

文章编号: 2096-1618(2024)02-0255-08

成都市某社区不同类别人群头发中重金属的含量特征

刘颖, 印红玲, 马承启, 宋娇娇, 譙 炆

(成都信息工程大学资源环境学院, 四川 成都 610225)

摘要:采用 ICP-MS 测定成都市某社区 33 位居民头发中 Cr、Mn、Co、Ni、Cu、As、Mo、Cd、Sb、Tl、Pb 共 11 种重金属的含量, 分析其分布特征及主要影响因素。与相关文献推荐的正常范围值相比, 研究区居民未受 Tl 污染。头发中 Cu、As、Sb 及 Pb 有超标现象, 超标率分别为 15.2%、3.0%、6.1% 及 15.2%。其中 1 位居民的发 As 含量 (2.35 $\mu\text{g/g}$) 是推荐正常值范围限值的 2.8 倍, 与其在工厂中的职业暴露有关; 其次是接触电子产品较多的 6 号居民 (0.52 $\mu\text{g/g}$) 与 16 号居民 (0.5 $\mu\text{g/g}$) 发 As 含量明显高于其他居民。仅有 1 位食堂职工的发 Cu 含量超过推荐范围, 主要与其职业/生活习惯有关。统计检验表明, 只有 Mo 含量与性别相关 ($P < 0.05$)。Mn、Co、As、Tl 含量在各年龄组间差异极显著 ($P < 0.01$)。抽烟人群头发中重金属含量与不抽烟人群无显著差别。相关性分析发现多种重金属间存在正相关关系。Co 的单项累积污染指数在男女性中均为最高。男性的综合累积污染指数 (3.12) 低于女性 (5.30)。

关键词: 头发; 重金属; 含量特征; 成都; 污染指数

中图分类号: X171.5

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2024.02.018

0 引言

重金属是指密度大于 5 g/cm^3 的元素, 包括砷 (As) 等类金属元素^[1]。重金属是环境中广泛存在的一类生物难降解污染物, 具有易积累、难降解、难挥发、毒性大和隐蔽性强等特点^[2]。重金属具有较强的生物富集能力, 通过食物摄入、呼吸吸入和皮肤接触等途径进入人体, 导致人体功能性障碍和不可逆损伤, 对人体健康存在较大风险^[3-5]。人体必需重金属元素如钴 (Co)、铜 (Cu)、铬 (Cr)、锰 (Mn)、钼 (Mo)、镍 (Ni) 等供应不足会导致多种缺乏性疾病。毒性重金属元素如锑 (Sb)、砷 (As)、镉 (Cd)、铅 (Pb)、铊 (Tl) 等会对人体健康造成损害^[6]。如慢性低剂量的 Cd 暴露可导致肝毒性、肾毒性、骨骼毒性及癌症^[7]; As 暴露可对组织器官造成损伤, 诱发炎症和组织功能紊乱, 引起呼吸系统、消化系统、生殖系统和神经系统等疾病, 长期处于 As 暴露环境还可能导致肝癌、肾癌、皮肤癌和肺癌等多种癌症^[8]; Ni 具有积蓄性, 以肾、脾和肝中最多, 可引起皮炎、诱发鼻咽癌和肺癌等^[9]; Pb 暴露则主要对人的神经系统造成损害, 导致多发性神经病和铅性脑病, 尤其对儿童的智力发育造成严重影响^[10]。Cr 和 Cu 虽然是人体所必需的微量元素, 但过量摄入仍会对人体造成危害, 如 Cr 中毒可引起皮肤及消化道损伤, 过量 Cu 摄入可能会造成呕吐、抽搐甚至死亡^[11-12]。因此研究人体重金属暴露水平及评估重金属污染源具有重要意义。头发、血液和尿液等生物标记物常被用

于人体及环境的重金属暴露监测^[13]。其中头发具有便于采集、储存、成本低廉和化学组分稳定、可反映重金属长期暴露情况的特点, 且头发样品中重金属含量较高, 因此被视作是一种理想的人体检测材料和环境生物指标性样品^[14-16], 广泛用于评价人体重金属的暴露风险。

成都市是中国西部的重要城市之一, 在城市发展和工业生产中, 开发、使用了大量的化石能源, 机动车保有量位居全国第二, 这些都是环境中重金属的主要来源。已有研究表明成都市多种环境介质以及部分食物中均存在重金属污染的现象。李友平等^[17]发现成都市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中有毒重金属浓度分别为: As ($40.5 \pm 30.3 \text{ ng/m}^3$), Cd ($9.5 \pm 13.2 \text{ ng/m}^3$), Pb ($320.5 \pm 186.0 \text{ ng/m}^3$) 和 Sb ($11.0 \pm 16.0 \text{ ng/m}^3$), 处于较高水平。罗晓梅等^[18]检测到成都地区蔬菜中 Cd 和 Pb 的超标率分别为 29.4% 和 22%。李冰等^[19]研究发现成都平原土壤重金属中 Pb 的污染级别为 1~4 级, Cd 污染级别为 1~2 级且污染范围较大。目前对于成都市居民头发中重金属含量的研究较少, 本文以成都市常住人口最多的某社区不同年龄段、不同性别以及不同生活习惯的 33 位居民为研究对象, 采集头发样品, 通过 ICP-MS 测定居民头发中 Cr、Mn、Co、Ni、Cu、As、Mo、Cd、Sb、Tl 和 Pb 共 11 种重金属的浓度水平, 揭示成都市人群的重金属暴露水平, 并统计分析重金属元素之间相关性, 发样中各重金属含量与性别、年龄、抽烟与否的关系, 探究其主要影响因素, 评价居民受重金属的污染程度, 以期成都市人群健康及重金属暴露水平提供参考。

