

# 茜草生品和炮制品中无机元素含量差异研究



赵端玮, 张明童, 刘志荣

甘肃省药品检验研究院, 中药材及饮片质量控制重点实验室 (兰州 730070)

**【摘要】目的** 通过测定茜草生品及其炮制品内多种无机元素的含量, 研究茜草中无机元素的差异变化, 并运用多元统计分析方法, 实现对二者的准确区分。**方法** 利用微波消解技术对试验样品进行高效、均匀地前处理, 消解后的样品溶液采用电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 进行同步定量分析, 并在此基础上对所得无机元素的含量数据进行统计分析。采用层次聚类分析 (HCA)、主成分分析 (PCA) 和正交偏最小二乘法判别分析 (OPLS-DA) 对所有样本进行聚类 and 差异分析, 阐明茜草生品、炮制品与所测得无机元素之间的潜在联系。**结果** 测定得到 37 种无机元素, 其中 3 种未检出。配对  $t$  检验显示 58.8% 的元素含量差异显著; HCA 可明显区分两组样品, PCA 区分效果有限, OPLS-DA 模型拟合与预测能力良好, 最终筛选得到 16 种差异无机元素。**结论** 该方法可帮助准确区分茜草生品和炮制品, 为中草药的生品和炮制品的无机元素含量差异的研究提供了新的研究思路和方法。

**【关键词】** 茜草; 炮制品; 多元统计分析; 无机元素; 层次聚类分析; 主成分分析; 正交偏最小二乘法判别分析; 电感耦合等离子体质谱法

**【中图分类号】** R917

**【文献标识码】** A

## Study on differences in inorganic element contents between raw and processed *Rubia cordifolia*

ZHAO Duanwei, ZHANG Mingtong, LIU Zhirong

Gansu Institute of Drug Control, NMPA Key Laboratory for Quality Control of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730070, China

Corresponding author: LIU Zhirong, Email: lz\_r666@126.com

**【Abstract】Objective** To determine the contents of various inorganic elements in raw and processed *Rubia cordifolia*, analyze their differential changes, and distinguish them accurately using multivariate statistical analysis. **Methods** This method utilizes microwave digestion technology for efficient and uniform pretreatment of experimental samples. The digested sample solutions were then subjected to simultaneous quantitative analysis of 37 inorganic elements in both raw and processed *Rubia cordifolia* using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Statistical analysis was subsequently performed on the obtained data. Additionally, hierarchical cluster analysis (HCA), principal component analysis (PCA), and orthogonal partial least squares-discriminant analysis (OPLS-DA) were employed to conduct clustering and differential analysis of all samples, aiming to elucidate the potential relationships among raw *Rubia cordifolia*, its

DOI: 10.12173/j.issn.2097-4922.202601011

基金项目: 甘肃省药品监督管理局项目 (2025GSMPA009)

通信作者: 刘志荣, 硕士, 工程师, Email: lz\_r666@126.com

processed products, and the 37 inorganic elements. **Results** A total of 37 inorganic elements were analyzed, with 3 remaining undetected. Paired t-test revealed that 58.8% of the elements exhibited statistically significant differences in content. HCA enabled clear discrimination between the two sample groups, whereas the discriminative power of PCA was limited. The OPLS-DA model demonstrated robust fitting and predictive performance, leading to the final identification of 16 differential inorganic elements. **Conclusion** This method can facilitate the accurate differentiation between raw and processed *Rubia cordifolia*, providing new research ideas and approaches for studying the differences in inorganic element contents between raw and processed Chinese herbal medicines.

**【Keywords】** *Rubia cordifolia*; Processed products; Multivariate statistical analysis; Inorganic elements; Hierarchical clustering analysis; Principal component analysis; Orthogonal partial least squares-discriminant analysis; Inductively coupled plasma mass spectrometry

