

doi:10.3969/j.issn.2095-1035.2022.06.004

黔产市售绿茶重金属的含量特征及健康风险评估

刘文政 杨绍群 殷忠 毕珊 张权 刘利亚*

(贵州省疾病预防控制中心, 贵阳 550004)

摘要 为研究黔产市售绿茶中重金属的含量分布特征及健康风险,以五个生产加工地的黔产市售绿茶为研究对象,分析其 9 种重金属(Pb、Cr、Cd、Hg、Cu、Zn、Mn、Ni 和 As)含量,利用美国环境保护署(USEPA)推荐的健康风险评估模型进行人体重金属的健康风险评估。结果表明,五种茶叶中 Cr、Cd、Pb、Hg、Cu 和 As 含量均低于国家限量标准。黔产市售绿茶的重金属浸出率大小次序为 Zn>Mn>Hg>As>Cd>Pb>Cr>Cu>Ni。健康风险评估结果表明,五个产地的绿茶中重金属通过饮茶途径所产生的健康危害个人年风险大小次序为 Cd>As>Mn>Ni>Cr>Hg>Pb>Zn>Cu,茶叶中重金属通过饮茶途径所产生的个人健康危害年风险总和为 $4.33 \times 10^{-6} \sim 5.73 \times 10^{-6} a^{-1}$,均低于 USEPA 和 ICRP 推荐的最大可接受风险水平,表明重金属引起的健康危害极小,其对暴露人群造成的健康危害可忽略不计,绿茶中重金属均处于安全范围内。

关键词 贵州;绿茶;重金属;健康风险评估;浸出率

中图分类号:O657.63 文献标志码:A 文章编号:2095-1035(2022)06-0019-07

Health Risk Assessment and Characteristics of Heavy Metals in Green Tea Samples from Urban Markets in Guizhou Province

LIU Wenzheng, YANG Shaoqun, YIN Zhong, BI Shan, ZHANG Quan, LIU Liya*

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

Abstract In order to investigate the distribution characteristics and health risk of heavy metals in tea, the green tea samples of five production and processing areas commercially available from urban markets in Guizhou province were collected to monitor the content of heavy metals such as Pb, Cr, Cd, Hg, Cu, Zn, Mn, Ni and As. The preliminary health risk assessments of these nine heavy metals in the commercial tea were evaluated with the US EPA health risk assessment model. Results showed that the contents of Cr, Cd, Pb, Hg, Cu and As in five kinds of teas were lower than national standard. Zn was shown to have the highest diffusion rate in tea infusion after brewing followed by Mn, Hg, As, Cd, Pb, Cr, Cu and Ni. The health risk level of Cd produced through drinking tea infusion was the highest after brewing, followed by As, Mn, Ni, Cr, Hg, Pb, Zn and Cu. Health risk assessment results of commercial tea indicated that heavy

收稿日期:2022-01-14 修回日期:2022-08-08

基金项目:贵州省卫生健康委科学技术基金项目(gzwbkj2022-208);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:刘利亚,男,主任技师,主要从事食品安全风险预警方面的研究。E-mail:541767047@qq.com

引用格式:刘文政,杨绍群,殷忠,等.黔产市售绿茶重金属的含量特征及健康风险评估[J].中国无机分析化学,2022,12(6):19-25.

LIU Wenzheng, YANG Shaoqun, YIN Zhong, et al. Health Risk Assessment and Characteristics of Heavy Metals in Green Tea Samples from Urban Markets in Guizhou Province[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2022, 12(6): 19-25.

metals of personal total annual risk was 4.33×10^{-6} to $5.73 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$. The personal total annual risk of five teas were lower than the maximum acceptable levels recommended by US EPA ($1.0 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$). And the heavy metals in green tea are within the safe range.

