

[ 62 ] 赵佳琛, 王艺涵, 翁倩倩, 等. 经典名方中麦冬的本草考证[J]. 中国现代中药, 2020, 22(8): 1381-1392.

[ 63 ] 牛爱婷, 李 胜, 李 超, 等. 酸枣仁本草考证[J]. 辽宁中医药大学学报, 2023, 25(8): 102-107.

[ 64 ] 严用和. 严氏济生方[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2007.

[ 65 ] 庞安时. 伤寒总病论[M]. 邹德琛, 刘华生, 点校. 北京: 人民卫生出版社, 1989: 168.

[ 66 ] 赵 琪, 王 玲, 吴杨璐, 等. 中药桔梗的本草考证[J]. 中药材, 2022, 45(5): 1266-1272.

[ 67 ] 苏 敬. 新修本草[M]. 尚志钧, 辑校. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1981: 212.

[ 68 ] 王艺涵, 马力峥, 赵佳琛, 等. 经典名方中玄参的本草考证[J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28(10): 286-295.

[ 69 ] 佚名. 神农本草经[M]. 森立之, 辑校. 北京: 北京科学技术出版社, 2016: 41.

[ 70 ] 胡婷婷, 李金洋, 翟俊杰, 等. 丹参本草考证[J]. 辽宁中医药大学学报, 2023, 25(10): 173-177.

[ 71 ] 刘文泰. 本草品汇精要[M]. 陆 拯, 校注. 北京: 中国中医药出版社, 2013: 182.

[ 72 ] 陈仁山, 蒋 森, 陈思敏, 等. 药物出产辨(二)[J]. 中药与临床, 2012, 3(2): 60.

[ 73 ] 佚名. 神农本草经[M]. 顾观光, 重编. 北京: 人民卫生出版社, 1956: 28.

[ 74 ] 朱 瑶, 朱昊宇, 陈建华. 中药地黄本草考证及在温病中的应用[J]. 亚太传统医药, 2023, 19(8): 180-184.

[ 75 ] 贾所学. 药品辨义[M]. 北京: 华夏出版社, 1999: 447.

[ 76 ] 刘震营, 王玲娜, 张永清. 柏子仁本草考证[J]. 中成药, 2020, 42(8): 2133-2136.

[ 77 ] 陶弘景. 名医别录[M]. 尚志钧, 辑校. 北京: 中国中医药出版社, 2013.

[ 78 ] 韩维恒. 中药正别名集[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2006: 263-264.

[ 79 ] 陈嘉谟. 本草蒙筌[M]. 陆 拯, 赵法新, 校注. 北京: 中国中医药出版社, 2013: 125.

[ 80 ] 葛珈铭, 冯佳鑫, 赵 容, 等. 瓜子金的本草考证[J]. 亚太传统医药, 2019, 15(4): 71-74.

[ 81 ] 唐慎微. 重修政和经史证类备用本草(上)[M]. 陆 拯, 郑 苏, 傅 睿, 校注. 北京: 中国中医药出版社, 2013: 411.

[ 82 ] 李时珍. 《本草纲目》(新校注本)[M]. 刘衡如, 刘山永, 校注. 北京: 华夏出版社, 2013: 295.

[ 83 ] 陈仁山. 药物出产辨[M]. 广州: 朗明印刷社, 1930: 18.

能持八金灰、能蚀八矿灰元素组成分析

司鹏龙<sup>1,2</sup>, 周文斌<sup>2</sup>, 魏立新<sup>2</sup>, 班玛才仁<sup>3</sup>, 索南拉毛<sup>2,4</sup>, 肖远灿<sup>1,2\*</sup>  
(1. 青海大学药学院, 青海 西宁 810016; 2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海省藏药药理学和安全性评价研究重点实验室, 青海 西宁 810008; 3. 金诃藏药股份有限公司, 青海 西宁 810008; 4. 青海大学藏医学院, 青海 西宁 810016)

**摘要:** **目的** 分析藏药佐太主要炮制辅料能持八金灰、能蚀八矿灰元素组成。**方法** 采用不同混合酸微波消解样品, ICP-MS 法测定 39 种矿质元素含量。**结果** 金灰、银灰、铁灰、锌灰、锡灰、铅灰中主要元素(含量)分别为 Au (75.42%)、Ag (43.49%)、Fe (43.83%)、Zn (43.64%)、Sn (47.08%)、Pb (35.40%), 青铜灰中分别为 Cu (48.93%)、Sn (0.97%)、Pb (2.90%), 黄铜灰中分别为 Cu (33.86%)、Zn (15.67%)、Pb (0.97%), 红铜灰中以 Cu (61.26%) 为主, 七矿灰中以 Fe (30.32%)、S (22.43%)、As (4.99%) 为主, 云母灰中以 Fe (5.12%)、Al (4.72%)、Mg (3.07%) 为主。样品中还含有多种微量元素和稀土元素。**结论** 该方法准确可靠, 可为佐太炮制辅料质量标准的提升提供方法依据与数据参考。

