

基于电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法的射击残留物特征元素在射击者击发手上分布的研究

李 想 夏鑫鑫 宋 辉 朱 昱* 赵鹏程

(中国刑事警察学院, 沈阳 110854)

摘 要 为了考察射击者击发手上射击残留物特征元素的分布,利用超声提取法,提取射击残留物中的锡、锑、钡和铅。对提取溶剂浓度和超声时间进行考察。实验结果表明,采用 10% HNO_3 (v/v) 提取 30 min,提取射击残留物中锡、锑、钡和铅效果最好。对不同种类枪支射击后手部射击残留物的分布研究,结果发现虎口和手掌心处射击残留物较多,为涉枪案件的侦查和鉴定提供了一种方法。

关键词 射击残留物;特征元素;ICP-MS

中图分类号:O657.63 TH843 文献标志码:A 文章编号:2095-1035(2023)02-0171-06

Study on Distribution of Characteristic Elements in Shooting Residue on Shooter's Firing Hand by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

LI Xiang, XIA Xinxin, SONG Hui, ZHU Yu*, ZHAO Pengcheng

(Criminal Investigation Police University of China, Shenyang, Liaoning 110854, China)

Abstract In order to investigate the distribution of characteristic elements in shooting residue on shooter's firing hand, tin, antimony, barium and lead in shooting residue are extracted by ultrasonic extraction method. The concentration of extraction solvent and ultrasonic time are investigated. The experimental results showed that using 10% HNO_3 (v/v) to extract shooting residue for 30 min has the best effect on the extraction of tin, antimony, barium and lead in gunshot residues. The results show that there are more gunshot residues on the thumb and index finger and palm, which provides a method for the investigation and identification of gun related cases.

Keywords gunshot residues; characteristic elements; ICP-MS

射击残留物的形成以及分布与射击物有关。射击者手上提取的射击残留物来源于枪支抛壳的过程,

当弹壳与膛壁之间密封被破坏后,含有击发药以及发射药的残留物气固流从套筒、抛壳口与枪体结

收稿日期:2022-03-02 修回日期:2022-03-31

基金项目:公安部技术研究计划资助项目(2019JSYJC24);公安部科技强警基础工作专项资助项目(2019GABJC06)

作者简介:李想,女,实验师,主要从事微量物证分析研究。E-mail:244843854@qq.com

* 通信作者:朱昱,男,教授,主要从事刑事科学技术研究。E-mail:zhuyuzhuyu@sina.com

引用格式:李想,夏鑫鑫,宋辉,等. 基于电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法的射击残留物特征元素在射击者击发手上分布的研究[J]. 中国无机分析化学, 2023, 13(2): 171-176.

LI Xiang, XIA Xinxin, SONG Hui, et al. Study on Distribution of Characteristic Elements in Shooting Residue on Shooter's Firing Hand by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2023, 13(2): 171-176.

合的部位泄露出来^[1]。击发药由起爆药、可燃剂和氧化剂组成。目前起爆药主要使用史蒂酚酸铅,可燃剂使用硫化锑,氧化剂使用硝酸钡。底火使用锡箔作为封装材料。铅、锑、钡和锡在射击残留物中含量较高,受外界干扰小,是射击残留物无机元素检验中的特征元素。射击残留物的检验对涉枪案件的侦查和鉴定起到重要作用。

目前对射击残留物中元素成分的检验方法有化学方法^[2-3]、扫描电镜-能谱法^[4]、X 射线荧光光谱法^[5-6]、荧光探针法^[7]、电感耦合等离子质谱(ICP-MS)法^[8-9]和显微拉曼光谱法^[10]等。化学方法操作简单,易出现假阳性。扫描电子显微镜-能谱法无法准确定量分析,不适用于研究手上射击残留物的分布。X 射线荧光光谱法可检验被射客体上的射击残留物,易受被射客体材质影响。ICP-MS 法具有检出限低、灵敏度高、重现性好等特点^[11-12],用于检验射击残留物时不易受内源杂质干扰。

