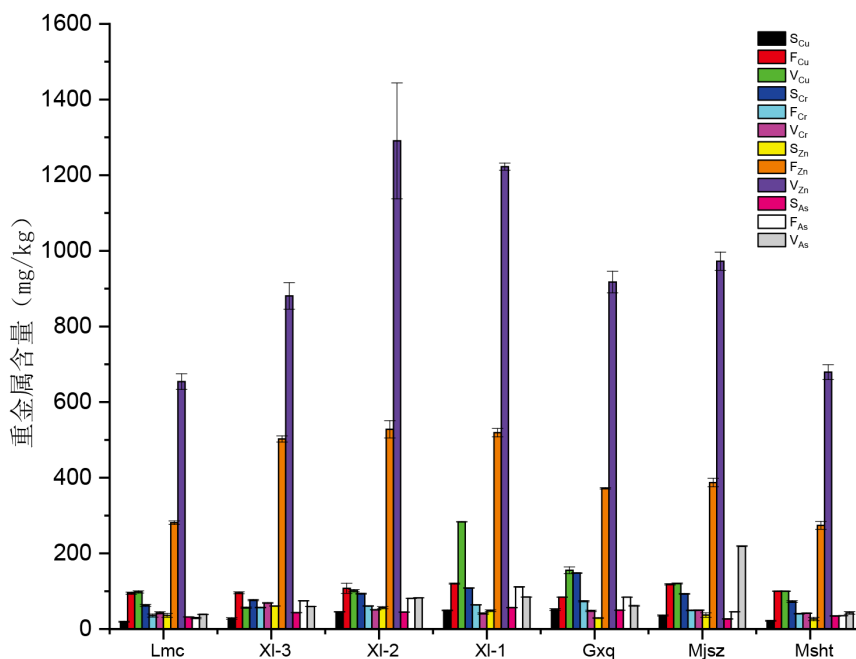


Figure 3. Heavy metal content of snail samples from Dongxiaojiang  
图 3. 东小江螺蛳样品的重金属含量

**Table 2.** Heavy metal content of snail samples in water around Hechi non-ferrous metal mining area (mg/kg)  
**表 2.** 河池有色金属矿区周边水体螺蛳样品中的重金属含量(mg/kg)