Keywords Guizhou; green tea; heavy metal; health risk assessment; diffusion rate

茶叶既是很好的饮料来源,又是我国的重要经济作物,其卫生质量的好坏关系到我国茶叶产业的发展、茶农收益和茶客健康^[1]。重金属的含量测定是茶叶卫生质量检查的一个重要方面,也是人们关心的一个热点。贵州是我国茶叶种植大省,在茶叶生产要素方面有着独特的优势^[2]。近年来贵州茶叶产业发展迅速,种植面积与产量增速显著,遵义、铜仁、黔南、黔东南等地均已形成较为成熟的茶叶产业布局^[2]。

近年来,茶叶累积重金属的研究报道相继出现^[3-6]。王峰等^[7]研究发现闽中某矿区县茶园茶叶中 Cr、Ni、Cu、Zn、As、Pb、Cd 含量分别为 2.04、10.96、21.72、71.75、1.44、2.26、0.03 mg/kg,均未超出相关限量标准。周亶等^[8]报道毛尖茶叶中 Cu、Zn、Mn 含量分别为 15.35、33.87、696.00 mg/kg,普洱茶茶叶中 Cu、Zn、Mn 含量分别为 16.02、17.13、659.41 mg/kg,两种茶叶中 Pb 含量均未检出,浸泡时间为 30 min、浸泡水温为 90 °C 时,茶水中 Cu、Zn、Mn 的浸出率最高。周静博等^[9]报道绿茶中重金属 Pb、Cu、Zn、Mn、Ni 含量分别为 0.67、2.82、59.00、604.00、5.97 mg/kg,茶水中金属元素的浸出率为 49.30%~63.80%。张清海等^[2]报道贵州云雾茶园土壤重金属含量较高,目前有关茶叶中金属元素的浸出特征及健康风险评价研究相对较少。仅见 SOFUOGLU 等^[10]对红茶中氟和微量元素的暴露风险评价和 CAO 等^[11]对普洱茶中微量元素的生态风险研究报道。然而关于绿茶中金属元素,尤其是铅、镉、汞、铜等重金属含量水平却鲜有系统研究报道。茶叶并非直接供人食用,而是经沸水浸泡后饮用,直接测定茶叶中重金属的含量不足以评价茶叶对人体的健康影响,必须同时对茶汤中重金属含量进行测定才有意义^[2]。因此本研究对贵州主产区所产绿茶、茶汤中重金属 Pb、Cr、Cd、Hg、Cu、Zn、Mn、Ni 和 As 含量进行测定,并对人体的潜在健康风险进行评价,以了解其污染状况,为人们科学健康地饮茶及茶叶的种植、加工生产和绿茶的质量安全评价提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

经文献检索及现场实地调查研究决定,选择 ZY(遵义)、TR(铜仁)、QN(黔南)、LPS(六盘水)、QXN(黔西南)等 5 个具有代表性的绿茶生产地进行样品采集。样品采集于各产地大超市、街边茶摊及茶叶售点,分别采集当地不同包装、不同价位且有代表性的样品,共设置采样点 40 个,其中 ZY、TR、QN、LPS、QXN 各 8 个采样点。采样点样品为组合样,随机在每个采样点的不同采买点采集等质量绿茶样品,得茶叶供试样 200 份,其中 ZY、TR、QN、LPS、QXN 各 40 份绿茶样品。绿茶样品采集完成并送回实验室后,将每个样品充分混匀后采用四分法和随机取样法取样,取 10 g 茶叶样品,55 °C 烘至恒重,用高速粉碎机粉碎,过 150 μm 孔径的尼龙筛,用于样品 Pb、Cr、Cd、Hg、Cu、Zn、Mn、Ni 和 As 的分析测定,剩余样品装入自封袋冷藏干燥保存。

1.2 仪器与试剂

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(美国赛默飞世尔有限公司),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、铬、镉、汞、铜、锌、锰、镍和砷单元素溶液标准物质(1 000 mg/L,国家有色金属及电子材料分析测试中心),茶叶标准物质(GBW10016,国家标准物质中心),超纯水。

1.3 样品分析

1.3.1 黔产市售绿茶中重金属含量测定

采用 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ 微波消解法^[3]消解茶叶样品,待冷却后,将消解罐内容物转移定容。摇匀过 0.22 μm 水系滤膜,绿茶中重金属 Pb、Cr、Cd、Hg、Cu、Zn、Mn、Ni 和 As 含量采用电感耦合等离子体质谱法测定。

1.3.2 黔产市售绿茶茶汤中重金属含量测定

采用传统煮饮法对茶叶样本进行处理,取绿茶 1 g 投入 50 mL 沸水中,继续加热至水沸腾后,小火

再煮 2 min,关火滤渣,即得茶汤。过 0.22 μm 水系滤膜,茶汤中重金属 Pb、Cr、Cd、Hg、Cu、Zn、Mn、Ni 和 As 含量采用电感耦合等离子体质谱法测定。