采用 ICP-MS 对射击残留物中的锡、锑、钡和铅进行定量分析,可用于研究射击残留物在射击者手部的分布。本文对手枪、转轮手枪、步枪以及微型冲锋枪等多种国产制式枪支射击后射击者手部射击残留物的含量和分布规律进行研究,为公安机关的检验鉴定提供参考和依据。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

65%浓硝酸(优级纯,国药试剂有限公司),乙二胺四乙酸(优级纯,国药试剂有限公司)。

Sn、Sb、Ba、Pb 标准溶液:将 100 $\mu\text{g/mL}$ 的标准储备溶液(购自国家标准物质中心)采用 2%硝酸溶液稀释成 0、5、30、60、80、100 $\mu\text{g/L}$ 的标准溶液。

Re 标准溶液(10 $\mu\text{g/L}$):将 1 000 $\mu\text{g/mL}$ 的标准储备溶液(购自国家标准物质中心)采用 2%硝酸溶液稀释而成。

iCAP Q 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Thermo Fisher 公司),KQ-200VDE 超声清洗仪(中国舒美公司)。

1.2 仪器工作条件

采用调谐液对仪器条件进行自动调谐,优化后的仪器参数见表 1。

1.3 枪支弹药类型

本实验分别使用手枪、转轮手枪、步枪和微型冲锋枪进行射击实验,所用枪支规格见表 2。

表 1 仪器主要参数

Table 1 Main parameters of the instrument

参数	数值	参数	数值
等离子体功率/W	1 545.7	检测器电压/V	956
雾化器流速/ ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	1.04	等离子体气体/ ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	22.78
冷却器流速/ ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	13.78	辅助气流速/ ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	0.8
雾化器温度/ $^{\circ}\text{C}$	2.65	采样深度/mm	5.00

表 2 枪支规格

Table 2 Specifications of the firearms

枪械	枪支型号	子弹型号
手枪	54 式枪支	51 式子弹
手枪	59 式枪支	59 式子弹
手枪	64 式枪支	64 式子弹
手枪	77 式枪支	64 式子弹
手枪	92 式枪支	DAP92A 子弹
手枪	转轮手枪	9 mm 警用转轮手枪弹
步枪	95-1 式步枪	DBP10A 子弹
微型冲锋枪	79 式微型冲锋枪	51 式子弹

1.4 样品采集及处理

1.4.1 样品收集

实验前用洗手液和清水清洗手部,防止日常生活残留造成污染。采用蘸取 EDTA(20 g/L)棉花拭子擦拭 1 cm $\times$ 1 cm 处的射击手采集区域。分别采用 54 式手枪、59 式手枪、77 式手枪、64 式手枪、92 式手枪、转轮手枪、95-1 式步枪和 79 式微型冲锋枪射击 10 次。每次射击后,采集区域为左手手心、左手手背、左手虎口、右手手心、右手手背和右手虎口。

1.4.2 样品处理

将样品放入 10 mL 试管,加入 2 mL 10% HNO_3 溶液,置于超声清洗仪中于 80 $^{\circ}\text{C}$, 45 kHz, 超声提取 30 min。再将溶液从试管取出,溶液稀释定容至 10 mL,备用检验。

2 结果与讨论

2.1 提取溶剂浓度优化

提取溶剂采用稀硝酸溶液,稀硝酸浓度对提取效果有一定的影响,考察硝酸溶液的浓度为 5%、10%、15%、20%(v/v)时各元素的提取效率。蘸取 EDTA(20 g/L)棉花拭子上加入 20 μL 浓度为 250 $\mu\text{g/mL}$ 的锡、锑、钡和铅元素标准溶液,室温静置 2 h,检验结果见图 1。

结果表明:提取效率随着硝酸浓度增加对提取效果没有显著变化,考虑到硝酸浓度增加,后期稀释倍数增加,降低低浓度样本检测的灵敏度。本方法选择 10% HNO_3 作为提取溶液。