茜草 (*Rubia cordifolia*) 为茜草科多年生草本植物, 以其干燥根及根茎入药<sup>[1]</sup>。其味苦, 性寒, 主要归肝经, 具有凉血止血、活血祛瘀和通调经脉的功效。在临床上, 该药主要用于治疗血热妄行或瘀血阻滞所致的多种出血证, 如吐血、崩漏、衄血和外伤出血; 同时, 也可用于治疗由于瘀血内阻引起的经闭不行、关节痹痛以及跌打损伤所致的肿痛等症状<sup>[2]</sup>。茜草主要含有蒽醌类化合物及其衍生物, 这些成分具有抗菌、抗氧化和抗癌等活性<sup>[3-5]</sup>。茜草属植物在我国分布广泛, 存在同属植物混充茜草入药的情况<sup>[6]</sup>。茜草炭是茜草经炒炭炮制而成, 其寒性减弱、涩性增加、止血作用增强。在临床上, 茜草炭主要用于治疗多种出血病证, 其止血功效尤其适用于血痢、尿血、咯血以及崩漏等下部和上部出血表现<sup>[7]</sup>。

无机元素是茜草的重要组成部分, 其组成通常反映土壤组成情况、环境情况和营养情况。有研究表明, 茜草等止血类中药普遍含有丰富的无机元素, 且这些无机元素的含量与止血类中药的性味功能存在一定关联<sup>[8]</sup>, 茜草炒炭后止血作用增强可能与无机元素的变化有关。在炮制过程中, 高温处理 (炒焦、炒炭等)、辅料加入 (如酒、醋等)、加工工艺等因素可能会导致中药中无机元素的溶出度、含量及存在形态发生显著变化, 这种变化可作为区分中药生品与炮制品的潜在特征指标<sup>[9-10]</sup>。目前, 关于茜草的研究多集中于蒽醌类、萘醌类等有机活性成分的分离鉴定与药效关联分析, 而针对生品与炮制品中无机元素含量差异的系统研究较少<sup>[11]</sup>。茜草生品与炮制品的区分主要依赖经验性的外观性状辨别, 缺乏基于无机元素特征的生炮制品快速辨别方法, 这

在一定程度上影响了茜草临床用药的准确性与质量可控性。

为完善茜草的质量评价体系, 实现其生品与炮制品的精准区分, 从而保障临床用药安全与有效, 本研究以茜草生品及炮制品 (茜草炭) 为研究对象, 采用电感耦合等离子体质谱法 (inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS) 测定茜草炮制前后 37 种无机元素的含量, 并综合运用单因素方差分析、层次聚类分析 (hierarchical cluster analysis, HCA)、正交偏最小二乘法判别分析 (orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA) 以及主成分分析 (principal component analysis, PCA) 等多种统计方法, 对数据进行多维度解析, 以系统考察各组样本间的差异性与内在结构特征<sup>[12]</sup>。本文通过分析茜草炮制前后无机元素的变化, 筛选具有鉴别意义的特征元素, 建立基于无机元素含量差异的茜草生品和炮制品鉴别方法, 以期茜草的炮制工艺优化、质量控制标准制定及临床合理用药提供科学依据。

## 1 材料与仪器

### 1.1 主要仪器

ICP-MS-2030 型电感耦合等离子体质谱仪 (日本岛津公司); Multiwave 7000 型超级微波消解系统 (奥地利安东帕公司); ME204 型分析天平 (瑞士梅特勒-托利多公司)。

### 1.2 主要药品与试剂

本试验采用两种标准溶液: 一种为包含 36 种混合无机元素的标准溶液 (10  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 具体包括 As (砷)、Ag (银)、Bi (铋)、Ba (钡)、

Be (铍)、Cs (铯)、Cd (镉)、Cu (铜)、Ce (铈)、Co (钴)、Cr (铬)、Dy (镝)、Er (铒)、Eu (铕)、Gd (钆)、Ho (钬)、In (铟)、La (镧)、Lu (镱)、Li (锂)、Mn (锰)、Nd (钕)、Ni (镍)、Pb (铅)、Pr (镨)、Rb (铷)、Sc (钪)、Sr (锶)、Sm (钐)、Tb (铽)、Th (钍)、Tl (铊)、Tm (铥)、V (钒)、Y (钇)、Yb (镱)；另一种为汞 (Hg) 单元素标准溶液，浓度为 1 000  $\mu\text{g/mL}$ ，均由美国 Inorganic Ventures 公司提供；钛 ( $^{48}\text{Ti}$ )、铑 ( $^{103}\text{Rh}$ )、铼 ( $^{186}\text{Re}$ ) 混合内标溶液 (日本岛津公司，浓度：1 000  $\mu\text{g/mL}$ )；超高纯硝酸 (德国 Merck 公司)；超纯水 (实验室自制)。