采样点	Cu			Cr			Zn			As		
	S	F	V	S	F	V	S	F	V	S	F	V
Hy-1	32.39 ± 0.74	89.74 ± 2.82	107.27 ± 2.74	62.47 ± 2.22	49.52 ± 0.38	41.25 ± 1.84	107.16 ± 2.72	452.17 ± 20.66	857.07 ± 3.49	83.88 ± 0.96	71.33 ± 0.48	74.09 ± 0.59
Hy-2	38.70 ± 1.37	94.44 ± 0.41	115.22 ± 0.76	63.26 ± 1.52	54.24 ± 1.24	41.58 ± 1.10	46.46 ± 0.91	119.99 ± 22.95	831.34 ± 5.33	95.34 ± 1.30	71.97 ± 0.29	95.48 ± 0.60
Ym	29.08 ± 0.95	114.06 ± 1.83	268.60 ± 1.43	54.96 ± 0.68	48.56 ± 0.52	43.96 ± 0.48	27.57 ± 1.49	418.04 ± 1.48	773.74 ± 38.00	52.73 ± 0.25	139.51 ± 1.85	56.63 ± 0.29
Lj-1	21.90 ± 1.07	113.20 ± 1.20	198.81 ± 0.35	108.18 ± 1.98	41.00 ± 2.81	55.57 ± 1.63	41.43 ± 2.02	788.01 ± 7.54	1532.11 ± 14.94	77.60 ± 1.27	62.25 ± 0.15	49.05 ± 0.07
Lj-2	24.11 ± 1.20	129.62 ± 2.21	236.84 ± 1.34	130.36 ± 0.88	28.06 ± 2.18	47.66 ± 1.86	428.91 ± 2.28	466.93 ± 30.40	1259.22 ± 13.15	89.79 ± 0.22	76.71 ± 0.09	46.55 ± 0.26
Lj-3	27.66 ± 1.69	149.28 ± 6.30	101.67 ± 2.35	80.78 ± 3.67	27.44 ± 0.50	37.88 ± 1.07	57.51 ± 5.24	568.75 ± 4.02	1746.94 ± 9.86	106.54 ± 0.71	74.72 ± 0.20	57.39 ± 0.10
Hehc	20.31 ± 0.40	98.17 ± 2.83	107.39 ± 4.25	71.56 ± 0.55	29.05 ± 0.66	39.20 ± 0.80	137.83 ± 5.65	411.12 ± 7.60	643.88 ± 71.47	33.46 ± 0.42	31.88 ± 0.47	30.78 ± 0.20
Lmc	19.24 ± 1.43	94.73 ± 2.94	98.09 ± 2.88	62.49 ± 2.42	35.46 ± 4.05	42.89 ± 3.00	36.04 ± 5.00	281.14 ± 4.59	654.18 ± 20.74	31.91 ± 0.10	29.08 ± 1.96	38.76 ± 0.59
Xl-1	49.24 ± 1.03	120.13 ± 1.29	283.42 ± 0.69	108.35 ± 1.27	64.01 ± 0.81	41.01 ± 1.71	48.44 ± 2.36	519.13 ± 10.99	1222.55 ± 9.50	56.71 ± 0.76	111.38 ± 0.84	84.56 ± 0.18
Xl-2	45.48 ± 0.57	107.64 ± 13.40	101.47 ± 2.99	93.37 ± 1.28	60.83 ± 0.83	50.83 ± 0.70	56.29 ± 2.73	528.05 ± 23.02	1290.71 ± 153.16	44.85 ± 0.31	81.11 ± 0.19	82.38 ± 0.47
Xl-3	27.78 ± 2.34	95.71 ± 2.47	56.28 ± 1.63	76.37 ± 1.73	56.72 ± 1.07	68.94 ± 0.87	60.78 ± 0.13	502.51 ± 8.28	880.93 ± 35.17	43.13 ± 0.36	74.64 ± 0.65	59.65 ± 0.20
Gxq	51.58 ± 2.26	84.41 ± 0.35	155.30 ± 8.93	147.89 ± 1.22	73.46 ± 1.67	48.12 ± 1.89	28.98 ± 0.93	371.82 ± 1.86	917.25 ± 28.46	49.76 ± 0.11	84.14 ± 0.40	61.45 ± 1.09
Mjsz	35.92 ± 1.51	118.23 ± 1.69	120.43 ± 1.33	92.97 ± 1.45	49.00 ± 1.11	49.72 ± 0.85	36.93 ± 5.79	387.20 ± 11.30	972.50 ± 23.91	26.59 ± 0.64	45.43 ± 0.42	219.09 ± 1.15