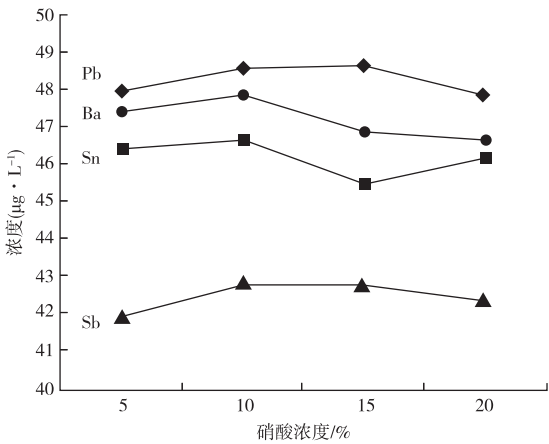


图 1 硝酸浓度对测量结果的影响

Figure 1 Effects of HNO_3 concentration on the measurement results.

2.2 超声时间优化

超声时间对射击残留物中锡、锑、钡和铅的提取效果有一定的影响,超声时间过短,影响提取效果;超声时间过长,影响工作效率。考察超声时间(10、20、30、40 min)对提取效率的影响。蘸取 EDTA (20 g/L) 棉花拭子上加入 20 μL 浓度为 250 $\mu\text{g/mL}$ 的锡、锑、钡和铅元素标准溶液,室温静置 2 h,检验结果见图 2。

结果表明:提取效率随着超声时间增加而增加,当提取时间在 30 与 40 min 之间时,变化不明显。考虑节省前处理时间,实验选择 30 min 的超声时间。

表 3 线性范围、线性方程、相关系数、检出限及定量限

Table 3 Linear ranges, linear equations, correlation coefficients, detection limit and quantification limit

元素	线性范围/ $(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	线性回归方程	R^2	检出限/ $(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	定量限/ $(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$
Sn	1~80	$y=5.777 \times 10^3 x + 1.958 \times 10^3$	0.999 6	0.08	0.27
Sb	1~80	$y=6.191 \times 10^3 x + 1.164 \times 10^3$	0.999 3	0.13	0.43
Ba	5~80	$y=2.399 \times 10^3 x + 1.671 \times 10^4$	0.999 4	1.17	3.91
Pb	5~80	$y=7.844 \times 10^4 x + 9.203 \times 10^4$	0.999 3	0.23	0.77

2.3.2 精密度和准确度实验

利用优化的实验条件进行空白添加实验。分别在空白棉花拭子上添加 10、30、50 $\mu\text{g/L}$ 三个水平的标准溶液,每次添加水平测定 6 次。结果见表 4,空白棉花拭子的加标回收率为 83.6%~104%,相对标准偏差 RSD 在 3.8%~5.7%,表明方法具有较好的精密度和准确度。

表 4 加标回收率及精密度

Table 4 Spiked recoveries and precisions ($n=6$) /%

元素	10 $\mu\text{g/L}$		30 $\mu\text{g/L}$		50 $\mu\text{g/L}$	
	回收率	RSD	回收率	RSD	回收率	RSD
Sn	93.8	4.3	103	4.6	93.6	3.8
Sb	83.6	5.7	85.2	5.3	85.7	5.0
Ba	94.4	4.6	95.4	4.2	93.6	5.6
Pb	95.6	3.7	104	4.8	96.4	5.3

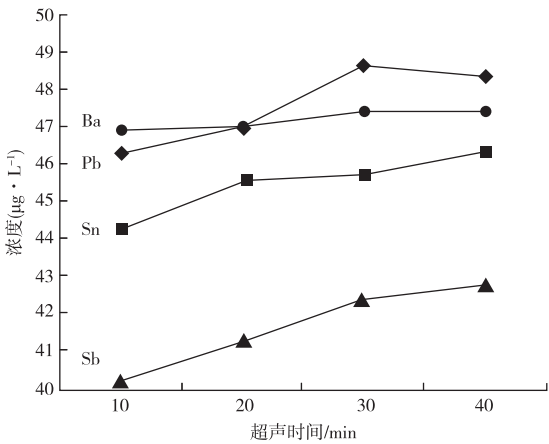


图 2 超声时间对测量结果的影响

Figure 2 Effects of ultrasonic time on measurement results.