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,所有样品均由空白样、二次平行样和添加绿茶成分分析标准物质(GBW10052)进行质量控制,二次平行样的相对偏差均小于 5%,样品加标回收率在 92.6%~114%,标准物质测定结果均在允许误差范围内。

1.5 数据分析

1.5.1 绿茶茶汤中重金属的浸出率

采用传统煮饮法对绿茶样本进行处理,分别称取绿茶 1 g 投入 50 mL 煮沸的超纯水中,继续加热至水沸腾后,小火再煮 2 min,关火滤渣,即得茶汤。过 0.22 μm 水系滤膜,绿茶茶汤中重金属含量采用电感耦合等离子体质谱法测定。结合茶叶中重金属的含量计算浸出率,见计算公式(1):

$$J = m_1/m_2 \quad (1)$$

式中: J 为茶叶中重金属的浸出率,%; m_1 为茶汤中重金属的含量,mg; m_2 为投加的茶叶中重金属的含量,mg。

1.5.2 重金属人体健康风险评估模型

目前,国际健康风险评估模型主要有化学致癌物风险评估模型和化学非致癌物风险评估模型两种。依据国际致癌研究署(IARC)、美国环境保护署(US EPA)综合风险信息数据库(IRIS)和世界卫生组织(WHO)编制的分类系统,得知具有致癌风险的金属元素是 Cd、As,具有非致癌风险的金属元素是 Cr、Pb、Hg、Cu、Zn、Mn、Ni。

其中化学致癌物的人体健康风险评估模型^[12-13]见公式(2-3):

$$R^c = \sum_{i=1}^l R_i^c \quad (2)$$

$$R_i^c = [1 - \exp(-ADD \times Q_i)]/70 \quad (3)$$

式中: R^c 为重金属致癌总风险, a^{-1} ; R_i^c 为化学致癌物 i 经食入途径产生的平均个人致癌年风险, a^{-1} ; ADD 为化学致癌物 i 经食入途径的单位体重日均暴露剂量,mg/(kg·d); Q_i 为化学致癌物 i 经食入途径的致癌强度系数,[mg/(kg·d)]⁻¹。

化学非致癌物的人体健康风险评估模型^[12-13]见公式(4-5):

$$R^n = \sum_{j=1}^l R_j^n \quad (4)$$

$$R_j^n = (ADD/RfD) \times 10^{-6}/70 \quad (5)$$

式中: R^n 为重金属非致癌总风险, a^{-1} ; R_j^n 为化学非致癌物 j 经食入途径产生的平均个人致癌年风险, a^{-1} ; ADD 为化学非致癌物 j 经食入途径的单位体重日均暴露剂量,mg/(kg·d); RfD 为化学非致癌物 j 经食入途径的单位体重日均暴露参考剂量,mg/(kg·d);70 为平均寿命^[13],a。 Q_i 和 RfD 参考值见表 1。

表 1 重金属毒性参数

Table 1 Toxicity parameters of heavy metals

重金属	$RfD/$ (mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	$Q_i/$ (mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	文献
As		1.5	[13]
Cd		6.1	[13-14]
Cu	0.04		[14]
Zn	0.3		[13-14]
Pb	0.003 5		[14]
Hg	0.000 3		[13-14]
Cr	0.003		[14]
Ni	0.000 5		[14-15]
Mn	0.02		[15]

本文研究茶叶-茶汤系统中重金属对人体健康造成的风险,重金属的暴露途径主要是经口摄入,暴露介质主要是茶汤。本研究中重金属在经口摄入途径和茶汤中的人体日均暴露剂量计算^[12-13]见公式(6),人体健康风险评估模型参数见表 2。

$$ADD = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (6)$$

表 2 人体健康风险评估模型参数

Table 2 Parameters of human health risk assessment model

评价参数	物理意义	参考值	文献
BW	体重/kg	60	[15]
ED	暴露年限/a	30	[15]
EF	暴露频率/(d·a ⁻¹)	365	[15]
AT	平均作用时间/d	70×365(致癌物质) ED×365(非致癌物质)	[15]
IR	成人日均饮茶量/(L·d ⁻¹)	1.1	[3]
C	茶汤中重金属浓度/(mg·L ⁻¹)		