Msh	21.91 ± 1.05	100.02 ± 0.53	99.93 ± 0.70	72.52 ± 2.46	40.50 ± 0.82	41.63 ± 0.77	26.45 ± 4.58	273.94 ± 10.39	679.15 ± 19.76	34.59 ± 0.98	35.11 ± 0.51	42.72 ± 3.38
Lp-1	10.80 ± 0.33	45.59 ± 4.98	100.85 ± 0.10	179.66 ± 4.29	59.54 ± 1.35	44.17 ± 1.14	45.77 ± 0.60	474.73 ± 27.07	555.33 ± 7.93	106.20 ± 0.63	68.48 ± 0.72	49.81 ± 0.16
Lp-2	42.74 ± 0.72	51.61 ± 2.77	169.95 ± 0.97	142.02 ± 2.44	58.37 ± 1.24	58.82 ± 1.63	43.53 ± 1.92	337.49 ± 3.90	635.88 ± 1.03	49.53 ± 0.94	56.82 ± 0.41	53.52 ± 0.64
Tqsk	23.14 ± 0.67	73.21 ± 3.17	129.28 ± 0.65	57.28 ± 0.78	57.62 ± 2.05	53.92 ± 1.12	42.56 ± 5.97	315.26 ± 4.35	515.23 ± 2.35	47.24 ± 0.59	60.72 ± 0.08	54.89 ± 0.31
Lsh	22.87 ± 0.43	101.87 ± 3.36	121.55 ± 9.22	76.52 ± 0.92	56.47 ± 0.77	46.46 ± 0.90	57.78 ± 2.76	317.03 ± 11.11	619.85 ± 12.24	29.77 ± 0.38	26.85 ± 0.19	34.41 ± 0.52
Lmt	27.74 ± 0.18	116.88 ± 2.12	237.88 ± 3.23	86.41 ± 1.57	22.48 ± 0.50	43.73 ± 1.20	126.60 ± 6.25	393.76 ± 2.53	367.23 ± 4.07	52.88 ± 0.50	74.54 ± 0.39	86.23 ± 0.51
Jply	15.32 ± 0.22	48.77 ± 0.73	208.70 ± 10.58	72.97 ± 0.55	49.32 ± 0.23	52.78 ± 1.44	110.05 ± 2.50	339.38 ± 1.71	367.28 ± 3.99	71.09 ± 0.89	65.42 ± 0.07	53.70 ± 0.71
Pq-1	34.52 ± 0.71	107.93 ± 3.31	263.27 ± 28.84	149.05 ± 0.35	27.73 ± 0.47	31.21 ± 1.54	49.35 ± 3.27	588.33 ± 9.83	971.28 ± 35.13	47.02 ± 0.35	83.84 ± 0.72	85.73 ± 0.54
Pq-2	23.37 ± 2.51	105.65 ± 0.22	271.62 ± 8.02	144.26 ± 3.17	28.10 ± 0.60	28.91 ± 0.31	116.32 ± 2.28	397.36 ± 14.85	1260.11 ± 11.01	50.83 ± 0.69	90.20 ± 0.88	106.32 ± 0.74
Pqdb	17.32 ± 1.06	59.76 ± 8.28	166.33 ± 3.13	198.87 ± 1.47	19.19 ± 0.75	23.04 ± 0.47	123.28 ± 1.33	298.23 ± 5.89	1138.78 ± 6.76	34.81 ± 28.89	93.09 ± 0.78	77.78 ± 0.40
Lt-1	27.21 ± 0.65	57.07 ± 0.51	93.31 ± 1.50	148.48 ± 2.20	40.42 ± 2.18	91.95 ± 2.27	97.84 ± 0.98	282.62 ± 34.05	458.69 ± 88.37	49.90 ± 0.23	100.26 ± 0.83	119.77 ± 0.67
Lt-2	13.11 ± 0.44	82.75 ± 0.76	152.26 ± 1.08	78.96 ± 0.80	48.34 ± 1.65	96.92 ± 2.43	118.77 ± 11.12	224.25 ± 3.41	573.35 ± 8.83	43.37 ± 0.49	94.92 ± 0.92	115.17 ± 1.24
平均值	28.14 ± 10.92	94.42 ± 28.54	158.63 ± 67.911	102.40 ± 40.99	45.02 ± 14.66	48.89 ± 16.70	82.91 ± 80.65	399.60 ± 139.94	868.98 ± 362.73	56.38 ± 23.76	72.18 ± 26.37	73.44 ± 39.04