2.3 方法学考察

2.3.1 线性范围与检出限

配制 0、5、30、50、60、80 $\mu\text{g/L}$ 的 Pb、Ba、Sb 和 Sn 混合标准溶液。以待测元素的质量浓度为横坐标,对应强度信号为纵坐标,绘制标准曲线(见表 3)。结果表明 Sn、Sb 元素在 1~80 $\mu\text{g/L}$ 范围内线性关系良好, Ba、Pb 元素在 5~80 $\mu\text{g/L}$ 范围内线性关系良好,相关系数(R^2)均大于 0.999,能满足定量分析要求。对空白溶液测定 11 次,以 3 倍标准偏差计算检出限,以 10 倍标准偏差计算定量限(见表 3)。

2.4 射击者手部射击残留物分析

样品按照前处理方法进行处理,采用 ICP-MS 测定。选择 54 式手枪、59 式手枪、64 式手枪、77 式手枪、92 式手枪、转轮手枪、95-1 式步枪和 79 式微型冲锋枪考察手部最佳采集区域,分别考察了射击者左手和右手的手掌心、手背和虎口,表 5~12 列出了不同枪支 10 次射击后射击者手上的射击残留物最佳收集区域。

对于不同的制式手枪(表 5~9),右手虎口上的射击残留物浓度均高于其他部位的射击残留物浓度,右手背部上的射击残留物浓度高于左手背部上的射击残留物浓度。手枪抛壳口处附着的射击残留物含量高于握把、击锤和扳机上附着的射击残留物含

量^[6]。手枪的抛壳口在枪管的右侧,在右手虎口的正上方,因此右手的射击残留物浓度高于左手,右手虎口的射击残留物浓度较高。尽管枪支已经清洗干净,但射击残留物不能完全移除,所以在反复射击时手掌心处射击残留物含量相对手背的射击残留物浓度更高。

表 5 54 式手枪 10 次射击手部不同区域的测量结果

Table 5 Measurement results of ten shots with the type 54 pistol in different areas of hand $/(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$				
样本	54 式手枪			
	Pb	Ba	Sb	Sn
空白	0.46	4.36	9.14	4.91
No. 1 左手掌	553.43	391.94	117.17	89.40
No. 1 左手背	30.17	37.96	13.17	2.95
No. 1 左手虎口	633.71	433.65	128.61	102.28
No. 1 右手掌	654.72	368.4	169.54	125.60
No. 1 右手背	233.96	220.04	71.15	22.09
No. 1 右手虎口	778.94	540.44	234.23	231.70
No. 2 左手掌	393.36	446.60	143.99	121.14
No. 2 左手背	72.827	134.49	47.38	18.46
No. 2 左手虎口	659.98	814.37	298.95	402.30
No. 2 右手掌	208.67	306.69	115.46	108.83
No. 2 右手背	124.97	83.16	23.323	8.169
No. 2 右手虎口	930.09	804.81	365.3	540.98
No. 3 左手掌	600.72	768.47	321.50	318.90
No. 3 左手背	128.73	169.79	53.19	33.92
No. 3 左手虎口	1 836.72	1 247.96	655.17	965.90
No. 3 右手掌	971.45	1 007.75	374.12	337.25
No. 3 右手背	459.92	424.10	191.41	236.83
No. 3 右手虎口	2 125.67	1 501.68	752.10	1 085.34