1 材料和方法

1.1 研究社区环境

成都市是中国西部重要城市之一,在城市发展和工业生产中,开发、使用了大量的化石能源,排放大量废气废水。当前,成都市机动车保有量 633 万辆,位居全国第二,近 5 年年均增长 30 余万辆左右。这两者都是环境介质中的重金属主要来源。此外,成都地处盆地,常年最多的风向为静风向,逆温天气出现较频繁,湿度大,重金属等污染物不易扩散,且多种介质中已检测到重金属超标现象,对居民健康产生影响。此外,职业暴露、生活习惯等差异可能引起个体体内重金属含量产生差异。因此,研究选择成都市常住人口最多的小区进行样品采集,区域内居民生活情况复杂,职业分布广泛,主要涉及老师、公务员、经理和售货员、工厂工人、食堂职工、大学生等。

1.2 样品采集与处理

采样对象选择身体健康,身高体重均为正常范围的不同类别人群,于 2022 年 4 月 3-10 日在研究社区进行采样。采用清洁的锡箔纸收集志愿者脑后枕 10 cm 内的头发,标注志愿者的性别、年龄、职业、生活习惯等信息。每份样品的质量不少于 0.5 g。共采集男性样品 17 份,女性样品 16 份。调查人群基本信息如表 1 所示。

表 1 调查人群基本信息			
统计指标		总计	抽烟人数
性别	男	17	5
	女	16	0
年龄段	<18 岁	4	0
	18~45 岁	19	3
	46~60 岁	6	2
	>60 岁	4	0

将采集来的样品置于烧杯中,用中性洗涤剂(立白洗洁精)加水浸泡发样 0.5 h,其间用玻璃棒搅拌,用超纯水洗净放于 60 ℃ 的烘箱中烘干 8 h。在消解罐中加入 0.20 g 人发样品,5 mL 硝酸、2 mL 超纯水和 1 mL 双氧水进行微波消解。冷却至室温后过滤并转移到容量瓶中,用超纯水定容至 25.0 mL 待测。

1.3 仪器分析与质量控制

采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)(Agilent, 美国)测定重金属含量。用超纯水做空白试验,11 种重金属的空白值低于样品含量的 10%,满足接受条件。采用外标法定量,线性范围 0~400 μg/L,标准曲线的

相关系数 $r>0.999$ 。每 10 个样品随机选取 1 个头发表本做 1 个平行样,回收率在 73%~114%。采用 SPSS 28.0 软件对数据进行统计处理与分析,Cr、Mn、Co、Cu、As、Mo、Cd、Sb、Pb、Tl 的正态性检验结果显示显著性均小于 0.05,不符合正态分布;Ni 的显著性为 0.090,符合正态分布。利用 OriginLab 2022 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 研究区人群头发中重金属总含量水平

研究区 33 位居民头发中 11 种重金属总含量如图 1 所示。33 位居民头发中的重金属总含量为 13.33~67.03 μg/g,平均值为 33.61±14.21 μg/g,最高值为最低值的 5.1 倍。故即使是生活在一个社区内,不同居民个体体内的重金属含量水平差异仍然较大,需进一步分析造成其差异性的主要原因。

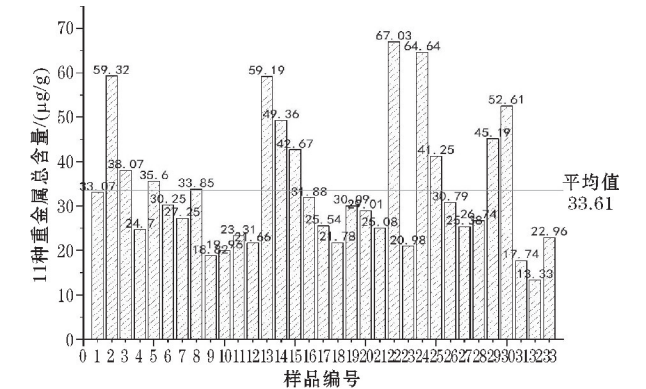


图 1 居民头发中重金属的总含量

2.2 研究区人群头发中必需重金属的含量水平

研究区人群发中不同种类重金属浓度水平见图 2。头发中不同种类的重金属含量差异较大。与相关文献推荐的正常范围值相比^[20-22],研究的社区居民头发中 Cu 的超标率为 15.2%,As 超标率为 3.0%,Pb 超标率为 15.2%,Sb 超标率为 6.1%。

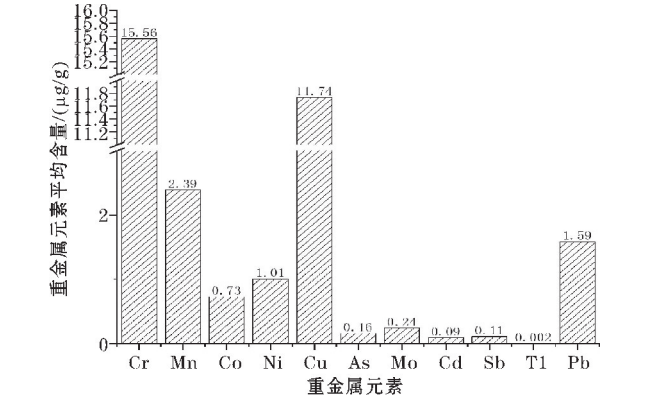


图 2 各类重金属元素平均含量

Cu 是人体必需微量元素。研究区居民发 Cu 的平均浓度为 $11.74\pm6.07\text{ }\mu\text{g/g}$,处于正常值范围之内。本研究区居民发 Cu 含量低于电子拆解区拆解工人^[23] ($29.81\text{ }\mu\text{g/g}$),接近上海市居民 ($11.42\pm8.75\text{ }\mu\text{g/g}$)^[24],略低于安庆市居民 ($14.82\pm5.23\text{ }\mu\text{g/g}$)^[25]。只有 1 位社区居民发 Cu 超过推荐范围上限,该居民 55 岁,为食堂职工,平常较多使用 Cu 制品烹饪工具,说明发 Cu 含量与职业及生活习惯有关。同时,普通人群体内 Cu 的主要来源是膳食,李冰等^[19]报道成都平原土壤中 Cu、Zn 污染较为明显,其种植的农作物中 Cu 含量也可能对人群健康带来影响。因此,发 Cu 含量也与环境介质被污染程度有关。