**关键词:** 能持八金灰; 能蚀八矿灰; 佐太; 元素; 组成分析; ICP-MS

**中图分类号:** R284.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-1528(2026)01-0326-07

**doi:**10.3969/j.issn.1001-1528.2026.01.047

收稿日期: 2025-09-17  
基金项目: 国家重点研发计划(2024YFC3505600); 金诃藏药股份有限公司合作项目(22024001)  
作者简介: 司鹏龙(1998—), 男, 硕士生, 从事药物分析及其安全性评价研究。E-mail: plsi2024@163.com  
\*通信作者: 肖远灿(1980—), 男, 博士, 副研究员, 从事药物分析及其安全性评价研究。E-mail: ycxiao@nwipb.cas.cn

佐太作为藏药中极具代表性的重要药物，被誉为“藏药母本”，具有解毒增效<sup>[1]</sup>、抗抑郁<sup>[2]</sup>、抗衰老<sup>[3]</sup>等药理作用，用于配制多种名贵珍宝类藏药<sup>[4]</sup>。能持八金灰和能蚀八矿灰是佐太炮制过程中的主要辅料，对佐太有“增效减毒”作用，提高八金八矿的比例能显著增强其药效<sup>[5]</sup>。其中，能持八金指能“持”（增强）佐太药效的 8 种金属（金、银、铁等），能蚀八矿指可“蚀”（降低）水银毒性的 8 种矿物（银矿石、黄铁矿、磁石等）<sup>[6-7]</sup>。

李岑等<sup>[8-9]</sup>采用能谱分析（EDX）对八金灰、八矿灰中主要元素组成与含量进行分析，除其本身所含的金属元素外，还含有大量其他元素，而热增才旦等<sup>[10]</sup>采用 ICP-MS 法分析佐太及其辅料中无机元素组成，但上述研究中采用的 EDX 半定量分析与单一消解溶剂体系难以实现复杂基体中多元素的有效溶出及准确测定。此外，佐太及其原辅料质量标准<sup>[11]</sup>中仅有八金灰、八矿灰中部分主要元素的含量测定方法及最低限量要求，未涉及其炮制成灰过程中所引入其他元素的组成与含量。本研究建立能持八金灰、能蚀八矿灰消解体系和元素组成的 ICP-MS 分析方法，以期对佐太及其炮制辅料质量控制标准的提升提供参考。

## 1 材料

1.1 仪器 Nexion 350D 电感耦合等离子体质谱仪（美国 Perkin Elmer 公司）；BSA224S 电子天平（万分之一，德国赛多利斯公司）；MASTER 高通量微波消解仪、ECH-20 微机控温电热板（上海新仪微波化学科技有限公司）；超纯水系统（美国 Millipore 公司）。

1.2 试剂 银 [GBW (E) 080116]、锡 [GBW (E) 080546]、铅 (GBW08619)、砷 [GBW (E) 080125]、镉 (GBW08612)、锌 (GBW08620)、铁 [GBW (E) 081585]、铜 (GBW08615)、铬 (GBW08614)、钼 [GBW (E) 080218]、钒 [GBW (E) 080216]、锆 [GBW (E) 080242]、钡 [GBW (E) 080243]、钴 [GBW (E) 080120]、铝 [GBW (E) 080219]、钛 (BW3014)、镁 [GBW (E) 080126]、镍 [GBW (E) 080618]、锰 [GBW (E) 080517]、硫 (BW3180)、钾 [GBW (E) 080125]、钠 [GBW (E) 080127] 元素标准溶液 (100 μg/mL，中国计量科学研究院)；对照物质 Au (215125002，1 000 μg/mL) 及 Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、

Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Th (220025121，10 μg/mL)（纯度 > 98%，美国 AccuStandard 公司）。调谐溶液为 Be、Ce、Fe、In、Li、Mg、Pb、U 的混合标准溶液 (1 μg/L，美国 Perkin Elmer 公司)。硝酸 (UPS 级，晶瑞电子材料股份有限公司)；盐酸 (优级纯，四川西陇科学有限公司)；高氯酸、氢氟酸 (优级纯，国药集团化学试剂有限公司)；水为超纯水 (自制)。

1.3 样品 所用样品均来自金河藏药股份有限公司，包括能持八金灰中的金灰、银灰、铅灰、锌灰、锡灰、铁灰、青铜灰、红铜灰、黄铜灰，以及能蚀八矿灰中的云母灰和七矿灰。

## 2 方法

### 2.1 溶液制备

2.1.1 标准工作储备液 精密吸取各元素标准溶液适量，5% 硝酸配制，即得，其中 Au、Pb、Zn、Mg、Ni、Mn、S、K、Na、Cr、Cd 质量浓度均为 10 μg/mL，Ag、Sn、As、Fe、Cu、Mo、V、Sr、Ti、Ba、Co、Al、Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Th 质量浓度均为 1 μg/mL。

2.1.2 系列标准工作溶液 精密吸取“2.1.1”项下标准工作储备溶液适量，5% 硝酸配制，即得，其中 Cu、Zn、As、Ag、Sn、Au、Pb 质量浓度分别为 100、50、20、10、5、2、1 ng/mL，Al、Ti、V、Mn、Co、Cr、Ni、Sr、Mo、Cd、Ba、Na、Mg、K 质量浓度分别为 100、50、20、10、5、2、1、0.5 ng/mL，Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Th 质量浓度分别为 50、20、10、5、2、1、0.5、0.2 ng/mL。