表 6 59 式手枪 10 次射击手部不同区域的测量结果

Table 6 Measurement results of ten shots with the type 59 pistol in different areas of hand $/(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$				
样本	59 式手枪			
	Pb	Ba	Sb	Sn
空白	1.34	1.08	46.07	14.42
No. 1 左手掌	353.35	342.34	128.45	61.30
No. 1 左手背	96.21	55.10	65.46	5.11
No. 1 左手虎口	805.80	283.46	104.67	41.58
No. 1 右手掌	440.44	374.28	168.36	120.65
No. 1 右手背	192.95	102.11	286.12	9.687
No. 1 右手虎口	934.76	243.95	74.13	44.61
No. 2 左手掌	141.37	85.02	75.57	5.35
No. 2 左手背	75.30	50.41	35.95	6.91
No. 2 左手虎口	206.04	164.48	123.68	20.24
No. 2 右手掌	186.60	141.92	92.95	20.76
No. 2 右手背	88.34	54.36	49.78	6.31
No. 2 右手虎口	280.04	123.35	62.66	32.36
No. 3 左手掌	121.07	83.00	38.88	6.41
No. 3 左手背	35.78	31.26	11.78	1.31
No. 3 左手虎口	196.80	169.73	180.18	63.33
No. 3 右手掌	145.71	57.98	63.12	3.70
No. 3 右手背	90.05	66.49	36.68	6.04
No. 3 右手虎口	287.87	117.85	246.84	25.62

表 7 64 式手枪 10 次射击手部不同区域的测量结果

Table 7 Measurement results of ten shots with the type 64 pistol in different areas of hand $/(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$				
样本	64 式手枪			
	Pb	Ba	Sb	Sn
空白	5.73	20.75	4.85	3.74
No. 1 左手掌	627.18	464.62	256.77	241.78
No. 1 左手背	376.12	242.71	137.71	117.29
No. 1 左手虎口	1 018.31	870.05	387.08	490.32
No. 1 右手掌	892.81	816.33	451.23	591.13
No. 1 右手背	347.83	405.88	189.88	187.39
No. 1 右手虎口	1 587.93	1 406.23	706.50	758.03
No. 2 左手掌	260.76	183.59	94.26	92.07
No. 2 左手背	129.85	150.50	55.09	25.49
No. 2 左手虎口	435.03	508.36	160.78	144.71
No. 2 右手掌	864.69	1 279.14	609.19	836.37
No. 2 右手背	390.58	613.88	227.00	324.85
No. 2 右手虎口	726.15	833.46	376.46	364.58
No. 3 左手掌	553.37	371.11	137.59	140.91
No. 3 左手背	57.26	60.45	22.87	4.87
No. 3 左手虎口	1 145.49	711.57	260.99	281.01
No. 3 右手掌	755.80	736.82	307.96	397.80
No. 3 右手背	217.90	265.92	125.94	134.17
No. 3 右手虎口	1 666.99	1 434.83	530.82	824.16

表 8 77 式手枪 10 次射击手部不同区域的测量结果

Table 8 Measurement results of ten shots with the type 77 pistol in different areas of hand $/(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$				
样本	77 式手枪			
	Pb	Ba	Sb	Sn
空白	0.28	0.30	11.13	4.70
No. 1 左手掌	234.61	161.94	73.34	61.03
No. 1 左手背	96.12	62.16	28.53	11.36
No. 1 左手虎口	393.09	505.32	233.00	225.56
No. 1 右手掌	331.40	141.33	63.92	29.89
No. 1 右手背	113.88	107.22	33.88	13.97
No. 1 右手虎口	574.32	314.21	172.65	183.35
No. 2 左手掌	287.18	308.27	127.38	175.78
No. 2 左手背	128.22	52.63	44.31	9.33
No. 2 左手虎口	298.93	358.86	184.74	205.36
No. 2 右手掌	290.14	139.36	77.83	49.99
No. 2 右手背	169.73	245.29	67.67	75.26
No. 2 右手虎口	519.24	649.4	273.13	288.50
No. 3 左手掌	256.17	295.22	100.16	68.16
No. 3 左手背	74.68	88.69	33.91	17.36
No. 3 左手虎口	368.75	91.76	44.64	10.82
No. 3 右手掌	297.47	195.79	118.42	112.08
No. 3 右手背	85.54	80.00	28.25	21.46
No. 3 右手虎口	385.85	399.37	166.30	151.93