Cr 是人体必需的微量元素,但具有毒性效应。目前对于发 Cr 没有相对统一或正式 的浓度限值规定。研究中居民发 Cr 的平均含量是 $15.56\pm10.54\text{ }\mu\text{g/g}$,在白莉等^[26]调查的西南地区人发中 Cr 的含量范围 ($5.27\sim93.30\text{ }\mu\text{g/g}$),高于安庆市居民 ($9.67\pm2.33\text{ }\mu\text{g/g}$)^[25]、三峡库居民 ($1.11\pm2.47\text{ }\mu\text{g/g}$)^[27]及宁波城乡学生 ($11.21\text{ }\mu\text{g/g}$)^[28],处于国内偏高水平,值得关注。黑儿平等^[29]研究发现成都平原农田蔬菜可食部位主要是受重金属 Cr 的污染,该社区居民主要食用当地生产的蔬菜,因此发 Cr 含量与当地居民膳食摄入 Cr 水平有关系。

Ni 是人体必需元素,含量极微,但也是最常见的致敏性金属。研究中居民发 Ni 的含量是 $1.01\pm0.92\text{ }\mu\text{g/g}$,远低于西南 ($50.73\pm25.73\text{ }\mu\text{g/g}$)^[28]、东北 ($33.82\pm24.89\text{ }\mu\text{g/g}$)、华东 ($52.67\pm32.65\text{ }\mu\text{g/g}$)、华北 ($45.56\pm27.71\text{ }\mu\text{g/g}$)、华中 ($49.11\pm28.48\text{ }\mu\text{g/g}$)、华南 ($38.29\pm26.38\text{ }\mu\text{g/g}$)、西北 ($37.75\pm29.76\text{ }\mu\text{g/g}$)地区及重庆主城区 ($9.7\text{ }\mu\text{g/g}$)和郊区 ($5.6\text{ }\mu\text{g/g}$)居民头发中的含量^[30]。故居民头发中 Ni 的含量分布与地域差异非常相关,研究区域无 Ni 的额外排放源。

2.3 研究区人群头发中毒性重金属的含量水平

研究区 33 位居民发中 5 种有毒有害重金属 (As、Cd、Sb、Tl、Pb) 的总含量为 $1.94\pm1.70\text{ }\mu\text{g/g}$ (图 3)。9 位居民发中 5 种有毒有害重金属总含量高于平均值 ($1.94\text{ }\mu\text{g/g}$),占比 27.3%。总含量较低的人群主要是老师、公务员、经理和售货员等轻体力劳动人群。值得一提的是,发中 5 种有毒有害重金属含量最高 ($7.67\text{ }\mu\text{g/g}$) 和最低 ($0.55\text{ }\mu\text{g/g}$) 值对应的均为老师,说明个人生活习惯不同,发中有毒有害重金属含量差很大。

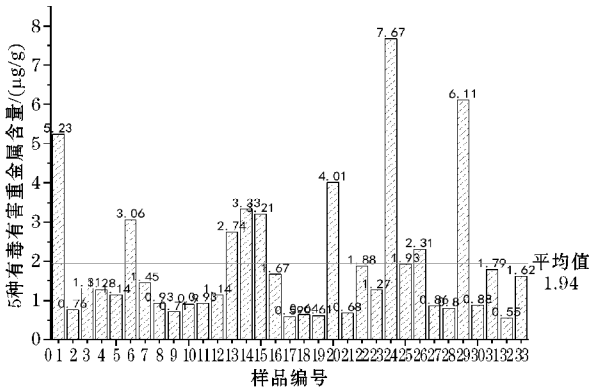


图 3 居民头发中 5 种有毒有害重金属总含量

目前中国对 Pb、As、Cd 3 种有毒有害重金属的研究较多,本研究中这 3 种有毒有害重金属总含量水平为 $1.59\pm1.50\text{ }\mu\text{g/g}$,低于电子拆解工人的含量 ($66.15\text{ }\mu\text{g/g}$)^[23],也低于大连市居民 ($3.05\text{ }\mu\text{g/g}$)^[31]和广西南丹居民 ($24.65\text{ }\mu\text{g/g}$)^[32]。研究区居民头发中 Pb、As、Cd 3 种有毒有害重金属的总含量处于国内较低水平,受有毒有害重金属的污染较小。

从单体分布来看,研究区居民发 As 的平均含量为 $0.16\pm0.41\text{ }\mu\text{g/g}$ (图 4),低于广西南丹矿业活动影响区的人群 ($1.26\text{ }\mu\text{g/g}$)^[32],接近奎屯高砷地下水灌溉地区居民人群 ($0.20\sim1.47\text{ }\mu\text{g/g}$)^[33]。仅有 1 号居民发 As 含量 ($2.35\text{ }\mu\text{g/g}$) 超过推荐的正常值范围 ($0.04\sim0.85\text{ }\mu\text{g/g}$)^[21],且为推荐正常值范围最高值的 2.8 倍。据了解,该男性居民 28 岁,为某工厂工人,发 As 含量偏高与其长期暴露在高浓度的 As 环境中有关,说明发 As 含量与职业暴露关系密切。此外,6 号居民 ($0.52\text{ }\mu\text{g/g}$) 与 16 号居民 ($0.5\text{ }\mu\text{g/g}$) 发 As 含量明显高于其他居民。据了解,6 号居民职业与人工智能有关,较多接触电子产品;16 号居民为某大学学生,每日使用电子产品的时长较长,二者发 As 含量较高与其较多使用电子产品有关。