注：① 符号“S”、“F”和“V”分别代表螺蛳的外壳、足肌和内脏团；② Hy、Ym、Lj、Hehc、Lmc、Xl、Gxq、Mjsz、Msh、Lp、Tqsk、Lsh、Lmt、Jply、Pq、Pqdb、Lt 分别表示怀远、叶茂大坝、龙江码头、湖长村、六妹村、小龙村、歌仙桥底、苗家山庄后下观河、马山塘、六坡水库、土桥水库、洛寿水库、龙滩屯、金盆捞月池塘、坡前大桥、坡前水库大坝、龙潭水库。③ 重金属含量以干重计算，下同。

**Table 3.** Correlation analysis of heavy metals in snail from different habitats**表 3.** 不同产地螺蛳体内重金属相关性分析

	S <sub>Cr</sub>	F <sub>Cr</sub>	V <sub>Cr</sub>	S <sub>As</sub>	F <sub>As</sub>	V <sub>As</sub>	S <sub>Cu</sub>	F <sub>Cu</sub>	V <sub>Cu</sub>	S <sub>Zn</sub>	F <sub>Zn</sub>	V <sub>Zn</sub>
S <sub>Cr</sub>	1											
F <sub>Cr</sub>	-0.150	1										
V <sub>Cr</sub>	-0.142	0.193	1									
S <sub>As</sub>	0.078	0.018	-0.120	1								
F <sub>As</sub>	0.264*	0.045	0.172	0.206	1							
V <sub>As</sub>	0.118	-0.004	0.245*	-0.192	0.217	1						
S <sub>Cu</sub>	0.046	0.488**	-0.215	-0.082	0.234*	0.232*	1					
F <sub>Cu</sub>	-0.313**	-0.236*	-0.173	0.001	0.025	0.087	0.262*	1				
V <sub>Cu</sub>	0.185	-0.293*	-0.197	0.115	0.551**	0.056	0.142	0.246*	1			
S <sub>Zn</sub>	0.171	-0.442**	0.066	0.228*	0.070	-0.088	-0.252*	0.150	0.269*	1		
F <sub>Zn</sub>	0.155	0.087	-0.258*	0.276*	0.138	-0.146	0.165	0.520**	0.166	0.013	1	
V <sub>Zn</sub>	0.193	-0.186	-0.281*	0.300**	0.215	0.060	0.271*	0.588**	0.211	0.112	0.618**	1

注: \*和\*\*分别为在 0.05 和 0.01 水平(双侧)上显著相关; S<sub>Cu</sub>、F<sub>Cu</sub>、V<sub>Cu</sub> 分别表示螺蛳外壳、足肌和内脏团的铜含量, 其余标记依此类推。

#### 4. 讨论

民以食为天, 食品安全是关系民生的重大问题[34] [35]。为了说明有色金属矿区周边水体采集的螺蛳是否存在食用安全风险, 可参照我国食品安全相关标准, 对螺蛳可食部分的重金属含量进行比较分析。虽然, 在最新颁布的食品安全国家标准(GB2762-2017)中, 已将铜、锌 2 种元素删除, 因而无法判断其在螺蛳样品中的含量是否超标, 但仍然可以根据水产动物及其制品的污染物限量[32], 对螺蛳样品食用部分(斧足和内脏团)中的铬和砷含量进行比较分析, 说明其是否超标及超标的程度, 具体情况见表 4。

因为生物对环境中的污染物具有一定的富集能力, 所以, 经过螺蛳的生物放大作用, 其体内的重金属含量往往高于水体[16], 当其进入食物链时, 便会对人体健康造成潜在的危害。从表 4 可知, 新鲜螺蛳足肌和内脏团中的 Cr 含量分别为 5.42~20.75 mg/kg 和 5.44~22.87 mg/kg, 在采集的 25 个样品中, Cr 含量全部超标, 最大超标倍数分别为 10.38 和 11.44; 新鲜螺蛳足肌中的 As 含量为 7.58~39.40 mg/kg (无机 As 含量为 0.23~1.18 mg/kg), 80% (20/25)足肌的 As 含量超标, 最大超标倍数为 2.36; 新鲜螺蛳内脏团中的 As 含量为 7.26~51.71 mg/kg (无机 As 含量为 0.22~1.55 mg/kg), 44% (11/25)内脏团的 As 含量超标, 最大超标倍数为 3.10 [33]。由此可见, 螺蛳食用部分 Cr 超标的情况比 As 严重; 无论是 Cr 还是 As, 内脏团的超标情况均比足肌严重。

河池矿产资源丰富, 重金属元素的背景值比较高[36], 其境内的有色金属矿床为多金属矿[37] [38], 多年的无序开采及粗放式的经营管理, 以及长期对环保工作的忽视, 造成了生态环境的严重破坏, 其周边的江河湖泊及库区水体, 不可避免地受到高度的人为干扰破坏, 重金属污染事件时有发生[39]。从螺蛳体内不同部位重金属含量的相关性分析中可知, 本研究采集的螺蛳样品, 其体内的多种重金属元素可能有相同来源, 这也从另一个侧面说明了有色金属矿区周边水体污染的普遍性。