表 9 92 式手枪 10 次射击手部不同区域的测量结果

Table 9 Measurement results of ten shots
with the type 92 pistol in different areas of hand

样本	92 式手枪			
	Pb	Ba	Sb	Sn
空白	0.30	0.56	3.30	<LOD
No. 1 左手掌	127.16	94.36	56.75	273.13
No. 1 左手背	16.29	12.80	6.55	13.44
No. 1 左手虎口	413.71	623.20	163.24	567.56
No. 1 右手掌	175.83	126.04	53.11	253.84
No. 1 右手背	73.66	115.85	74.61	259.82
No. 1 右手虎口	423.39	463.38	257.25	427.56
No. 2 左手掌	160.96	89.78	32.25	213.59
No. 2 左手背	45.828	55.78	22.28	29.14
No. 2 左手虎口	352.47	204.88	77.53	361.09
No. 2 右手掌	212.87	88.761	57.11	254.58
No. 2 右手背	82.62	74.75	39.98	183.01
No. 2 右手虎口	590.20	150.86	377.74	787.81
No. 3 左手掌	153.32	69.53	135.75	246.05
No. 3 左手背	59.10	28.84	12.83	69.76
No. 3 左手虎口	455.92	271.67	141.87	469.06
No. 3 右手掌	256.38	111.46	92.12	363.92
No. 3 右手背	116.73	97.20	40.28	184.08
No. 3 右手虎口	490.01	464.22	185.91	735.83

对于转轮手枪(见表 10),转轮手枪的弹膛封闭不严,枪管与转轮之间有间隙,导致射击残留物大范围扩散。警察转轮手枪的射击残留物比手枪的射击残留物更均匀地分布在左手和右手上。

表 10 警用转轮手枪 10 次射击手部不同区域的测量结果

Table 10 Measurement results of ten shots
with the police revolver in different areas of hand

样本	警用转轮			
	Pb	Ba	Sb	Sn
空白	4.08	17.94	2.80	1.33
No. 1 左手掌	844.12	359.01	240.31	220.06
No. 1 左手背	53.93	66.83	26.03	7.41
No. 1 左手虎口	1 179.72	723.45	421.07	437.45
No. 1 右手掌	195.70	196.18	109.01	70.27
No. 1 右手背	329.72	371.88	176.56	115.14
No. 1 右手虎口	775.34	674.36	410.07	319.89
No. 2 左手掌	969.50	594.05	291.11	341.36
No. 2 左手背	166.07	175.35	46.70	12.55
No. 2 左手虎口	1 559.24	827.31	390.08	396.26
No. 2 右手掌	467.60	216.25	72.74	37.53
No. 2 右手背	342.67	381.51	170.18	96.71
No. 2 右手虎口	955.32	523.19	239.03	203.71
No. 3 左手掌	1 722.02	813.44	483.79	585.34
No. 3 左手背	56.44	65.73	15.73	4.07
No. 3 左手虎口	1 467.15	1 110.02	1 115.07	997.97
No. 3 右手掌	1 493.86	649.00	439.91	555.03
No. 3 右手背	63.21	164.26	51.86	19.44
No. 3 右手虎口	1 577.75	1 536.35	765.14	1 008.65

对于步枪(见表 11),右手虎口上的射击残留物浓度均高于其他部位的射击残留物浓度,右手背部上的射击残留物浓度高于左手背部上的射击残留物浓度。步枪是一种肩射的长管枪械,左手持握护木部位,右手持握握把。步枪采用的子弹弹药量大于手枪,由于步枪枪管较手枪枪管更长,步枪射击时在手部分布的射击残留物含量低于手枪射击时在手部分布的射击残留物含量。

表 11 95-1 式步枪 0 次射击手部不同区域的测量结果

Table 11 Measurement results of ten shots
with the type 95-1 rifle in different areas of hand