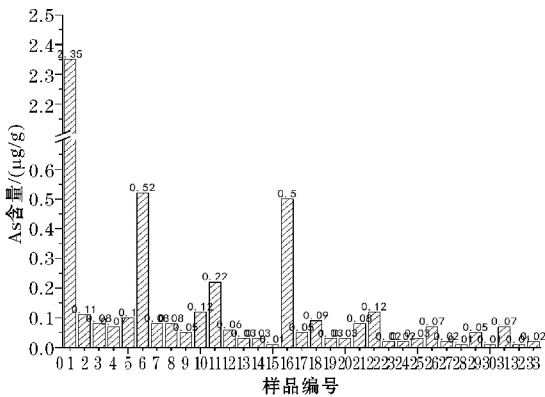


图 4 居民头发中 As 的含量

研究区域居民发 Pb 含量 ($1.59\pm1.50\text{ }\mu\text{g/g}$),远

低于重庆主城区 ($42.8\text{ }\mu\text{g/g}$) 和郊区 ($15.2\text{ }\mu\text{g/g}$) 居民^[30]、广西南丹矿区居民^[32] ($20.92\text{ }\mu\text{g/g}$), 略低于大连 ($2.89\pm 1.54\text{ }\mu\text{g/g}$)^[31] 和波兰 ($4.99\pm 3.90\text{ }\mu\text{g/g}$) 居民^[34], 略高于瑞典 ($0.96\pm 0.85\text{ }\mu\text{g/g}$) 居民^[34]。美国非职业暴露的成人头发研究结果表明正常人的发 Pb 应低于 $2.43\text{ }\mu\text{g/g}$ ^[35], 研究区域有 15% 的居民高于该标准。说明研究区域居民基本未受额外的 Pb 污染, 但超标的居民应引起重视。

研究区域居民发 Cd 含量范围为 $0.01\sim 0.48\text{ }\mu\text{g/g}$, 平均值为 $0.09\text{ }\mu\text{g/g}$, 处于中国居民发 Cd 上限建议值 $0.5\text{ }\mu\text{g/g}$ 之内^[21]。研究区居民发 Cd 含量与中国其他地区居民发 Cd 量基本一致, 高于瑞典 ($0.058\pm 0.056\text{ }\mu\text{g/g}$), 低于波兰 ($0.6\pm 1.13\text{ }\mu\text{g/g}$)^[34]。24 号居民和 29 号居民的发 Cd 和 Pb 含量均偏高, 二者都为轻体力劳动人群, 可能与平时接触大量印刷文件有关。

Sb 和 As 是同族元素, 具有伴生关系。1 号居民发 As 含量最高, 其发 Sb 含量也最高 ($1.21\text{ }\mu\text{g/g}$)。此外, 发 As 含量较高的 6 号、16 号居民, 其发 Sb 含量也较高。Tl 是人体非必需微量元素, Tl 化合物具有致癌性。黄丽春^[36] 对贵阳地区 122 名健康人发 Tl 调查研究发现不接触 Tl 健康人群的发 Tl 含量是 $0.0046\pm 0.0032\text{ }\mu\text{g/g}$ 。与之相比, 研究区居民发 Tl 含量 ($0.002\pm 0.002\text{ }\mu\text{g/g}$) 偏低, 说明研究区居民未受 Tl 污染。

总的来说, 研究区居民头发中的 5 种有毒有害重金属平均含量在推荐的正常值范围内, 处于国内外正常偏低水平, 仅有少数居民发中个别种类的有毒有害重金属含量超过正常值, 与居民的职业环境、饮食习惯等有关, 建议开展持续监测。

2.4 研究区不同性别人群头发中重金属含量

性别因素对头发中重金属含量是否有影响是当前研究的热点。本研究中不同性别人群头发中 11 种重金属的平均含量如图 5 所示。从单体含量来看, 女性头发中 Cr、Co、Ni、Cu、Pb 和 Mo 的平均含量高于男性, 但单因素方差分析表明只有 Mo 的含量与性别相关 ($P<0.05$)。这与梁刚等^[31] 调查的大连市居民发中重金属与不同性别居民之间的关系有较大差别。然而, 有文献报道并证明影响重金属在头发中含量的决定性因素不包括性别^[37]。人发中重金属含量的影响因素很多, 不仅与居民所处背景环境有关, 同当地饮食结构也有一定关系, 此外, 个人因素如职业、BMI、护肤品使用情况也会影响重金属在人发中的含量^[26]。