1.5.3 数据处理

采用 SPSS 19.0、Origin8.6 进行数据统计分析。

2 结果与讨论

2.1 茶叶样品中重金属含量

分别对五个生产加工地市售绿茶重金属(Cr、Mn、Ni、Cu、Zn、Cd、Hg、Pb、As)含量进行测定,结果见表 3。由表 3 可知,绿茶 Cr 含量为 3.98~4.63 mg/kg, Mn 含量为 320.04~526.74 mg/kg, Ni 含量为 17.43~25.74 mg/kg, Cu 含量为 15.00~23.15 mg/kg,

Zn 含量为 27.68~42.23 mg/kg, As 含量为 1.12~1.34 mg/kg, Cd 含量为 0.72~1.06 mg/kg, Hg 含量为 0.11~0.13 mg/kg, Pb 含量为 1.20~1.45 mg/kg。依据 GB 2762—2017 茶叶中 Pb 限量标准(≤ 5 mg/kg)^[16]、NY 659—2003 中 Cd(≤ 1 mg/kg)、Hg(≤ 0.3 mg/kg)、As(≤ 2 mg/kg)、Cr(≤ 5 mg/kg)限量标准^[17]可知,五个生产加工地黔产市售绿茶 Cr、Cd、Pb、Hg 及 As 含量均低于国家标准限值。现行有关茶叶的国标中未见对 Mn、Cu、Zn 和 Ni 作出限量规定,故不予考虑。

表 3 绿茶中不同重金属的含量

Table 3 Contents of heavy metals in five green teas

/(mg · kg⁻¹)

绿茶	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
ZY	3.98±0.21 ^a	408.73±24.52 ^c	20.67±3.18 ^b	15.00±1.64 ^a	32.18±5.15 ^a	1.34±0.23 ^c	0.78±0.11 ^a	0.12±0.06 ^b	1.37±0.15 ^b
QN	4.33±0.48 ^b	320.04±16.27 ^b	17.43±1.64 ^a	16.71±2.97 ^a	28.51±6.29 ^c	1.17±0.19 ^b	0.85±0.24 ^a	0.11±0.09 ^a	1.45±0.27 ^b
TR	4.33±0.62 ^c	485.76±30.48 ^a	17.91±0.95 ^a	17.03±2.43 ^a	27.68±4.96 ^b	1.14±0.21 ^a	0.92±0.16 ^b	0.11±0.07 ^a	1.20±0.21 ^c
LPS	4.28±0.73 ^a	526.74±46.19 ^d	20.41±2.17 ^b	19.18±3.52 ^b	30.83±4.87 ^a	1.12±0.13 ^b	0.90±0.13 ^b	0.12±0.04 ^a	1.25±0.39 ^a
QXN	4.63±1.05 ^d	490.83±29.06 ^a	25.74±1.39 ^c	23.15±4.08 ^c	42.23±5.36 ^d	1.14±0.25 ^a	0.72±0.26 ^a	0.13±0.08 ^b	1.24±0.26 ^a

注:同列标注不同字母表示差异达到 0.05 显著差异水平,标注相同字母表示差异未达到 0.05 显著差异水平。

重金属的含量分布在各生产加工地绿茶中存在一定差异(表 3),总体表现为 QXN>LPS>TR>QN>ZY。QXN 绿茶 Cr、Ni、Cu、Zn 和 Hg 含量最高,分别为 4.63、25.74、23.15、42.23 和 0.13 mg/kg,而 ZY 绿茶 Cr、Cu 和 Hg 含量均最低。QXN 绿茶 Ni、Cu、Zn 含量显著高于其他生产加工地绿茶($p < 0.05$),分别超出 24.53%~47.68%、20.70%~54.33%、31.23%~52.57%,QXN 绿茶 Cr 和 Mn 含量显著高于 QN 和 ZY($p < 0.05$),其显著性差异可能是由于 QXN 当地茶园土壤的某些金属元素存在高背景值、绿茶的生产加工工艺存在差异等原因所导致的;TR 绿茶 Cd 含量显著高于 ZY、QN 和 QXN($p < 0.05$),这与 TR 当地金属矿藏丰富、茶园土壤可能存在 Cd 污染、企业生产加工的绿茶品种不同有关。QN 绿茶 Pb 含量显著高于 TR、LPS 和 QXN($p < 0.05$),可能的原因是 QN 绿茶在生产加工时,受到了来自当地铅锌矿区的工业污染,而 As、Hg 含量