试验用茜草样品来源均为茜草，其信息为：编号为 1~3 的茜草产地/收集地为陕西省渭南市，编号为 4~6 的茜草产地/收集地为陕西省宝鸡市，编号为 7~9 的茜草产地/收集地为陕西省咸阳市，编号为 10 的茜草产地/收集地为陕西省安康市。本研究用茜草原药材经由甘肃省药品检验研究院的马潇主任中药师进行鉴定，确认其为茜草科 (*Rubiaceae*) 茜草属 (*Rubia*) 植物茜草 (*Rubia cordifolia*) 干燥的根及根茎。其炮制品茜草炭的制备工作，由本实验室自行完成。

## 2 方法与结果

### 2.1 样品的前处理

茜草炭的炮制：首先去除杂质及残留茎部，快速冲洗干净；待药材润透后，立即切制成均匀段状并干燥。随后，使用武火将药物炒至表面焦黑、内部呈棕褐色时，立即向炒制容器内喷淋适量清水，以彻底熄灭火星，确保操作安全。最后，取出炮制完成的样品，室温冷却后备用<sup>[2]</sup>。

采用微波消解法对样品进行前处理：将茜草生品与炮制品分别充分粉碎，过 60 目尼龙筛，以确保样品粉末均匀细腻，符合后续分析要求。精确称取上述过筛粉末 0.25 g，置于专用石英消解罐中，依次加入 2.0 mL 硝酸和 1.0 mL 超纯水，混合均匀。将密封好的消解罐置于微波消解仪转盘上，按以下升温程序进行消解：0~5 min 内，微波功率线性升至 800 W；5~15 min，维持 800 W 恒定，确保样品受热均匀并充分反应；15~30 min，功率升至 1 200 W；30~50 min，保持 1 200 W；50~80 min，进行冷却。消解完成后，将消解罐中全部溶液转移至

25 mL 量瓶中，用 3% 硝酸溶液定容至刻度，混匀后备用。同法同步制备空白对照溶液，以消除背景干扰。

### 2.2 工作条件

ICP-MS 法主要工作参数设置如下：脉冲电压为 900 V，模拟电压为 -1 675 V。等离子体高频功率为 1.20 kW，等离子体气流量为 18.0 L/min。雾化器压力为 689.5 kPa，雾化室温度设定并维持在 5  $^{\circ}\text{C}$ ，以增强气溶胶的稳定性并减少溶剂蒸发带来的干扰。为维持等离子体稳定并优化样品导入效率，辅助气流量设为 0.80 L/min，载气流量控制在 0.86 L/min，采样深度固定为 5.0 mm。测定采用碰撞反应模式 (氦气)，碰撞气流速为 2.0 mL/min，积分时间为 5 s，重复测定 3 次。

### 2.3 溶液的制备

#### 2.3.1 混合内标溶液

精密量取  $^{48}\text{Ti}$ 、 $^{186}\text{Re}$ 、 $^{103}\text{Rh}$  3 种混合标准溶液各 20  $\mu\text{L}$ ，转移至 1 000 mL 量瓶中，用 3% 硝酸溶液稀释并定容，配制成质量浓度为 20 ng/mL 的混合内标溶液。

#### 2.3.2 混合标准储备液

精密量取 36 种元素混合标准溶液和 Hg 单元素标准溶液适量，用 3% 硝酸制得 36 种元素浓度为 1、5、10、20、50、100、200、500  $\mu\text{g/L}$ ，Hg 元素浓度为 0、0.1、0.2、0.5、0.8、1、2、5  $\mu\text{g/L}$  的系列标准混合溶液。用 3% 硝酸作为空白溶液。

### 2.4 方法学考察

#### 2.4.1 线性关系、检出限与定量限

取系列混合无机元素溶液，按“2.2”项下条件进行测定。以各无机元素标准溶液的质量浓度作为横坐标 ( $X$ ,  $\mu\text{g/L}$ )、待测元素信号强度与内标元素信号强度的比值作为纵坐标 ( $Y$ )，绘制标准曲线。以空白溶液强度值 3 倍和 10 倍对应的质量浓度分别作为检出限和定量限。结果见表 1。