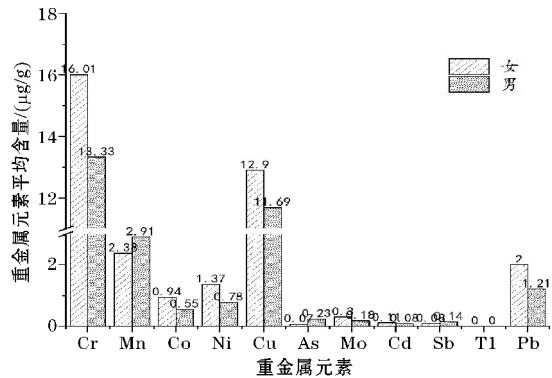


图 5 不同性别人发中重金属的平均含量

2.5 研究区不同年龄人群头发中重金属含量

当前的研究对于人发中重金属含量与年龄的关系没有统一的观点。将研究区居民按照年龄分为 4 组: 未成年组 (<18 岁)、青年组 ($18\sim 45$ 岁)、中年组 ($45\sim 60$ 岁) 和老年组 (>60 岁)。不同年龄段居民头发中 11 种重金属的浓度水平如图 6 所示。Cu 在未成年人组浓度更高 ($20.49\text{ }\mu\text{g/g}$), 是青年人 ($11.25\text{ }\mu\text{g/g}$) 的 1.82 倍, 中年人 ($11.34\text{ }\mu\text{g/g}$) 的 2.15 倍, 老年人 ($10.36\text{ }\mu\text{g/g}$) 的 1.60 倍。Mn 在未成年人头发中浓度相对更高, 分别是其他 3 组人群的 2.84、2.11 及 4.65 倍。Pb 这种有毒有害的重金属在未成年人组也有更高的浓度 ($2.40\text{ }\mu\text{g/g}$), 是青年组 ($1.79\text{ }\mu\text{g/g}$) 的 1.34 倍, 是中年组 ($0.94\text{ }\mu\text{g/g}$) 的 2.55 倍, 是老年人组 ($0.80\text{ }\mu\text{g/g}$) 的 3 倍。未成年人需要更多的室外活动, 且研究区位于交通较发达的街道, 机动车排放的含有 Pb 的尾气等环境暴露水平更高。此外, 也有研究表明儿童的头发 Pb 更容易积累^[26], 且儿童的防护意识较差, 因此更容易受到重金属 Pb 的污染。有研究报道如长期生活在活火山附近的居民发 Pb 随年龄的增加而增加, 但其他重金属元素与年龄相关不大^[38]。Cd 的含量随着年龄增长而降低。Cd 在未成年人中的含量 ($0.18\text{ }\mu\text{g/g}$) 最高, 是青年人 ($0.09\text{ }\mu\text{g/g}$) 的 2.0 倍, 中年人 ($0.08\text{ }\mu\text{g/g}$) 的 2.3 倍, 老年人 ($0.03\text{ }\mu\text{g/g}$) 的 6 倍。Mn、Co、As、Tl 含量在各年龄组间差异极显著 ($P<0.01$)。

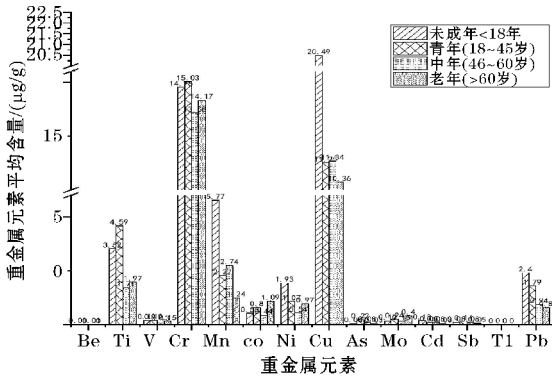


图 6 不同年龄段居民发中重金属平均含量

2.6 研究区抽烟与否人群头发中重金属含量

研究中抽烟对人发中重金属影响的调查结果针对于男性。抽烟与否人群头发中重金属含量关系显示,11 种重金属中,抽烟人群头发中各种重金属的含量与不抽烟人群无显著性差异($P>0.05$)。目前大多数文献研究表明抽烟人群头发中部分重金属含量会高于不抽烟人群,抽烟会增加重金属的负荷。如重庆市居民抽烟者头发中的 Cd 和 Pb 显著高于非抽烟者^[30],三峡库区涪陵和忠县两地吸烟组居民头发中重金属 Pb 的含量($3.67\pm2.67\mu\text{g/g}$ 、 $5.67\pm9.30\mu\text{g/g}$)高于非抽烟组居民($3.24\pm4.15\mu\text{g/g}$ 、 $3.38\pm4.58\mu\text{g/g}$)

($P<0.05$)^[27]。研究结果与大多数文献研究的结果具有差异性,初步分析是样本量相对较少及抽烟人群烟龄较短、抽烟量较少所致,需要进一步实验验证。

3 研究区居民头发中重金属元素的统计分析

相关性分析可以用来判断元素间是否存在相互作用及是否有相同来源,元素间显著相关则表明在人发中有协同作用及相同来源^[38]。通过 SPSS 28.0 对研究区居民头发中 11 种重金属含量进行相关性分析,相关性分析结果如表 2 所示。

表 2 研究区居民头发 11 种重金属含量的相关关系

重金属元素	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	As	Mo	Cd	Sb	Tl	Pb
Cr	1										
Mn	-0.075	1									
Co	-0.1	0.174	1								
Ni	0.14	0.562 **	0.517 **	1							
Cu	-0.109	0.845 **	0.194	0.594 **	1						
As	0.024	-0.112	-0.052	-0.068	-0.123	1					
Mo	0.164	0.047	0.518 **	0.533 **	-0.063	-0.086	1				
Cd	-0.096	0.630 **	0.423 *	0.648 **	0.678 **	-0.047	0.281	1			
Sb	-0.018	-0.072	-0.007	-0.016	-0.086	0.968 **	-0.103	-0.015	1		
Tl	0.032	0.374 *	0.14	0.351 *	0.197	0.022	0.414 *	0.375 *	0.006	1	
Pb	0.036	0.486 **	0.391 *	0.751 **	0.485 **	-0.032	0.489 **	0.885 **	-0.016	0.544 **	1