取 S 对照品溶液适量，5% 硝酸稀释并定容至 100 mL 量瓶中，制得质量浓度分别为 0、5、10、20、50、100 ng/mL 的溶液，即得。

取 Fe 对照品溶液适量，5% 硝酸稀释并定容至 100 mL 量瓶中，制成质量浓度分别为 0、1、2、5、10、20、50、100 ng/mL 的溶液，即得。

2.1.3 内标溶液 精密量取混合内标元素标准溶液 (Li、Sc、Ge、Y、In、Tb、Bi) 适量，2% 硝酸稀释至 30 ng/mL，即得。另外，进样测定标准工作溶液、供试品溶液时均通过蠕动泵在线等比例引入内标溶液，实现实时内标校准。

2.1.4 供试品、空白对照溶液 能持八金灰和能蚀八矿灰在炮制成灰后过筛，精密称取粉末各 50 mg，60 ℃ 烘箱中干燥 2 h，置于聚四氟乙烯微波消

解罐中<sup>[12]</sup>，金灰、七矿灰中加入 2 mL 王水、1 mL 高氯酸和 1 mL 氢氟酸，银灰、铅灰中加入 2 mL 硝酸和 1 mL 高氯酸，锌灰、青铜灰、红铜灰、黄铜灰、云母灰中加入 2 mL 硝酸、1 mL 高氯酸和 1 mL 氢氟酸，锡灰中加入 2 mL 硝酸和 1 mL 氢氟酸，铁灰中加 2 mL 王水，加盖密封静置过夜。次日将样品按表 1 程序进行消解，120 ℃赶酸 40 min，溶液冷却少量超纯水洗涤 3~4 次，合并洗液并转移至 50 mL 量瓶中，定容后逐级稀释 10 000 倍，即得供试品溶液。同法制备空白对照溶液。

表 2 ICP-MS 参数

模式	元素	内标	辅助气	辅助气体积流量/ (mL·min <sup>-1</sup> )
KED	<sup>63</sup> Cu、 <sup>118</sup> Sn、 <sup>75</sup> As、 <sup>107</sup> Ag、 <sup>56</sup> Fe、 <sup>66</sup> Zn、 <sup>197</sup> Au、 <sup>208</sup> Pb	<sup>72</sup> Ge、 <sup>115</sup> In、 <sup>209</sup> Bi	氦气	1.5
KED	<sup>27</sup> Al、 <sup>47</sup> Ti、 <sup>51</sup> V、 <sup>55</sup> Mn、 <sup>59</sup> Co、 <sup>53</sup> Cr、 <sup>60</sup> Ni、 <sup>88</sup> Sr、 <sup>98</sup> Mo、 <sup>111</sup> Cd、 <sup>138</sup> Ba、 <sup>23</sup> Na、 <sup>24</sup> Mg、 <sup>39</sup> K	<sup>45</sup> Sc、 <sup>89</sup> Y、 <sup>115</sup> In	氦气	1.5
STD	<sup>89</sup> Y、 <sup>139</sup> La、 <sup>140</sup> Ce、 <sup>141</sup> Pr、 <sup>142</sup> Nd、 <sup>152</sup> Sm、 <sup>153</sup> Eu、 <sup>158</sup> Gd、 <sup>159</sup> Tb、 <sup>164</sup> Dy、 <sup>165</sup> Ho、 <sup>166</sup> Er、 <sup>169</sup> Tm、 <sup>174</sup> Yb、 <sup>175</sup> Lu、 <sup>232</sup> Th	<sup>209</sup> Bi	—	—
DRC	<sup>48</sup> (SO)	—	氧气	0.9

3 结果

3.1 方法学考察

3.1.1 线性关系考察 以矿质元素溶液质量浓度为横坐标 (X)，待测元素、内标元素计数比值为纵坐标 (Y) 进行回归，空白样品连续进样 11 次后，以 3 倍标准偏差所对应的质量浓度为检测限，结果见表 3，可知各元素在各自范围内线性关系良好。

3.1.2 精密度试验 取 2 ng/mL Cu、Zn、As、Ag、Sn、Au、Pb 对照品溶液，50 ng/mL Al、Ti、V、Mn、Co、Cr、Ni、Sr、Mo、Cd、Ba、Na、Mg、K 对照品溶液，2 ng/mL Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Th 对照品溶液，20 ng/mL Fe 对照品溶液，50 ng/mL S 对照品溶液适量，在“2.2”项条件下进样测定 6 次，测得各元素含量 RSD 在 0.58%~3.53% 范围内，表明仪器精密度良好，见表 3。

3.1.3 重复性试验 精密称取样品粉末 50 mg，按“2.1.4”项下方法平行制备 6 份供试品溶液，在“2.2”项条件下进样测定，测得各元素含量 RSD 为 0.54%~4.82%，表明该方法重复性良好，同时各样品中水分含量均小于 0.2%，满足分析要求，见表 3。

3.1.4 稳定性试验 取“2.1.4”项下供试品溶液适量，于 0、24、48、96 h 在“2.2”项条件下进样测定，测得各元素含量 RSD 均小于 5%，表明溶液在 96 h 内稳定性较好，见表 3。