在不同生产加工地绿茶中差异性不显著($p > 0.05$)。茶叶重金属的含量高低可能与该品种茶叶对重金属的富集能力强弱有关^[2]。

2.2 茶汤中重金属含量

五个生产加工地绿茶茶汤重金属的含量和浸出率测定结果如表 4、图 1 所示。由表 4 可知,茶汤 Cr 含量为 20.43~26.93 $\mu\text{g/L}$, Mn 含量为 5 278.18~8 887.96 $\mu\text{g/L}$, Ni 含量为 30.13~63.15 $\mu\text{g/L}$, Cu 含量为 55.12~75.03 $\mu\text{g/L}$, Zn 含量为 472.99~755.89 $\mu\text{g/L}$, As 含量为 7.76~9.04 $\mu\text{g/L}$, Cd 含量为 4.24~5.95 $\mu\text{g/L}$, Hg 含量为 0.89~1.07 $\mu\text{g/L}$, Pb 含量为 8.01~8.93 $\mu\text{g/L}$ 。绿茶样品经传统煮饮法煮沸后,茶汤 Mn 含量最高, Zn 次之, Hg 最低。茶汤重金属含量均表现为: Mn>Zn>Cu>Ni>Cr>Pb>As>Cd>Hg, 这与马明海等^[3]研究结论相似。这可能与茶树易选择性地从土壤中富集吸收 Mn 有关,且 Mn、Zn 易从茶叶中浸出^[8]。

表 4 绿茶茶汤中不同重金属的含量

Table 4 Contents of heavy metals in five green teas

/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)

绿茶	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
ZY	21.40±1.35	6493.51±367.29	47.95±2.76	61.03±4.62	549.78±20.16	7.76±0.88	4.91±0.46	0.96±0.07	8.52±0.65
QN	26.07±2.48	5278.18±312.83	30.13±2.35	55.12±3.85	472.99±19.74	7.96±1.14	4.24±0.29	1.07±0.11	8.93±0.72
TR	22.03±1.76	8443.40±438.19	34.93±3.22	57.40±4.19	492.78±28.56	8.91±1.06	5.95±0.52	0.94±0.08	8.17±0.58
LPS	20.43±1.52	8887.96±351.57	36.03±2.96	75.03±5.48	558.02±39.82	9.04±1.28	5.93±0.37	0.97±0.06	8.01±0.76
QXN	26.93±2.06	8282.19±275.86	63.15±4.08	73.70±3.65	755.89±31.25	8.20±0.95	4.83±0.42	0.89±0.09	8.20±0.69

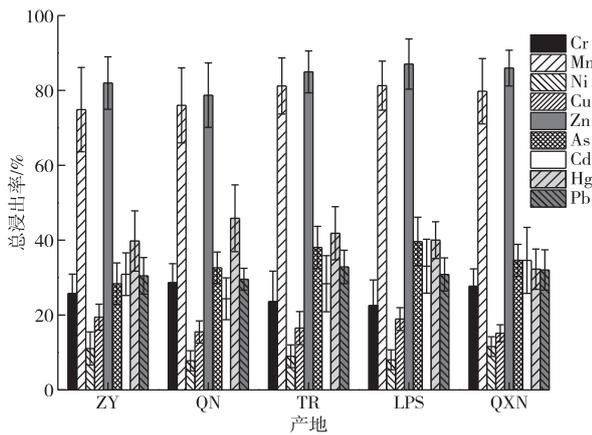


图 1 重金属的浸出率

Figure 1 Diffusion rate of heavy metals.

由图 1 可知,五个生产加工地的市售绿茶中, LPS 绿茶 Zn、Mn 的浸出率最高,分别为 87.04%、81.27%,Zn、Mn 浸出率最低分别出现在 QN、ZY 绿茶中,分别为 78.73%、74.87%;Hg 最高、最低浸出率分别出现在 QN、QXN 绿茶中,分别为 45.84%、32.25%;As 最高、最低浸出率分别出现在 LPS 绿茶、ZY 绿茶中,分别为 39.63%、28.36%;Cd 最高、最低浸出率分别出现在 QXN、QN 绿茶中,分别为 34.59%、24.35%;Pb 最高、最低浸出率分别出现在 TR、QN 绿茶中,分别为 32.86%、29.56%;Cr 最高、最低浸出率分别出现在 QN、LPS 绿茶中,分别为 28.69%、22.58%;Cu 最高、最低浸