* 在 0.05 级别(双尾),相关性显著; ** 在 0.01 级别(双尾),相关性显著。

研究区居民头发样品中 Mn 与 Ni($r=0.562$, $P<0.01$)、Mn 与 Cu($r=0.845$, $P<0.01$)、Mn 与 Cd($r=0.630$, $P<0.01$)、Ni 与 Cu($r=0.594$, $P<0.01$)和 Ni 与 Cd($r=0.648$, $P<0.01$)均呈显著正相关关系,Cu 与 Cd($r=0.678$, $P<0.05$)存在正相关关系,表明头发中这几种重金属可能具有相同的来源或相似的迁移规律。Ni 与 Cd($r=0.648$, $P<0.01$)、Ni 与 Pb($r=0.751$, $P<0.01$)均呈显著正相关关系,Cd 与 Pb($r=0.885$, $P<0.05$)存在正相关关系,表明头发中这几种重金属可能具有相同的来源或相似的迁移规律。已有学者对环境中金属来源分布做了详细研究,环境中 Mn 主要来自工业排放和土壤的二次扬尘^[39],Ni 主要源于工业冶炼和燃油^[40],而 Cu 的来源较为复杂,主要有燃煤活动、机动车尾气、道路灰尘等^[41-42],Cd 主要来源为采矿活动及其他工业活动、施肥作用、污水灌溉/污水污泥作用和大气沉降等^[43],Pb 主要来源为工业污染,尤其是金属冶炼生产企业^[44]。Co 与 Ni($r=0.517$, $P<0.01$)、Co 与 Mo($r=0.518$, $P<0.01$)、Co 与 Mo($r=0.533$, $P<0.01$)均呈显著正相关关系,它们可能具有相同的来源或相似的迁移规律。环境中 Co 污染主要

来源于核武器试验废物、原子能工业废物、矿藏开采、医疗和科研等行业^[45],Mo 的主要来源是 Mo 矿开采和冶炼、钢铁厂排污和锌矿冶炼等人类活动^[46]。As 与 Sb($r=0.968$, $P<0.05$)存在正相关关系,两者可能具有相似的来源。环境中 As 的人为来源中以工业污染最显著^[47],Sb 主要来源于母岩风化、矿石开采及工业加工^[48]。Tl 与 Pb($r=0.544$, $P<0.05$)存在正相关关系,它们可能具有相似的来源。环境中 Tl 的主要来源是使用 Tl 作为原料中的杂质存在的含铊硫化物矿石的工业过程^[49]。

4 研究区人群重金属污染程度评价

人发中重金属含量尚无国家限量标准,以王劲榕等^[50]测定的 GBW 09101-2143 人发成分分析标准物质中的重金属含量作为参考依据,但还有部分重金属未找到相关参考标准,所以本研究只评价 Cr、Mn、Cu、Pb、Ni、Cd、Co 在人体内的蓄积情况。

采用单项累积污染超标倍数(Pe)与综合累积污染指数(Pi)评价法评价研究区居民受重金属污染的情

况,见式(1)。

$$P_e=(C_i-C_0)/C_0 \tag{1}$$

式中: P_e 为重金属元素单项累积污染超标倍数; C_i 为人群头发中第 i 种重金属元素的含量; C_0 为人群头发中第 i 种元素的标准限值。

借用内梅罗综合累积污染指数法评价研究区人群头发中重金属复合污染的程度,见式(2)。

$$P_z^2=[(\max P_i^2+P_{i(\text{平均值})}^2)/2] \tag{2}$$

式中: P_z 为人群头发中重金属元素综合(复合)累积污染指数; P_i 为重金属元素单项累积污染指数; $\max P_i$ 为重金属元素中最大的单项累积污染指数值; P_i (平均

值)为重金属元素单项累积污染指数的平均值。

研究区居民人群头发中重金属元素单项污染指数及综合污染指数见表 3。单项累积污染指数大小排序为:男:Co(4.22)>Mn(3.22)>Cr(2.75)>Cu(0.5)>Ni(0.27)>Pb(0.17)>Cd(0.01);女:Co(7.23)>Cr(3.30)>Cd(1.00)>Mn(0.84)>Cu(0.55)>Ni(0.47)>Pb(0.29)。男性与女性单项累积污染指数最高的元素都为 Co,且女性略高于男性。综合累积污染指数男性(3.12)<女性(5.30)说明研究区男性受重金属污染程度小于女性。

表 3 研究区居民人群头发中重金属元素单项污染指数及综合污染指数($n=33$)

性别	Cr		Mn		Co		Ni		Cu		Cd		Pb		Pz
	Pe	Pi	Pe	Pi	Pe	Pi	Pe	Pi	Pe	Pi	Pe	Pi	Pe	Pi	
男	1.75	2.75	0.02	1.02	3.22	4.22	-0.73	0.27	-0.5	0.5	-0.3	0.01	-0.83	0.17	3.12
女	2.30	3.30	-0.16	0.84	6.23	7.23	-0.53	0.47	-0.45	0.55	0.00	1.00	-0.71	0.29	5.30

5 结论

研究采集成都市某社区 33 位健康居民的头发作为样品,采用 ICP-MS 定量测定 33 位居民头发中 11 种重金属的含量。与相关文献推荐的正常范围值相比,该社区居民发 Cu 超标率为 15.2%,As 超标率为 3.0%,Sb 超标率为 6.1%,Pb 超标率为 15.2%。居民发 As 含量(2.35 μg/g)超标,与其在工厂中的职业暴露有关。一位食堂职工的发 Cu 超过推荐范围,与其职业/生活习惯有关。女性头发中 7 种重金属(Cr、Co、Ni、Cu、Mo、Cd、Pb)含量高于男性,但统计检验表明只有 Mo 的含量与性别相关($P<0.05$)。人体必需和非必需重金属元素在未成年人头发中的含量更高,Cd 的含量随着年龄显著降低。不抽烟人群头发中 1 种重金属(Sb)平均含量低于抽烟人群($P<0.01$)。