在对螺蛳样品铜、铬、锌、砷 4 种重金属元素的检测中, 锌的含量最高, 铜的含量次之, 铬、砷含量较低, 与袁维佳等人的相关研究结果类似, 这可能与螺蛳对铜、锌的富集能力较强, 对铬、砷的富集能力较弱有关[16]。因为铅、锌、锡等多金属矿床常常伴生有铬、镍、铋、砷等多种重金属元素, 所以, 有色金属矿区周边环境一旦受到重金属污染, 水体中这些伴生的重金属元素含量也比较高, 经过生物富集和放大, 很容易对人体造成危害。除此之外, 农业生产中, 化肥和农药的大量施用, 工业废水的超标排放, 人工饲料中各种微量元素的添加及过量使用, 在一定程度上也增加了土壤和水体中的重金属含量。

不同采集点螺蛳体内重金属含量的差异,可能与螺蛳生活水体的重金属含量有关。本研究也发现,人类活动频繁、人为干扰强度大的区域,如歌仙桥、苗家山庄、叶茂电站等河段,以及六坡水库、洛寿水库和龙潭水库等水体,螺蛳中的重金属含量比较高,因此,可否将其作为一种环境指示生物,监测水体环境质量的变化。

在生态系统中,各种重金属元素的来源可能不同,其对生物的毒性也有差异,生物体内的重金属元素含量过高,必定对其正常生理机能产生不良的影响。砷和铬都是毒性较强的重金属,而且有致癌作用,其毒性与该元素的价态和形态有关。据报道,六价铬的毒性比三价铬高 100 倍[40],三价砷的毒性比五价砷更强,无机砷的毒性比有机砷强[41][42]。因此,重金属含量超标的食品,必定存在一定的安全风险。

螺蛳不同部位对重金属的累积存在一定的差异,其同一部位对不同重金属的累积能力也有不同,重金属在螺蛳体内累积的生理机制及影响因素,诸多问题尚有待进一步研究。

**Table 4.** Heavy metal content of some fresh snail samples in surrounding water of Hechi non-ferrous metal mining area and the multiple exceeding the standard