出率分别出现在 ZY、QXN 绿茶中,分别为 19.43%、15.13%。五个生产加工地绿茶中重金属浸出率大小次序均表现为:Zn>Mn>Hg>As>Cd>Pb>Cr>Cu>Ni。

2.3 茶叶重金属的健康风险评估

绿茶经传统煮饮法煮沸后,滤渣,收集浸出液。采用健康风险评估模型计算茶叶中重金属通过饮茶途径所致的个人健康危害年风险,茶汤中重金属的健康风险评估结果见表 5。由表 5 可知,由化学致癌物 Cd 和 As 通过饮茶途径产生健康危害的个人年平均风险中,以 Cd ($2.90 \times 10^{-6} \sim 4.07 \times 10^{-6} a^{-1}$)最大,As ($1.31 \times 10^{-6} \sim 1.52 \times 10^{-6} a^{-1}$)次之,Cd、As 的致癌风险水平均低于国际辐射防护委员会(ICRP, $5 \times 10^{-5} a^{-1}$)和美国环境保护署(US EPA, $1 \times 10^{-4} a^{-1}$)推荐的最大可接受风险水平。化学致癌物 Cd 和 As 对人体健康危害的个人年风险总和(R^c)为 $4.24 \times 10^{-6} \sim 5.58 \times 10^{-6} a^{-1}$,五个生产加工地市售绿茶的个人年风险总和均低于 ICRP 和 USEPA 推荐的最大可接受风险水平;Cd、As 的个人年风险分别占化学致癌物个人总年风险的 68.40%~73.07%、26.93%~31.60%。Cd 在 TR 绿茶茶汤中的健康危害个人年风险水平表现最高,为 $4.07 \times 10^{-6} a^{-1}$;As 在 LPS 绿茶茶汤中的健康危害个人年风险水平表现最高,为 $1.52 \times 10^{-6} a^{-1}$ 。

表 5 重金属污染物的平均个人年健康风险

Table 5 Health risk caused by heavy metal pollutants in the study

绿茶	非致癌风险 R_j^n/a^{-1}							致癌风险 R_i^c/a^{-1}			
	Mn	Ni	Cu	Zn	Pb	Hg	Cr	非致癌总风险 R^n	As	Cd	致癌总风险 R^c
ZY	8.50E-08	2.51E-08	4.00E-10	4.80E-10	6.38E-10	8.42E-10	1.87E-09	1.14E-07	1.31E-06	3.36E-06	4.67E-06
QN	6.91E-08	1.58E-08	3.61E-10	4.13E-10	6.68E-10	9.30E-10	2.28E-09	8.96E-08	1.34E-06	2.90E-06	4.24E-06
TR	1.11E-07	1.83E-08	3.76E-10	4.30E-10	6.11E-10	8.21E-10	1.92E-09	1.33E-07	1.50E-06	4.07E-06	5.57E-06
LPS	1.16E-07	1.89E-08	4.91E-10	4.87E-10	5.99E-10	8.51E-10	1.78E-09	1.39E-07	1.52E-06	4.06E-06	5.58E-06
QXN	1.08E-07	3.31E-08	4.83E-10	6.60E-10	6.14E-10	7.74E-10	2.35E-09	1.46E-07	1.38E-06	3.31E-06	4.69E-06

由表 5 可知,茶汤中非致癌物 Mn、Cu、Zn、Pb、Hg、Ni、Cr 由饮茶途径产生的健康危害个人年风险水平均表现为 Mn>Ni>Cr>Hg>Pb>Zn>Cu。由 7 种化学非致癌重金属通过饮茶途径所产生的个人健康危害年风险总和(R^n)为 $8.96 \times 10^{-8} \sim 1.46 \times 10^{-7} a^{-1}$,处于 $10^{-11} \sim 10^{-6} a^{-1}$ 范围内,即每百万人口中因茶汤中非致癌物而引起健康危害或死亡的人数不超过 1 人,远低于 ICRP 和 US EPA 推荐的最大可接受风险水平。表明茶汤中非致癌物 Mn、Ni、Cr、Hg、Pb、Zn、Cu 所引起的健康危害极小,其对暴