男性与女性单项累积污染指数最高的元素都为 Co,且女性略高于男性。综合累积污染指数也是男性(3.12)小于女性(5.30)。总的来说,成都市某社区居民头发中重金属含量基本处于正常限值范围内,仅有个别居民部分重金属含量超标,最重要的影响因素就是职业暴露及生活习惯,需要关注。相对于男性来说,女性头发中重金属的污染水平相对偏高。建议加强职业防护,减少含重金属的化妆品和护肤品等的使用频次,减少不良生活习惯。

参考文献:

[1] Chen H M,Zhu Y G. Heavy metal pollution in soils

in China;status and counter measures[J]. Ambio, 1999,28:130-134.

[2] Xie W S,Ping C,Wang H T,et al. Health risk assessment of trace metals in various environment media,crops and human hair from a mining affected area[J]. International Jour-nal of Environmental Research Pubic Health,2017,14:1595.

[3] Zheng N,Liu J,Wang Q,et al. Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China[J]. Science of the Total Environment,2010,408(4):726-733.

[4] Wu G,Kang H,Zhang X,et al. A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: Issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities[J]. Journal of Hazardous Materials,2010,174(1-3):1-8.

[5] Du B Y,Li P,Feng X B,et al. Mercury exposure in children of the Wanshan mercury mining area, Guizhou,China[J]. Journal of Environmental Research and Public Health,2016,13(11):e1107.

[6] Huang M J,Chen X W,Shao D D,et al. Risk assessment of arsenic and other metals via atmospheric particles, and effects of atmospheric exposure and other demographic factors on their accumulations in human scalp hair in urban area of Guangzhou,China[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety,2014,102(102):84-92.

[7] Zukowska J,Biziuk M. Methodological evaluation of method for dietary heavy metal intake[J]. Journal

- of Food Science,2008,73:21-29.
- [8] Susan A,Ragendran K,Sathyasivam K,et al. An overview of plant-based interventions to ameliorate arsenic toxicity[J]. Biomedicine Pharmacotherapy,2019,109:838-852.
- [9] 康立娟,孙凤春. 镍与人体健康及毒理作用[J]. 世界元素医学,2006,13(3):39-42.
- [10] Njati S Y, Maguta M M. Lead-based paints and children's PVC toys are potential sources of domestic lead poisoning: A review[J]. Environmental Pollution,2019,249:1091-1105.
- [11] Fu F L, Wang Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review[J]. Journal of Environmental Management,2011,92:407-418.
- [12] Zhang X, Yang L, Li Y H, et al. Impacts of lead, zinc mining and smelting on the environment and human health in China[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2012,184:2261-2273.
- [13] Chojnacka K, Zielinska A, Gorecka H, et al. Reference values for hair minerals of Polish students[J]. Environmental Toxicology and Pharmacology,2010,29:314-319.
- [14] Pereira R, Ribeiro R, Gonçalves F. Scalp hair analysis as a tool in assessing human exposure to heavy metals (S. Domingos mine, Portugal)[J]. Science of the Total Environment,2004,327(1-3):81-92.
- [15] Violante N, Caroli S. Assessment of reference values for elements in human hair of urban school-boys[J]. Journal of Trace Elements in Medicine & Biology,2000,14(1):6-13.
- [16] 章佩群,卢项丽,钱琴芳. 人发微量元素含量用作环境的生物指示研究[J]. 核技术,2000,23(4):264-268.
- [17] 李友平,刘慧芳,周洪,等. 成都市PM_{2.5}中有毒重金属污染特征及健康风险评价[J]. 中国环境科学,2015(7):307-314.
- [18] 罗晓梅,张义蓉,杨定清. 成都地区蔬菜中重金属污染分析与评价[J]. 四川环境,2003(2):49-51.
- [19] 李冰,王昌全,谭婷,等. 成都平原土壤重金属区域分布特征及其污染评价[J]. 核农学报,2009,23(2):308-315.
- [20] 钱翌,李少权. 山东某大学116例学生头发中重金属含量调查[J]. 职业与健康,2017,33(3):324-326.
- [21] 秦俊法. 中国居民的头发铅、镉、砷、汞正常值上限[J]. 广东微量元素科学,2004(4):29-37.
- [22] 秦俊法,李增禧,楼蔓藤,等. 头发元素分析的科学意义及医学应用价值[J]. 广东微量元素科学,2005,12(5):1-60.
- [23] 梁思. 典型电子废物拆解区溴代阻燃剂和重金属人体负荷研究[D]. 上海:华东理工大学,2016.
- [24] 王怡,王东启,邱思静,等. 上海市居民人发重金属含量及其空间分布特征研究[J]. 环境科学学报,2017,37(3):1139-1145.
- [25] 周洁. 安庆市居民头发重金属含量分析研究[D]. 安庆:安庆师范大学,2019.
- [26] 白莉,贺梓健,陈琬玥,等. 不同地域人发中重金属污染特征与来源解析[J]. 中国环境监测,2020,36(1):105-114.
- [27] 程楠. 三峡库区居民头发重金属含量特征与暴露风险研究[D]. 重庆:西南大学,2018.
- [28] 毛国传,谷元亮,胡丹标,等. 宁波城乡环境和学生头发中重金属含量分析[J]. 安全与环境学报,2016,16(2):323-328.
- [29] 黑儿平,上官宇先,喻华,等. 成都平原农田蔬菜重金属含量及污染评价[J]. 热带生物学报,2022,13:1-8.
- [30] 何明靖,李琦,王登祥,等. 重庆市居民头发重金属富集特征及相关性分析[J]. 环境科学,2017,38(4):1698-1701.
- [31] 梁刚,潘立刚,刘新会,等. 大连市居民头发典型重金属富集特征研究[J]. 环境科学学报,2018,38(12):6.
- [32] 田美玲,钟雪梅,夏德尚,等. 南丹矿业活动影响区人群头发中重金属含量特征[J]. 环境科学,2016,37(12):4867-4873.
- [33] 袁雪花,苏玉红. 奎屯高砷地下水灌溉区居民头发和指甲中砷含量研究[J]. 安全与环境学报,2017,17(4):1519-1523.
- [34] Ryabukhim Y. Activation analysis of hair as an indicator of contamination of man by environmental trace element pollutants[R]. Vienna International Atomic Energy Agency Report,1978.
- [35] 王小娇,胡国成,于云江,等. 西南有色金属矿区周边居民头发中重金属含量特征[J]. 环境科学与技术,2015,38(12):6.
- [36] 黄丽春. 贵阳地区122名健康人发铊上限水平意义的探讨[J]. 中国工业医学杂志,1990(2):2.
- [37] Malik R N, Jadon W A, Husain S Z. Metal contamination of surface soils of industrial city Sialkot, Pakistan: a multivariate and GIS ap-