样本	95-1 式步枪			
	Pb	Ba	Sb	Sn
空白	1.37	2.37	0.53	1.24
No. 1 左手掌	125.98	142.49	42.99	51.24
No. 1 左手背	43.51	116.88	11.33	12.50
No. 1 左手虎口	191.30	153.49	51.19	208.88
No. 1 右手掌	168.98	72.73	18.86	7.63
No. 1 右手背	60.64	117.31	29.95	26.06
No. 1 右手虎口	490.44	395.28	237.19	327.16
No. 2 左手掌	149.81	141.90	45.36	34.57
No. 2 左手背	26.10	98.39	17.24	12.73
No. 2 左手虎口	153.25	124.97	114.11	61.19
No. 2 右手掌	261.91	234.96	98.05	139.54
No. 2 右手背	70.88	209.42	39.88	40.02
No. 2 右手虎口	468.96	258.68	188.23	251.94
No. 3 左手掌	271.77	280.66	118.94	132.70
No. 3 左手背	30.40	145.01	14.57	12.30
No. 3 左手虎口	301.60	258.44	151.85	138.79
No. 3 右手掌	409.48	289.56	167.56	173.95
No. 3 右手背	143.09	172.01	49.20	38.09
No. 3 右手虎口	961.05	133.33	47.83	43.26

对于微型冲锋枪(见表 12),右手虎口上的射击残留物浓度均高于其他部位的射击残留物浓度,右手背部上的射击残留物浓度高于左手背部上的射击残留物浓度。79 式微型冲锋枪左手持握前握把,右手持握后握把,抛壳口位前握把右侧上方。微型冲锋枪射击时在右手虎口处分布的射击残留物含量相对其他制式枪支更低。

3 结论

采用 10% HNO₃ 提取射击残留物样品,建立了 ICP-MS 测定射击残留物中锡、锑、钡和铅含量的方法。该方法无需微波消解处理样品,提供了一种简单快捷的前处理方法。考察不同种类枪支射击后,持枪者手部残留的射击残留物,结果表明虎口和手掌心处射击残留中锡、锑、钡和铅的含量较高。手部残留射击残留物的含量与枪支残留射击残留物的含量有对应关系,其含量与枪支构造和持枪习惯有关。通过手部残留的射击残留物可判断手是否射击过枪

支,为侦查和办案提供可靠技术支持。

表 12 79 式微型冲锋枪 10 次射击手部不同区域的测量结果

Table 12 Measurement results of ten shots
with the type 79 micro rifle in different areas of hand
/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)

样本	79 式微型冲锋枪			
	Pb	Ba	Sb	Sn
空白	1.83	3.85	1.28	4.73
No. 1 左手掌	251.90	185.98	128.65	170.91
No. 1 左手背	44.05	47.68	2.35	0.95
No. 1 左手虎口	362.99	281.33	155.80	194.32
No. 1 右手掌	378.768	233.736	151.21	175.70
No. 1 右手背	103.245	69.88	9.38	12.73
No. 1 右手虎口	900.84	639.81	532.70	636.42
No. 2 左手掌	197.33	201.55	77.26	77.09
No. 2 左手背	20.98	62.06	13.49	6.35
No. 2 左手虎口	264.86	177.59	122.05	167.16
No. 2 右手掌	287.20	340.16	344.41	320.86
No. 2 右手背	32.76	53.12	21.08	14.08
No. 2 右手虎口	735.78	643.08	435.88	693.69
No. 3 左手掌	117.91	134.12	62.01	45.55
No. 3 左手背	12.68	67.43	7.06	2.45
No. 3 左手虎口	386.34	322.08	896.50	265.97
No. 3 右手掌	286.24	402.62	261.67	342.00
No. 3 右手背	51.72	76.65	40.43	40.44
No. 3 右手虎口	603.38	379.85	190.06	211.86