**表 4.** 河池有色金属矿区周边水体新鲜螺蛳样品部分重金属含量及超标倍数

采样点	Cr/超标倍数			As/无机 As/超标倍数		
	S	F	V	S	F	V
Hy-1	53.13/ -	13.98/6.99	9.74/4.87	71.34/2.14/ -	20.14/0.60/1.20	17.49/0.52/1.04
Hy-2	53.80/ -	15.32/7.61	9.81/4.91	81.09/2.43 -	20.32/0.61/1.22	22.53/0.68/1.36
Ym	46.74/ -	13.71/6.86	10.37/5.19	44.85/1.35 -	39.40/1.18/2.36	13.36/0.40/ NE
Lj-1	92.01/ -	11.58/5.79	13.11/6.56	66.00/1.98 -	17.58/0.53/1.06	11.58/0.35/ NE
Lj-2	110.87/ -	7.92/3.96	11.25/5.63	76.37/2.29 -	21.66/0.65/1.30	10.99/0.33/ NE
Lj-3	68.70/ -	7.75/3.88	8.94/4.47	90.61/2.72 -	21.10/0.63/1.26	13.54/0.41/ NE
Hhc	60.86/ -	8.20/4.10	9.25/4.63	28.46/0.85 -	9.00/0.27/NE	7.26/0.22/ NE
Lmc	53.15/ -	10.01/5.01	10.12/5.06	27.14/0.81 -	8.21/0.25/ NE	9.15/0.27/ NE
XI-1	92.15/ -	18.08/9.04	9.68/4.84	48.23/1.45 -	31.45/0.94/1.88	19.96/0.60/1.20
XI-2	79.41/ -	17.18/8.59	12.00/6.00	38.14/1.14 -	22.91/0.69/1.38	19.44/0.58/1.16
XI-3	64.95/ -	16.02/8.01	16.27/8.14	36.68/1.10 -	21.08/0.63/1.26	14.08/0.42/ NE
Gxq	125.78/ -	20.75/10.38	11.36/5.68	42.32/1.27 -	23.76/0.71/1.42	14.50/0.44/ NE
Mjsz	79.07/ -	13.84/6.92	11.73/5.87	22.61/0.68 -	12.83/0.38/ NE	51.71/1.55/3.10
Msht	61.68/ -	11.44/5.72	9.82/4.91	29.42/0.88 -	9.92/0.30/ NE	10.08/0.30/ NE
Lp-1	152.80/ -	16.81/8.41	10.42/5.21	90.32/2.71 -	19.34/0.58/1.16	11.76/0.35/ NE
Lp-2	120.79/ -	16.48/8.24	13.88/6.94	42.13/1.26 -	16.05/0.48/ NE	12.63/0.38/ NE
Tqsk	48.72/ -	16.27/8.14	12.73/6.37	40.18/1.21 -	17.15/0.51/1.02	12.95/0.39/ NE
Lsh	65.08/ -	15.95/7.98	10.96/5.48	25.32/0.76 -	7.58/0.23/ NE	8.12/0.24/ NE
Lmt	73.49/ -	6.35/3.18	10.32/5.16	44.97/1.35 -	21.05/0.63/1.26	20.35/0.61/1.22
Jply	62.06/ -	13.93/6.97	12.46/6.23	60.46/1.81 -	18.47/0.55/1.10	12.67/0.38/ NE
Pq-1	126.77/ -	7.83/3.92	7.37/3.69	39.99/1.20 -	23.68/0.71/1.42	20.23/0.61/1.22
Pq-2	122.69/ -	7.94/3.97	6.82/3.41	43.23/1.30 -	25.47/0.76/1.52	25.09/0.75/1.50
Pqdb	169.14/ -	5.42/2.71	5.44/2.72	29.61/0.89 -	26.29/0.79/1.58	18.36/0.55/1.10
Lt-1	126.28/ -	11.41/5.71	21.70/10.85	42.44/1.27 -	28.31/0.85/1.70	28.27/0.85/1.70
Lt-2	67.16/ -	13.65/6.83	22.87/11.44	36.89/1.11 -	26.81/0.80/1.60	27.18/0.82/1.64
平均	87.09/ -	12.71/6.36	11.54/5.77	47.95/1.44 -	20.38/0.61/1.22	17.33/0.52/1.04

注: ① 经实际测定,螺蛳外壳、斧足及内脏团的平均含水量分别为: 14.95%、71.76%和 76.40%,重金属含量的单位为 mg/kg; ② 淡水中水产动物的无机砷含量,通常占其总砷含量的 1%~6%左右[33],本研究取其中间数值 3%进行计算; ③ 未超标(not exceeded)用大写字母 NE 表示; ④ 因为螺蛳外壳为非食用部分,故不计算其重金属含量超标倍数,用符合“-”表示。



## 5. 结论

根据以上实验数据及分析讨论, 可以初步得到以下结论:

1) 在检测的螺蛳样品重金属元素中, Zn 的含量最高, Cu 的含量次之, 其不同部位重金属含量的平均值大小排序为: Zn > Cu > As > Cr。

2) 不同重金属在螺蛳体内的累积量有差异, 其中, Zn、Cu、As 均为内脏团 > 足肌 > 外壳, 而 Cr 则为外壳 > 内脏团 > 足肌。

3) 因环境污染及人为干扰的影响, 厂矿、城镇、人口密集村落、大型公共活动场所、旅游区开发区、高强度劳动作业区, 其周围区域水体螺蛳样品的重金属含量相对比较高。

4) 在河池有色金属矿区周边水体采集的部分螺蛳样品, 其食用部分的重金属含量超标, 其中, 铬的最大超标倍数为 11.44, 无机砷的最大超标倍数为 3.10, 前者超标情况比后者更严重。因此, 长期食用重金属含量超标的螺蛳及其制品, 存在一定的安全风险。

## 基金项目

桂西北地方资源保护与利用工程中心(桂教科研[2012] 9 号), 河池学院高层次人才科研启动费项目(XJ2018GKQ015), 广西大学生创新创业训练计划项目(SJ201835)。