表 1 微波消解程序

步骤	时间/min	温度/℃	功率/W
1	4	130	1 200
2	5	150	1 200
3	8	150	1 200
4	5	180	1 200
5	10	180	1 200

2.2 分析条件 射频发生器功率 1 200 W；雾化器体积流量 0.79 L/min；驻留时间 50 ms；读数延迟时间 15 s；扫描方式跳峰，次数 20 次，重复 3 次；蠕动泵转速 24 r/min。其他参数见表 2。

3.1.5 加样回收率试验 精密称取样品粉末 6 份，每份 50 mg，加入适量标准工作储备液，按“2.1.4”项下方法制备供试品溶液，在“2.2”项条件下进样测定，计算回收率，结果见表 3。

3.2 样品含量测定和组成特征分析 能持八金灰、能蚀八矿灰富含主要矿质元素，还检测出 S、As、Na、K 等多种炮制辅料带入的元素，以及 La、Ce、Nd 等含量极低的稀土元素，其种类丰富，组成复杂。其中，金灰中 Au 含量为 75.42%，S 含量为 9.31%，Pb、As 含量分别为 3.35%、2.33%，K、Mg、Ba、Mn、Co 等元素含量均低于 1%；银灰中 Ag 含量为 43.49%，S、Al 含量分别为 17.32%、19.53%，Pb、As 含量分别为 0.76%、3.67%，还伴有 Na、K、Mg、Mn、Co、Sr 等低含量元素；铅灰以 Pb 为主，含量为 35.40%，S 含量为 25.41%，Cu 含量为 3.02%，其他元素含量均不超过 1%；锌灰中 Zn 含量为 43.64%，S 含量为 24.03%，As 含量为 4.32%，Fe、Al、Na、Mg、K 等元素含量均较低；锡灰中 Sn 含量为 47.08%，Pb、Al、Na、Mg、K 含量均在 1% 以下，另含少量 Mo、Co、Cr、Ni、Mn 等元素；铁灰中 Fe 为主要元素，含量为 43.83%，S 含量为 42.00%，Pb、Al、Na、Mg、K 含量均低于 0.5%。

青铜灰中以 Cu (48.93%)、Sn (0.97%)、Pb(2.90%)、Ni (0.27%) 为主，还含有 S (19.84%)、As(0.43%)等其他元素。黄铜灰中以 Cu (33.86%)、Zn (15.67%)、Pb (0.97%) 为主，S 含量为