#### 2.4.2 精密度试验

取混合标准溶液 (Hg 浓度为 1  $\mu\text{g/L}$ ，其余元素浓度均为 50  $\mu\text{g/L}$ ) 适量，按“2.2”项下条件连续测定 6 次，计算得各元素浓度的 RSD 在 1.7%~4.8% 范围内 ( $n=6$ )，结果表明该仪器精密度良好。

表1 37种无机元素的线性关系及检出限、定量限

Table1. Linear relationships, limits of detection and limits of quantification for 37 inorganic elements

无机元素	线性方程	<i>r</i>	线性范围 (μg/L)	检出限 (μg/kg)	定量限 (μg/kg)
Li	$Y=468.1X-0.358$	0.999 8	1~500	0.010 0	0.020 0
Tm	$Y=0.476 9X-0.009 98$	0.999 2	1~500	0.010 0	0.020 0
Lu	$Y=0.709 2X-0.000 952 4$	0.999 9	1~500	0.010 0	0.030 0
Ho	$Y=0.476 2X+0.003 000$	0.999 9	1~500	0.010 0	0.030 0
Tb	$Y=0.014 13X-0.006 060$	0.999 8	1~500	0.020 0	0.080 0
Pr	$Y=0.017 09X-0.009 000$	0.999 9	1~500	0.040 0	0.120
Yb	$Y=1.396X+0.004 536$	0.999 9	1~500	0.040 0	0.120
Tl	$Y=0.850 7X+0.002 679$	0.999 9	1~500	0.060 0	0.280
Eu	$Y=0.030 06X-0.007 800$	0.999 9	1~500	0.060 0	0.210
Th	$Y=0.023 45X+0.029 50$	0.999 8	1~500	0.060 0	0.210
Dy	$Y=1.571X+0.011 63$	0.999 9	1~500	0.070 0	0.230
In	$Y=1.274X+0.004 680$	0.999 9	1~500	0.080 0	0.260
Er	$Y=1.384X+0.008 600$	0.999 9	1~500	0.080 0	0.270
La	$Y=0.020 20X+0.193 5$	0.999 6	1~500	0.090 0	0.300
Co	$Y=0.060 89X-0.169 4$	0.999 9	1~500	0.090 0	0.310
Sm	$Y=0.057 35X+0.007 800$	0.999 9	1~500	0.100	0.350
Gd	$Y=0.051 45X-0.008 100$	0.999 9	1~500	0.100	0.390
Y	$Y=0.047 10X-0.007 634$	0.999 9	1~500	0.200	0.490
Cs	$Y=0.038 51X-0.048 67$	0.999 9	1~500	0.200	0.510
Ce	$Y=0.017 93X-0.032 60$	0.999 8	1~500	0.200	0.610
Cd	$Y=9.182X-0.039 75$	0.999 9	1~500	0.200	0.710
Nd	$Y=0.044 91X-0.146 2$	0.999 9	1~500	0.300	0.900
Sc	$Y=0.364 5X-0.017 63$	0.999 9	1~500	0.600	1.800
Hg	$Y=5.290X-0.066 04$	0.992 6	0.1~5	0.800	2.800
Ag	$Y=1.744X-0.009 600$	0.998 9	1~500	0.900	3.200
V	$Y=0.132 4X-0.118 1$	0.999 9	1~500	1.000	3.400
Rb	$Y=0.151 7X-2.789$	0.999 8	1~500	1.300	4.400
Sr	$Y=0.123 4X-4.085$	0.999 6	1~500	2.000	6.800
Ni	$Y=0.230 1X-0.721 1$	0.999 9	1~500	2.600	8.500
Ba	$Y=0.043 4X-3.324$	0.999 9	1~500	3.100	10.000
Cr	$Y=0.112 7X-4.501$	0.999 5	1~500	3.200	11.000
Pb	$Y=1.304X-1.060$	0.999 7	1~500	3.200	11.000
Mn	$Y=0.185 4X-3.850$	0.999 7	1~500	4.000	13.000
As	$Y=0.573 3X-0.659 8$	0.999 9	1~500	4.500	15.000
Cu	$Y=0.085 29X-1.262$	0.999 8	1~500	29.000	96.000
Be	$Y=87.67X+0.026 07$	0.993 5	1~500	30.000	101.00
Bi	$Y=0.764 5X-5.581$	0.998 0	1~500	66.200	221.00