## 参考文献

- [1] 陈元晓, 陈英杰, 张闻, 田明, 周轶平. 云南省 4 种淡水贝类的营养成分和经济价值[J]. 四川解剖学杂志, 2009, 17(2): 28-30.
- [2] 叶绪孙, 潘其云. 广西南丹大厂锡多金属矿田发现史[J]. 广西地质, 1994, 7(1): 85-94.
- [3] 张宏, 谢磊, 汤静如, 刘玲玲, 严小敏, 叶小拼. 广西南丹地区重金属污染土壤修复对策研究[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(10): 58-61.
- [4] 唐保晖, 黄丽华, 邓雄鹰. 2009~2010 年河池市食品中重金属污染监测及分析[J]. 医学动物防制, 2011, 27(9): 841-842.
- [5] 张丽娥, 莫招育, 覃健, 等. 广西大厂矿区下游农村土壤重金属污染及儿童健康风险评估[J]. 环境与健康杂志, 2014, 31(6): 512-516.
- [6] 张丽娥. 广西大厂矿区下游某村水体 - 土壤 - 农作物重金属污染及健康风险评价[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西医科大学公共卫生学院, 2015.
- [7] 诸永志, 王道营, 徐为民, 吴海虹, 郑安俭. 青螺肉中汞及重金属残留分析[J]. 江西农业学报, 2007, 19(4): 104-105.
- [8] 储昭升, 靳明, 叶碧碧, 等. 海菜花 - 螺蛳经济湿地对农田低污染水的净化[J]. 环境科学研究, 2015, 28(6): 975-980.
- [9] 沈兰, 范彪, 田明, 等. 滇池螺蛳(*Margarya melanioides*)分布和底泥营养元素调查[J]. 海洋科学, 2015, 39(11): 26-31.
- [10] 朱明璇, 李梅, 任杰, 等. 水生动植物联合技术净化水库水试验研究[J]. 应用化工, 2020, 49(7): 1727-1731.
- [11] 祝云龙, 姜加虎, 黄群, 等. 大通湖及东洞庭湖区生物体重金属的水平及其生态评价[J]. 湖泊科学, 2007, 19(6): 690-697.
- [12] 祝云龙, 姜加虎, 黄群, 等. 东洞庭湖与大通湖水体沉积物和生物体中 Cd Pb Hg As 的含量分布及相互关系[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1377-1384.
- [13] 何继宝, 戴桂助. 微波消化——石墨炉原子吸收法测定螺蛳中的铅、砷、镉、铜、铬[J]. 中国卫生检验杂志, 1996, 6(4): 231-233.
- [14] 潘海燕, 蔡文阳. 洪泽湖水产品中重金属含量调查[J]. 仪器仪表与分析监测, 2006(3): 36-37.
- [15] 周菊, 冯德雄, 李宇红, 谢莹. 电位溶出分析法连续测定食用螺中的汞和铜[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 1989(3): 52-56.