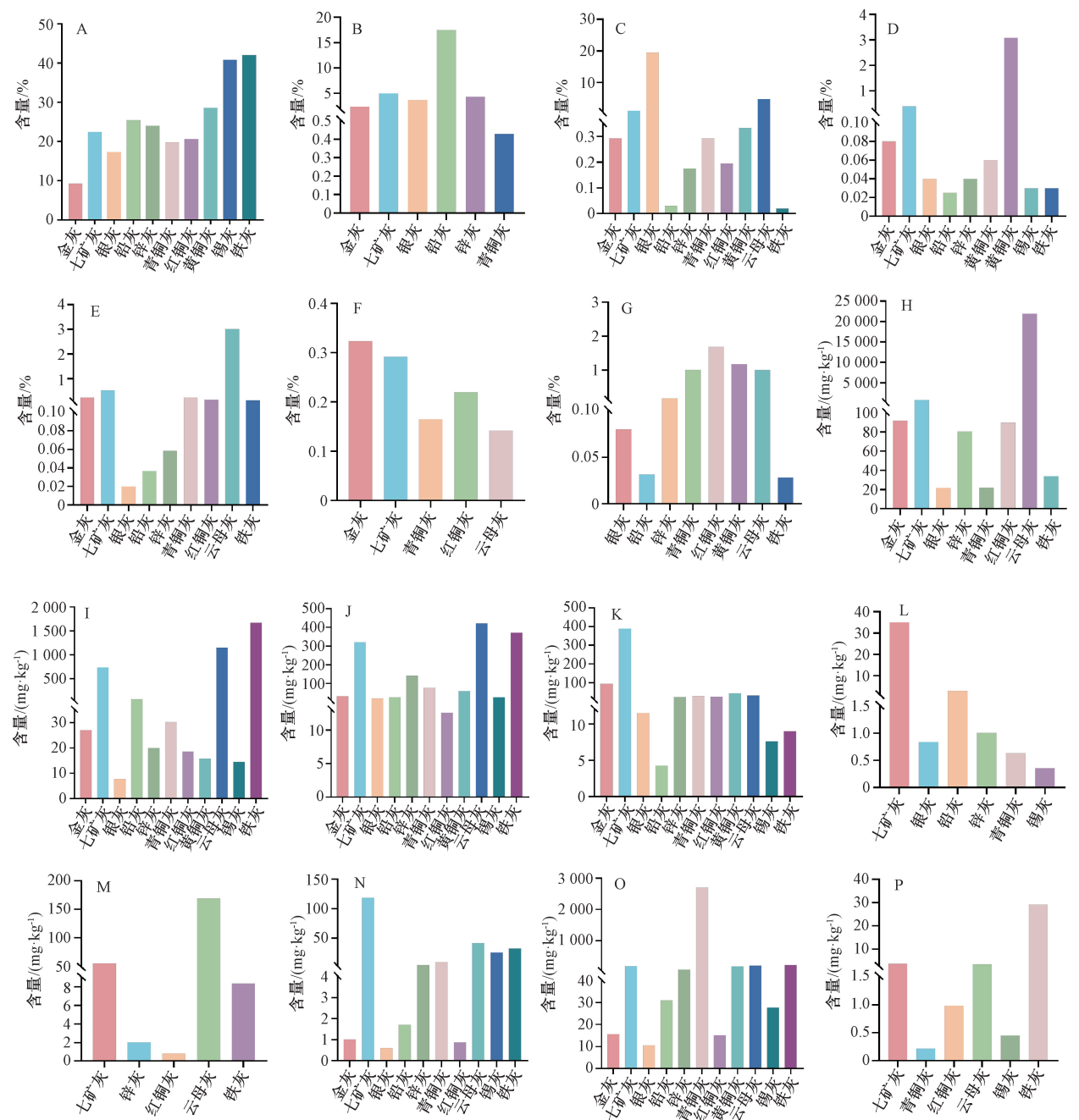
表 3 各元素方法学考察结果

元素	回归方程	$r$	线性范围/ (ng·mL <sup>-1</sup> )	检出限/ (ng·mL <sup>-1</sup> )	精密度 RSD/%	重复性 RSD/%	稳定性 RSD/%	加样回收率 (RSD)/%
<sup>63</sup> Cu	$Y=0.031X+0.009$	0.999 9	1~100	0.03	2.27	0.88	1.23	99.24(2.89)
<sup>118</sup> Sn	$Y=0.005X+0.001$	0.999 9	1~100	0.03	1.12	3.57	0.26	98.31(0.54)
<sup>75</sup> As	$Y=0.008X+0.001$	0.999 9	1~100	0.04	3.33	1.75	0.87	101.32(0.47)
<sup>107</sup> Ag	$Y=0.005X+0.001$	0.999 9	1~100	0.06	1.59	2.53	1.44	99.26(1.28)
<sup>50</sup> S	$Y=18X-84$	0.999 5	5~100	1.70	1.13	2.13	2.21	97.82(3.29)
<sup>56</sup> Fe	$Y=191X+1302$	0.998 6	1~100	0.10	3.28	0.98	3.05	100.56(3.07)
<sup>66</sup> Zn	$Y=0.007X+0.086$	0.993 2	1~100	0.16	3.37	2.29	2.84	98.72(2.91)
<sup>197</sup> Au	$Y=0.005X+0.001$	0.999 9	1~100	0.01	1.48	0.88	0.54	97.65(1.52)
<sup>208</sup> Pb	$Y=0.012X+0.014$	0.999 8	1~100	0.02	1.24	2.63	1.01	102.31(0.61)
<sup>27</sup> Al	$Y=0.001X+0.011$	0.993 1	1~100	3.14	2.08	3.67	2.67	100.38(3.67)
<sup>47</sup> Ti	$Y=0.026X$	0.999 9	1~100	0.24	2.35	3.39	0.51	100.46(1.23)
<sup>51</sup> V	$Y=0.008X-0.005$	0.999 9	1~100	0.07	1.24	3.85	1.56	100.30(2.43)
<sup>55</sup> Mn	$Y=0.006X-0.004$	0.999 9	1~100	0.15	2.08	1.51	0.82	103.56(0.48)
<sup>59</sup> Co	$Y=0.016X-0.005$	0.999 9	1~100	0.02	0.85	0.68	0.74	101.63(0.97)
<sup>53</sup> Cr	$Y=0.001X+0.008$	0.996 1	1~100	0.48	1.37	1.72	1.38	98.21(0.61)
<sup>60</sup> Ni	$Y=0.005X-0.005$	0.999 7	1~100	0.09	1.22	1.26	2.56	97.49(2.35)
<sup>88</sup> Sr	$Y=0.001X-0.001$	0.999 9	1~100	0.13	1.09	2.34	0.29	99.71(3.74)
<sup>98</sup> Mo	$Y=0.006X-0.008$	0.999 8	1~100	0.07	0.86	2.73	2.44	96.83(0.79)
<sup>111</sup> Cd	$Y=0.002X-0.001$	0.999 7	1~100	0.06	2.10	1.72	3.01	103.56(3.54)
<sup>138</sup> Ba	$Y=0.023X+0.02$	0.999 9	1~100	0.20	0.72	3.55	3.68	99.34(4.20)
<sup>23</sup> Na	$Y=0.047X+0.782$	0.992 9	1~100	1.49	2.87	0.54	0.78	96.75(3.81)
<sup>24</sup> Mg	$Y=0.009X+0.052$	0.998 0	1~100	1.65	2.98	1.03	3.56	98.73(3.65)
<sup>39</sup> K	$Y=0.990X+0.011$	0.998 8	1~100	2.05	1.80	2.47	2.60	99.86(4.56)
<sup>89</sup> Y	$Y=0.194X+0.001$	0.999 9	0.2~50	0.010	3.53	2.02	0.86	104.37(2.81)
<sup>139</sup> La	$Y=0.180X+0.01$	0.999 9	0.2~50	0.004	2.37	3.98	0.41	102.17(0.58)
<sup>140</sup> Ce	$Y=0.175X+0.016$	0.999 7	0.2~50	0.683	3.18	1.08	2.56	96.76(1.64)
<sup>141</sup> Pr	$Y=0.254X$	0.999 9	0.2~50	0.001	1.94	4.15	1.32	103.89(0.76)
<sup>142</sup> Nd	$Y=0.094X+0.003$	0.999 9	0.2~50	0.671	2.23	3.43	2.41	100.49(0.62)
<sup>152</sup> Sm	$Y=0.079X+0.001$	0.999 9	0.2~50	0.019	0.73	3.76	0.87	98.74(1.44)
<sup>153</sup> Eu	$Y=0.157X+0.003$	0.999 9	0.2~50	0.009	1.76	2.92	1.27	99.25(2.06)
<sup>158</sup> Gd	$Y=0.074X+0.001$	0.999 9	0.2~50	0.017	2.19	4.04	2.81	103.24(3.25)
<sup>159</sup> Tb	$Y=0.296X-0.002$	0.999 9	0.2~50	0.001	2.92	4.29	3.46	96.76(2.31)
<sup>164</sup> Dy	$Y=0.095X$	0.999 9	0.2~50	0.002	1.44	4.40	1.89	98.65(3.54)
<sup>165</sup> Ho	$Y=0.302X+0.001$	0.999 9	0.2~50	0.002	1.50	2.19	2.08	102.83(0.97)
<sup>166</sup> Er	$Y=0.103X+0.001$	0.999 9	0.2~50	0.006	1.00	4.82	1.54	97.43(1.28)
<sup>169</sup> Tm	$Y=0.314X$	0.999 9	0.2~50	0.001	0.58	3.87	0.83	101.62(1.09)
<sup>174</sup> Yb	$Y=0.107X+0.001$	0.999 9	0.2~50	0.002	1.36	3.91	1.43	95.33(0.99)
<sup>175</sup> Lu	$Y=0.303X-0.001$	0.999 9	0.2~50	0.001	1.02	2.05	1.21	100.80(1.32)
<sup>232</sup> Th	$Y=0.161X-0.004$	0.999 8	0.2~50	0.001	3.13	2.80	0.92	97.83(1.45)