- proach [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2010, 32(3): 179–191.
- [38] Amaral A F, Arruda M, Cabral S, et al. Essential and non-essential trace metals in scalp hair of men chronically exposed to volcanogenic metals in the Azores, Portugal[J]. *Environment International*, 2008, 34(8): 1104–1108.
- [39] 刘凤玲, 卢霞, 吴梦龙, 等. 南京大气细粒子中重金属污染特征及来源解析[J]. *环境工程学报*, 2014, 8(2): 652–658.
- [40] 王伟, 孔少飞, 刘海彪, 等. 南京市春节前后大气 $PM_{2.5}$ 中重金属来源及健康风险评价[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(7): 2186–2195.
- [41] 黄顺生, 华明, 金洋, 等. 南京市大气降尘重金属含量特征及来源研究[J]. *地学前缘*, 2008, 15(5): 161–166.
- [42] 张晓茹, 孔少飞, 银燕, 等. 亚青会期间南京大气 $PM_{2.5}$ 中重金属来源及风险[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(1): 1–11.
- [43] 常慧. 贵州省典型污染区镉的空间分布和来源识别[D]. 北京: 中国地质大学, 2019.
- [44] 胡昱欣, 宋炜, 周瑞静, 等. 某搬迁企业原址用地土壤中 Pb 污染成因及其生态风险评价研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2021, 37(8): 1066–1072.
- [45] 苏翔, 白瑞. 钴污染土壤的治理修复综述[J]. *山东化工*, 2020, 49(20): 238–240.
- [46] 张迪. 贵州遵义松林 Ni-Mo 多金属矿区土壤 Cu、Zn、Ni、Mo、V 污染及农作物健康风险评价[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2020.
- [47] 胡昱欣, 宋炜, 周瑞静. 某金属冶炼企业土壤 As 污染特征及潜在生态风险评价[J]. *中国环境监测*, 2021, 37(6): 147–155.
- [48] 付鹏宇, 梁杏, 常致凯, 等. 资水尾间地下水 Sb 含量分布及来源[J/OL]. *地球科学*, [2022–07–18].
- [49] Liu J, Wang J, Tsang D C W, et al. Emerging Thallium pollution in China and source tracing by Thallium isotopes[J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52(21): 11977–11979.
- [50] 王劲榕, 陈加希. ICP-AES 法同时测定人发中锌, 铬, 镁, 锰, 钙, 铁, 铜, 镉, 钠, 铅, 镍, 镉, 铝, 钴 14 个元素[J]. *广西化工*, 2000(S1): 149–150.

Content Characteristics of Heavy Metals in Hair of Different Kinds of People in a Community of Chengdu

LIU Ying, YIN Hongling, MA Chengqi, SONG Jiaojiao, QIAO Yang

(College of Resources and Environment, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: The contents of 11 heavy metals (Cr, Mn, Co, Ni, Cu, As, Mo, Cd, Sb, Tl and Pb) in hair of 33 residents from a community in Chengdu were determined by ICP-MS, and their distribution characteristics and main influencing factors were analyzed in this paper. Compared with the normal range recommended by relevant literature, residents in this study area were not contaminated by Tl, but the Cu, As, Sb and Pb contents exceeded the standard, and the rates were 15.2%, 3.0%, 6.1% and 15.2%, respectively. One of the residents had 2.8 times hair As levels ($2.35 \mu\text{g/g}$) the recommended normal range, which was associated with occupational exposure in the factory. The As contents of residents No. 6 ($0.52 \mu\text{g/g}$) and No. 16 ($0.5 \mu\text{g/g}$) exposed to electronic products were significantly higher than that of other residents. Only one canteen worker's hair Cu content exceeded the recommended range, which was related to his occupation/living habits. Statistical test shows that only Mo content was correlated with sex ($P < 0.05$). The contents of Mn, Co, As and Tl in different age groups were significantly different ($P < 0.01$). There was no significant difference in the heavy metals content in the hair of smokers and non-smokers. Correlation analysis showed that there were positive correlations among various heavy metals. The single cumulative pollution index of Co was the highest in both males and females. The cumulative pollution index of men (3.12) was lower than that of women (5.30).

Keywords: hair; heavy metal; content characteristics; Chengdu; pollution index