- [16] 袁维佳, 俞膺浩, 谷瑗, 陈虹. 螺蛳对重金属元素的富集作用[J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2000, 29(3): 73-79.
- [17] 吕耀平, 黄佩佩, 刘子明. 铜锌汞铬 4 种重金属离子对方形环棱螺的急性毒性效应[J]. 丽水学院学报, 2014, 36(2): 33-38.
- [18] 刘飞, 段登选, 李敏, 许国晶, 杜兴华, 张明磊. 菹草和螺蛳对养殖池塘水体及底泥氮、磷等净化效果研究[J]. 海洋湖沼通报, 2016(6): 107-112.
- [19] 端正花, 李莹莹, 陈静, 董伟, 梁晶晶, 岳俊杰, 汪磊. 中国圆田螺壳在镉污染中的指示作用[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(11): 2131-2135.
- [20] 包坚敏, 王志铮, 陈启恒, 杨阳, 袁久尧. 4 种重金属对泥螺的急性毒性和联合毒性研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2007, 26(3): 252-256.
- [21] 陈清敏, 张晓军, 胡明安. 大宝山铜铁矿区水体重金属污染评价[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(6): 64-65.
- [22] 高卫强, 丁振华, 谢陈笑, 等. 某大型金 - 铜矿对环境的重金属污染及生态影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2006, 45(S): 281-285.
- [23] 吴思. 贵州某梯矿区水体污染特征及生态风险研究[D]: [硕士学位论文]. 衡阳: 南华大学, 2017.
- [24] 陆素芬, 张云霞, 余元元, 等. 广西南丹土壤 - 玉米重金属积累特征及其健康风险[J]. 生态与农村环境学报, 2017, 33(8): 706-714.
- [25] 陆素芬, 杨子杰, 钟雪梅, 等. 南丹县矿区居民膳食暴露及健康风险评估[J]. 环境科学与技术, 2017, 40(11): 175-182.
- [26] 冉俊铭, 黄潮, 易健宏, 王继锋. 河池有色金属产业发展对策探讨[J]. 湖南有色金属, 2007, 23(2): 72-75.
- [27] 邓坤, 胡振光. 广西南丹矿产资源及可持续发展探讨[J]. 矿产与地质, 2010, 24(6): 552-556.
- [28] 吴春红, 薛晶, 杨建明, 余光新. 用钉螺作为指示生物监测其孳生地重金属污染状况[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2007, 29(1): 96-98.
- [29] 余元元, 黄宇妃, 宋波, 徐婷, 陆素芬, 袁振南. 南丹县矿区周边土壤与农产品重金属含量调查及健康风险评估[J]. 环境化学, 2015, 34(11): 2133-2135.
- [30] 叶惠煊, 谭舟, 刘向前, 周斌文, 熊力夫. 湿法消解 - 原子荧光光谱法测定湘葛一号中的砷、汞、铅[J]. 食品科学, 2014, 35(4): 151-154.
- [31] 徐珑珀, 赵向阳, 杨浩, 胡晓荣. 不同消解方法对 HG-AFS 测定植物样品硒含量的影响[J]. 中国测试, 2015, 41(3): 61-64.
- [32] 中国标准出版社. 中华人民共和国国家标准, 食品安全国家标准. 食品中污染物限量(GB2762-2017) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [33] 刘香丽, 汪倩, 宋超, 等. 安徽养殖中华绒螯蟹体内砷形态的分布特征及膳食风险评估[J]. 南方水产科学, 2020, 16(6): 105-114.
- [34] 王燕霞. 食品安全是重大的民生问题应“善治” [J]. 法治与社会, 2014(11): 38-40.
- [35] 蒋安杰, 路磊. 食品安全是重大的民生问题——《食品安全治理蓝皮书(2014)》发布会暨学术研讨会在京举行[N]. 法制日报, 2015-06-17(012).
- [36] 广西环境科学研究所. 土壤背景值研究方法 & 广西土壤背景值[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 1992: 223.
- [37] 王登红, 陈毓川, 陈文, 等. 广西南丹大厂超大型锡多金属矿床的成矿时代[J]. 地质学报, 2004, 78(1): 132-138.
- [38] 刘继顺, 刘飏, 王天国, 等. 广西大厂矿田亢马锡多金属矿勘探历史及存在问题[J]. 矿业工程研究, 2015, 30(4): 34-38.
- [39] 刘旭辉, 覃勇荣, 黄振球, 等. 河池市矿产资源可持续利用与生态环境保护[J]. 河池学院学报, 2013, 33(2): 1-6.
- [40] 孙晓飞, 张宁, 刘淑艳, 等. 六价铬 Cr(VI)最新研究进展[J]. 应用化工, 2020, 49(4): 1038-1038, 1043.
- [41] 谭婷婷, 王瑛. 食品中砷的形态及无机砷降低毒性的研究进展[C]//广东省食品学会. “食品工业新技术与新进展”学术研讨会暨 2014 年广东省食品学会年会论文集, 2014: 82-86.
- [42] 张文雅, 张迎梅. 砷对人体健康的毒性研究进展[C]//2013 中国环境科学学会学术年会论文集(第七卷)中国环境科学学会会议论文集, 2013: 6255-6260.