28.59%，还含有 Al、Na、Mg 等矿质元素。红铜灰中 Cu 含量为 61.26%，还含有 S (20.65%)、Pb (0.61%)、Al (0.20%)、Na (1.69%)、Ni (15.16 mg/kg) 等元素。红铜灰中 Cu 含量最高，黄铜灰中 S 含量最高，青铜灰中 Pb 含量最高。Ba 在青铜灰、红铜灰中的含量分别为 1.70%、0.22%。只有青铜灰中检出 Sn (0.97%) 和 As (0.43%)。Mg 只在黄铜灰中检出，含量为 0.06%。此外，铜灰类样品中普遍伴有 Mn、Cr、Ti、Ni、Sr 等元素和极低含量的稀土元素。

在能蚀八矿灰中，七矿灰表现出典型的多金属复合矿物特征，其主要元素为 Fe (30.32%)、S (22.43%)、Cu(3.35%)、Sn(1.35%)、Zn(1.94%)，而 Pb、Na、K、Mg 等元素含量均低于 1%，同时检测出 Mo、Co、Cr、Ni、Mn、Ti、Cd 等多种矿质元素和含量较低的稀土元素。云母灰以 Cu、Al、Mg、K 为主要元素，并且表现出较高的稀土元素富集特征，如 Nd、Ce、La、Gd 等含量高于其他样品。见图 1、表 4~5。





注：A~P 分别为 S、As、Al、Mg、K、Ba、Na、Ti、Mn、Cr、Sr、Cd、V、Co、Ni、Mo。

图 1 能持八金灰、能蚀八矿灰中次要元素含量

表 4 主要元素含量测定结果 (%)

元素	金灰	银灰	铅灰	锌灰	锡灰	铁灰	青铜灰	红铜灰	黄铜灰	七矿灰	云母灰
Au	75.42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03
Ag	—	43.49	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cu	—	—	3.02	—	1.60	—	48.93	61.26	33.86	3.35	—
Fe	—	—	0.96	—	1.02	43.83	—	—	—	30.32	5.12
Sn	—	—	—	—	47.08	—	0.97	—	—	1.35	0.01
Pb	3.35	0.76	35.40	0.19	0.55	0.19	2.90	0.61	0.97	0.87	0.09
Zn	4.75	—	—	43.64	—	—	—	—	15.67	1.94	—

表 5 稀土元素含量测定结果 (mg/kg)