露人群造成的健康危害可忽略不计,这与马明海等^[3,7]研究结果吻合。

虽然茶汤中 Cd、As 的致癌风险水平均低于 US EPA 推荐的最大可接受风险水平,但与 ICRP 推荐的最大可接受风险水平接近。表明五个生产加工地绿茶茶汤中存在一定的 Cd、As 污染,可能对暴露人群造成一定的潜在健康危害,Cd、As 是潜在的主要风险污染物。茶汤中 Cd、As 应成为潜在的主要监控目标,这与 CAO 等^[11]对普洱茶、SOFUOGLU 等^[10]对红茶和方凤满等^[18]对皖南典型茶园茶叶的

研究结果相同。

3 结论

绿茶中 Cr 含量为 3.98~4.63 mg/kg, Mn 含量为 320.04~526.74 mg/kg, Ni 含量为 17.43~25.74 mg/kg, Cu 含量为 15.00~23.15 mg/kg, Zn 含量为 27.68~42.23 mg/kg, As 含量为 1.12~1.34 mg/kg, Cd 含量为 0.72~1.06 mg/kg, Hg 含量为 0.11~0.13 mg/kg, Pb 含量为 1.20~1.45 mg/kg。参照 GB 2762—2012 茶叶中 Pb 限量标准、农业部标准 NY/T 2008—2012 Cu 限量标准及 NY 659—2003 中 Cd、Hg、As、Cr 的限量标准可知,五个生产加工地黔产市售绿茶 Cr、Cd、Pb、Hg、Cu 和 As 含量均低于国家标准限值;现行有关茶叶的国标未见对 Mn、Zn 和 Ni 做出限量规定,不予考虑。

五个生产加工地市售绿茶茶汤 Zn、Mn 的浸出率最高,分别为 78.73%~87.04%、74.87%~81.27%;Hg 次之,为 32.25%~45.84%;Ni 最低,为 7.78%~11.58%。茶汤中重金属浸出率表现为:Zn>Mn>Hg>As>Cd>Pb>Cr>Cu>Ni。

健康风险评估结果表明,五个生产加工地市售绿茶中重金属通过饮茶途径所产生的健康危害个人年风险水平表现为: Cd>As>Mn>Ni>Cr>Hg>Pb>Zn>Cu,茶叶中重金属通过饮茶途径所产生的个人健康危害年风险总和为 $4.33 \times 10^{-6} \sim 5.73 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$,均低于 USEPA 和 ICRP 推荐的最大可接受风险水平,表明 Mn、Ni、Cr、Hg、Pb、Zn、Cu、Cd 和 As 引起的健康危害极小,其对暴露人群造成的健康危害可忽略不计,绿茶中重金属均处于安全范围内。