参考文献

- [1] 赵鹏程,邹宁,郑吉龙. 射击残留物的检验方法[J]. 中国人民公安大学(自然科学版),2003,38(6):16-18.
ZHAO Pengcheng, ZOU Ning, ZHENG Jilong. Test method for shooting residue[J]. Journal of People's Public Security University of China (Science and Technology),2003,38(6):16-18.
- [2] 高梦林,沈尧,李铁舫,等. 弹着点射击残留物转印介质的比较研究[J]. 中国无机分析化学,2022,12(2):97-107.
GAO Menglin, SHEN Yao, LI Yiyi, et al. Comparative study of transfer medias of gunshot residues at impact point[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry,2022,12(2):97-107.
- [3] PIRCHER R, PERDEKAMP M G, MIERDEL K, et al. Bullet wipe on the uppermost textile layer of gunshot entrance sites: may it be absent due to pre-existing blood staining[J]. International Journal of Legal Medicine,2019,133:1437-1442.
- [4] MONTORIOL R, GUILBEAU-FRUGIER C, ARIES S, et al. Gunshot residue detection in stagnant water: SEM-EDX or ICP-MS? A preliminary study[J]. Journal of Forensic Sciences,2021,66(4):1267-1275.
- [5] 庄岩,王晓琳,郭威,等. 便携式 X 射线荧光光谱分析仪快速检测弹着痕迹[J]. 刑事技术,2019,44(3):246-249.
ZHUANG Yan, WANG Xiaolin, GUO Wei, et al. Using portable X-ray fluorescent spectrometry to rapidly test the impact marks at gunshot spot[J]. Forensic Science and Technology,2019,44(3):246-249.
- [6] 孟欢,朱勇兵,王晴,等. 吉林某弹药销毁场土壤炸药污染调查及其赋存状态研究[J]. 中国无机分析化学,2022,12(3):31-39.
MENG Huan, ZHU Yongbing, WANG Qing, et al. Investigation on soil explosive pollution and occurrence status of a certain ammunition destruction site in jilin province[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry,2022,12(3):31-39.
- [7] 李宏达,王辉. 可视化检验射击残留物的荧光探针的合成及应用研究[J]. 化学试剂,2018,40(4):375-378.
LI Hongda, WANG Hui. Synthesis and application of visual detection for gunshot residue based on fluorescence probe[J]. Chemical Reagents,2018,40(4):375-378.
- [8] 李想,吕晓森,朱昱. 电感耦合等离子体质谱法测定枪械上射击残留物中的铅、钡、锑和锡[J]. 火工品,2021(3):44-47.
LI Xiang, LYU Xiaosen, ZHU Yu. Determination of lead, barium, antimony and tin in gunshot residue on firearms by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Initiators & Pyrotechnics,2021(3):44-47.
- [9] PHERMPORN SAGUL Y, AREPORN RAT S, PALKAWONG W, et al. A Comparative study of SEM-EDX and ICP-MS detection based on gunshot residue originated from AK-47 and M16 rifles[J]. American Journal of Applied Sciences,2020,17:69-82.
- [10] 赵森,梁孝天,俞孟柯,等. 显微拉曼光谱检验射击残留物[J]. 光谱学与光谱分析,2021,41(10):3142-3146.
ZHAO Sen, LIANG Xiaotian, YU Mengke, et al. Study on the inspection of shooting residues by micro-Raman spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2021,41(10):3142-3146.
- [11] 李优琴,吕康,倪晓璐,等. 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定谷类产品中 8 种重金属元素[J]. 中国无机分析化学,2022,12(1):20-25.
LI Youqin, LYU Kang, NI Xiaolu, et al. Determination of eight heavy metals in cereal products by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry,2022,12(1):20-25.
- [12] 张欣昕,张福金,刘广华,等. 基于 ICP-MS 分析的苜蓿矿质元素含量特征与评价[J]. 中国无机分析化学,2022,12(1):139-145.
ZHANG Xinxin, ZHANG Fujin, LIU Guanghua, et al. Content characteristics and nutritious evaluation of mineral elements in alfalfa based on ICP-MS analysis[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2022,12(1):139-145.