元素	金灰	银灰	铅灰	锌灰	锡灰	铁灰	青铜灰	红铜灰	黄铜灰	七矿灰	云母灰
Y	0.99	0.11	0.07	0.44	—	0.16	0.37	1.52	2.43	0.43	9.68
La	0.98	0.10	0.09	0.42	0.55	0.27	0.48	1.52	2.15	0.23	22.61
Ce	—	0.14	—	0.81	46.91	0.50	1.78	—	284.56	—	—
Pr	0.20	—	0.02	—	0.26	—	0.25	0.36	—	0.19	4.29
Nd	42.33	1.32	0.50	0.50	10.74	0.25	0.61	69.02	75.65	—	104.73
Sm	—	0.01	—	0.09	—	—	1.92	1.05	—	—	3.60
Eu	—	—	—	—	—	—	1.16	0.55	—	—	1.54
Gd	5.15	0.02	0.02	—	—	—	0.25	11.61	15.89	—	20.07
Tb	0.01	—	—	—	—	—	0.18	—	—	0.07	0.32
Dy	—	0.01	—	—	—	—	—	—	0.48	0.31	1.28
Ho	0.02	—	—	—	—	—	0.19	—	—	0.09	0.30
Er	—	—	0.02	—	—	—	0.23	1.64	2.03	—	2.29
Tm	—	—	0.02	—	—	—	0.20	—	—	0.07	—
Yb	—	—	0.03	—	—	—	0.23	0.22	—	0.20	—
Lu	—	—	0.02	—	—	—	0.19	—	—	0.07	—
Th	0.15	—	—	0.15	—	—	0.17	0.50	0.95	—	3.98

4 讨论

4.1 消解体系建立与优化 本研究曾采用王水体系和 HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 体系<sup>[10]</sup>对样品进行消解,但发现王水体系对铅灰、锡灰、银灰及云母灰的效果差,锡灰消解液中未检出 Sn; HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 体系中金灰和七矿灰也未能完全消解,在金灰中未检测出 Au。因此,本研究参照 GB/T20899.65-2023<sup>[13]</sup>、GB/T4103.18-2024<sup>[14]</sup>、GB/T6370.72-2016<sup>[15]</sup>、GB/T3884.18-2023<sup>[16]</sup>、GB/T3260.11-2023<sup>[17]</sup>、GB/T8151.20-2012<sup>[18]</sup>、GB/T43901-2024<sup>[19]</sup>等相关国家标准建立了不同的消解体系,实现了对复杂基质条件下难溶重金属元素的消解。

4.2 ICP-MS 检测方法优化 本研究针对 Y、La、Ce 等检测中不易受同位素干扰的稀土元素,采用 STD 模式<sup>[20]</sup>; Cu、As、Ag 等易受同位素干扰的低质量数元素采用 KED 模式,并对氦气体积流量进行优化<sup>[21]</sup>;采用 DRC 模式对 S 进行有效测定,引入 O<sub>2</sub> 作为反应气体,将<sup>32</sup>S 转化为<sup>48</sup>(SO),减少了测定过程的干扰,提升了其含量检测的准确性<sup>[22]</sup>。

4.3 未检出 B 原因分析 金灰、银灰、锡灰、黄铜灰等炮制过程中都加入了大量硼砂,但本研究未检测出 B,其原因可能是硼砂 (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · 10H<sub>2</sub>O) 在高温 (温度超过 1 000 ℃) 炮制过程中发生了热分解和挥发,造成残留于炮制品中的该元素很少。此外,在消解过程,特别是赶酸过程中 B

可能进一步挥发散失,导致在各灰样中均检测不出。

4.4 研究结果比较 李岑等<sup>[8-9]</sup>采用 EDX 等技术对八金灰、八矿灰中的元素进行分析,与本研究结果有很大差异,其原因可能是样品来源不同,并且 EDX 是一种半定量检测技术,导致其分析结果与 ICP-MS 存在差异。此外,热增才旦等<sup>[10]</sup>研究表明,所测样品中均存在 Au、Ag、Cu 等元素,但本研究未发现 Au、Ag 出现在除金灰、银灰以外的样品中,可能与其在制备过程中使用同一炮制器皿而造成交叉污染有关。

4.5 八金灰、八矿灰对佐太的增效作用分析 含佐太的珍宝类药物可医治隆病、赤巴病、培根病等疾病,对于头部、胸腔外伤等重大疾病均能根除<sup>[23]</sup>。八金灰和八矿灰作为珍宝类药物,金灰用于延年益寿、解毒增效,银灰、锡灰、锌灰、铅灰用于祛腐生肌、敛脓止血,铁灰、青铜灰、红铜灰用于排脓养肺、明目疗疮,七矿灰、云母灰用于解毒消肿、愈伤解毒<sup>[24-25]</sup>。能持八金灰与能蚀八矿灰富含金、银、稀土元素等物质,是八金八矿的物质基础,增加其比例可提高佐太质量<sup>[26]</sup>,使后者延年益寿、祛腐生肌等功效得到增强<sup>[27]</sup>。

4.6 研究局限性 由于客观原因,本研究中每种灰样只收集到 1 批样品,主要是由于能持八金灰、能蚀八矿灰用量在佐太炮制时极少,生产单位的炮

制批次亦有限，此外它们除作为佐太炮制辅料外不单独应用，价格昂贵。但本研究所用的样品来自生产佐太的知名藏药企业，具有很强的代表性，所得数据具有较高的参考价值。在后续工作中，课题组还将收集更多批次样品，对佐太质量进行深入研究。

### 5 结论

本研究为佐太炮制辅料能持八金灰、能蚀八矿灰的元素组成分析与质量标准提升提供了操作方法与数据参考，也为该藏药在传统炮制过程中八金增效、八矿解毒的理解提供了科学依据。

### 参考文献：

[ 1 ] Liu J, Zhang F, Ravikanth V, *et al.* Chemical compositions of metals in Bhasmas and Tibetan Zuotai are a major determinant of their therapeutic effects and toxicity[J]. *Evid Based Compl Alt*, 2019, 2019: 1697804.