参考文献

- [1] 易恋,黄建安,刘仲华. 普洱茶多酚与茶褐素研究进展[J]. 中国食物与营养,2009(12):29-31.
YI Lian, HUANG Jian'an, LIU Zhonghua. Advancement of tea polyphenols and theabrownines in Pu'er[J]. Food and Nutrition in China, 2009(12):29-31.
- [2] 张清海,龙章波,林绍霞,等. 贵州云雾茶园土壤高含量重金属和砷在茶叶中的积累与浸出特征[J]. 食品科学,2013,34(8):212-215.
ZHANG Qinghai, LONG Zhangbo, LIN Shaoxia, et al. Distribution of heavy metals in soil and tea from Yunwu tea area in Guizhou province and diffusion characteristics of heavy metals in tea infusion[J]. Food Science, 2013, 34(8):212-215.
- [3] 马明海,万顺利,黄民生,等. 黄山地方茶中重金属浸出规律及其健康风险评估[J]. 食品工业科技,2015,36(20):49-52,58.
MA Minghai, WAN Shunli, HUANG Minsheng, et al. Health risk assessment and extraction behavior of heavy metals in local tea of Huangshan[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(20):49-52, 58.
- [4] 徐晓燕,唐迪,王晶晶. 镇江丘陵地区典型茶园土壤和茶叶重金属的监测与污染评价[J]. 湖北农业科学,2014,5(5):1041-1043.
XU Xiaoyan, TANG Di, WANG Jingjing. The monitoring and evaluation of heavy metal contents in the tea garden soil and the tea in the typical tea garden of Zhenjiang[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2014, 5(5):1041-1043.
- [5] 郭雅玲,王果,罗丹,等. 福建铁观音茶园土壤中铅、镉、砷、铬、汞、铜、氟的环境质量现状分析[J]. 中国生态农业学报,2011,19(3):676-681.
GUO Yaling, WANG Guo, LUO Dan, et al. Evaluation on the environmental quality about lead, cadmium, arsenic, chromium, mercury, copper and fluorine in the soils of Tieguanyin tea plantation in Fujian province [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(3):676-681.
- [6] 宋芳琼,张珍明,张清海,等. 贵州鸟王茶茶叶中的重金属积累与浸出特征[J]. 广东农业科学,2013,26(22):22-23,26.
SONG Fangqiong, ZHANG Zhenming, ZHANG Qinghai, et al. Heavy metal accumulation and leaching characteristics of Niaowang tea in Guizhou[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 26(22):22-23, 26.
- [7] 王峰,单睿阳,陈玉真,等. 闽中某矿区县茶园土壤和茶叶重金属含量及健康风险[J]. 中国环境科学,2018,38(3):1064-1072.
WANG Feng, SHAN Ruiyang, CHEN Yuzhen, et al. Concentrations and health risk assessment of heavy metals in tea garden soil and tea-leaf from a mine county in central Fujian province[J]. China Environmental Science, 2018, 38(3):1064-1072.
- [8] 周亶,蒋东云,崔林影. 茶叶水中重金属铅、铜、锌、锰的浸出率试验研究[J]. 食品科技,2010,35(1):286-288.
ZHOU Dan, JIANG Dongyun, CUI Linying. Extraction rate test study on heavy metal of Pb, Cu, Zn, Mn in tea[J]. Food Science and Technology, 2010, 35(1):286-288.
- [9] 周静博,戴春岭,冯媛,等. ICP-MS对绿茶中微量元素含量及其溶出特性的研究[J]. 河北工业科技,2015,32(4):359-363.
ZHOU Jingbo, DAI Chunling, FENG Yuan, et al. Investigation of elemental concentration and extraction rate of green tea by ICP-MS[J]. Hebei Journal Industrial

- Science and Technology, 2015, 32(4): 359-363.
- [10] SOFUOGLU S C, KAVCAR P. An exposure and risk assessment for fluoride and trace metals in black tea[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 158(2/3): 392-400.
- [11] CAO H B, QIAO L, ZHANG H, et al. Exposure and risk assessment for aluminum and heavy metals in Puerh tea[J]. Science of the Total Environment, 2010, 408(14): 2777-2784.
- [12] 环境保护部. 环境污染物人群暴露评估技术指南: HJ 875—2017[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2017. China Ministry of Environmental Protection. Technical guideline for population exposure assessment of environmental pollutant: HJ 875—2017[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2017.
- [13] 王世玉, 吴文勇, 刘菲, 等. 典型污灌区土壤与作物中重金属健康风险评估[J]. 中国环境科学, 2018, 38(4): 1550-1560. WANG Shiyu, WU Wenyong, LIU Fei, et al. Assessment of human health risks of heavy metals in the typical sewage irrigation areas[J]. China Environmental Science, 2018, 38(4): 1550-1560.
- [14] 环境保护部. 污染场地风险评估技术导则: HJ 25. 3—2014[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014. China Ministry of Environmental Protection. Technical guidelines for risk assessment of contaminated sites: HJ 25. 3—2014[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2014.
- [15] 段小丽. 暴露参数的研究方法及其在环境健康风险评估中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012. DUAN Xiaoli. Research methods of exposure factors and its application in environmental health risk assessment[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量: GB 2762—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. National Health Commission of the People's Republic of China, National Medical Products Administration. National standards for maximum content of contaminants in food: GB 2762—2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [17] 农业农村部. 茶叶中铬、镉、汞、砷及氟化物限量: NY 659—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Residue limits for chromium, cadmium, mercury, arsenic and fluoride in tea: NY 659—2003[S]. Beijing: Standards Press of China, 2003.
- [18] 方凤满, 王翔, 林跃胜. 皖南典型茶园茶叶中金属元素富集规律及其健康风险研究[J]. 水土保持学报, 2015, 29(4): 229-235. FANG Fengman, WANG Xiang, LIN Yuesheng. Study on enrichment patterns and health risk of metal elements of tea in typical mountainous tea garden in south Anhui [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(4): 229-235.