[ 2 ] Qiao Y J, Chen H X, Guo J, *et al.* A study on the effects of metacinnabar (  $\beta$ -HgS ) on weight and appetite recovery in stressed mice[J]. *J Ethnopharmacol*, 2024, 335: 118663.

[ 3 ] Liu J, Lu Y F, Li W K, *et al.* Mercury sulfides are much less nephrotoxic than mercury chloride and methylmercury in mice[J]. *Toxicol Lett*, 2016, 262: 153-160.

[ 4 ] Liu J, Wei L X, Wang Q, *et al.* A review of cinnabar (HgS) and/or realgar (  $As_4S_4$  )-containing traditional medicines[J]. *J Ethnopharmacol*, 2018, 210: 340-350.

[ 5 ] 措如·次郎.珍贵藏药配制法实践记录[M]. 拉萨：西藏人民出版社，2012：126.

[ 6 ] 仲泽拉尊·仁钦嘉措.仲泽藏药实践明论[M]. 北京：民族出版社，2005：261.

[ 7 ] 李文兵，群培，蔡晓霞，等. 基于质量守恒定律的藏药佐塔质量控制研究[J]. 中草药，2021，52(6)：1608-1613.

[ 8 ] 李 岑，多 吉，占 堆，等. 藏药佐太的炼制配方原料“能持八金”灰的化学成分与结构分析[J]. 中国中药杂志，2012，37(13)：1952-1957.

[ 9 ] 李 岑，索 朗，泽 戈，等. 藏药佐太炼制辅料能持八矿灰的化学成分和结构分析[J]. 药物分析杂志，2011，31(12)：2220-2224.

[10] 热增才旦，热毛先，周加本，等. 佐太及其主要辅料中无机元素分析[J]. 中成药，2021，43(5)：1253-1258.

[11] 青海省藏药“佐太”及原辅料质量标准[S]. 2024.

[12] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：2025 年版四部[S]. 北京：中国医药科技出版社，2025.

[13] 金矿石化学分析方法第 15 部分：铜、铅、锌、银、铁、锰、镍、钴、铝、铬、镉、铋、砷、汞、硒、钨和铍含量的测定电感耦合等离子体质谱法[S]. 2023.

[14] 铅及铝合金化学分析方法第 18 部分：银、铜、铋、砷、铋、锡、锌、铁、镉、镍、镁、铝、钙、硒和碲含量的测定电感耦合等离子体质谱法[S]. 2024.

[15] 铁矿石砷、铬、镉、铅和汞含量的测定电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）[S]. 2016.

[16] 铜精矿化学分析方法第 18 部分：砷、铋、铋、铅、锌、镍、镉、钴、铬、氧化铝、氧化镁、氧化钙含量的测定电感耦合等离子体原子发射光谱法[S]. 2023.

[17] 锡化学分析方法第 11 部分：铜、铁、铋、铅、铋、砷、铝、锌、镉、银、镍和钴含量的测定电感耦合等离子体原子发射光谱法[S]. 2023.

[18] 锌精矿化学分析方法第 20 部分：铜、铅、铁、砷、镉、铋、钙、镁量的测定电感耦合等离子体原子发射光谱法[S]. 2012.

[19] 镍铁砷、锡、铋、铅和铋含量电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）[S]. 2024.

[20] 冉金凤，李俊婕，王小兵，等. 电感耦合等离子体质谱（ICP-MS）法测定黄精中 15 种稀土元素及其指纹图谱绘制[J]. 中国无机分析化学，2023，13(3)：286-292.

[21] 罗益远，王 娟，陈宏降，等. 不同产地、不同部位乌药中 31 种无机元素测定及初步风险评估[J]. 药物分析杂志，2022，42(3)：424-432.

[22] 龚子珊. 电感耦合等离子体质谱生物样品基质效应和分析方法的研究[D]. 天津：天津大学，2020.

[23] 宇妥·元丹贡布.四部医典[M]. 上海：上海科学技术出版社，1987：280.

[24] 蒂玛尔·丹增彭措. 晶珠本草[M]. 北京：北京民族出版社，2005：92-104.

[25] 群培，李文兵，次旦多吉，等. 佐塔炮制历史沿革及现代研究进展[J]. 中成药，2025，47(4)：1252-1258.

[26] 索南拉毛，豆改杰，扎西卓玛，等. 藏药佐太“解毒”功效的文献考证及其“解毒”的藏医药原理解析[J]. 世界科学技术-中医药现代化，2025，27(5)：1343-1350.

[27] 公确卓彭旺卜. 水银洗炼法笔记·隐情明晰.青海省藏医药研究院汇编. 水银炼制及珍宝药配制文献汇集（上册）[M]. 北京：民族出版社，2022：58-60.