2.4.3 重复性试验

取1号样品，按“2.1”项下方法平行制备6份样品溶液，测定37种无机元素的含量，计算得各无机元素含量的RSD在2.2%~4.7%范围内（n=6），结果表明该方法重复性良好。

2.4.4 稳定性试验

取1号样品溶液，按“2.2”项下条件，分别在（25±2）℃条件下放置0、4、8、16、24 h时测定37种无机元素的含量，计算得各元素含量的RSD

在1.6%~3.2%范围内（n=5），结果表明样品溶液在24 h内稳定性良好。

2.4.5 加样回收率试验

取已测定含量的1号样品0.25 g，精密加入适量（Hg1.2 ng，其余36种元素10 ng）的37种无机元素混合标准溶液，按“2.1”项下方法平行制备6份样品溶液，并按“2.2”项下条件进行测定。计算得各无机元素的平均回收率为76.5%~114.0%，RSD在2.8%~4.9%范围内（n=6）。

结果表明该方法准确度良好。

## 2.5 数据处理和分析

### 2.5.1 原始数据标准化

本研究采用 SPSS 26.0 软件对原始数据进行标准化处理。具体方法为：将每个变量的原始观测值减去该变量的算术平均值，再除以标准差，从而将数据转换为均值为 0、标准差为 1 的标准化数值。该处理有效消除了不同变量之间因量纲和数量级差异所产生的影响，增强了数据的一致性与可比性，为后续统计分析提供了可靠基础。

### 2.5.2 数据分析

采用 SPSS 26.0 软件对不同产地茜草生品及茜草炭样品的无机元素含量进行 PCA，并在 PCA 结果的基础上建立判别模型。

## 2.6 生品及炮制品无机元素含量测定

采用 ICP-MS 法测定了样品中 37 种无机元素的含量。其中，Be、Bi、Cd 3 种元素均低于检出限，其余 34 种无机元素在生品及炮制品中的含量见图 1。结果表明，不同茜草样品及其相应炮制品中各无机元素的含量差异较大。为消除量纲影响，有必要对数据进行标准化处理。

## 2.7 配对样本 *t* 检验

本研究数据采用 SPSS 26.0 统计软件处理，茜草与茜草炭样品为配对设计，两组指标比较采用配对样本 *t* 检验；检验前对配对差值进行正态检

验，满足正态分布，符合配对 *t* 检验应用条件， $P < 0.05$  为差异有统计学意义。结果表明，Li、V、Co、Ni、As、Ag、In、La、Pr、Sm、Ho、Er、Lu、Pb 共 14 种无机元素的含量差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )；Cr、Sr、Eu、Gd、Tl 共 5 种无机元素的含量具有显著差异 ( $P < 0.05$ )；其余 15 种无机元素的含量具有极显著差异 ( $P < 0.01$ )。差异有统计学意义的无机元素占所测无机元素的 58.8%。

## 2.8 HCA

HCA 是一种典型的非监督统计方法，主要用于发现不同样品间的潜在联系，揭示茜草与茜草炭之间的相似性或差异性。基于 34 种无机元素，采用平方欧氏距离和组间联接聚类方法对茜草及茜草炭样品进行判别分析。结果表明，茜草和茜草炭明显分为不同的组（图 2）。HCA 能够成功区分二者，但无法提供更多关于茜草及其炮制品与无机元素之间潜在联系的细节信息，需借助进一步统计分析加以阐明。

## 2.9 PCA

为深入分析无机元素与茜草生品及炮制品之间的潜在联系，进一步采用 PCA 进行识别。PCA 能够有效减少初始变量数量，显著降低数据维度与复杂性。共提取出两个主成分（PC1 和 PC2），累计方差贡献率为 78.6%。然而，这两个主成分无法有效区分茜草与茜草炭（图 3）。

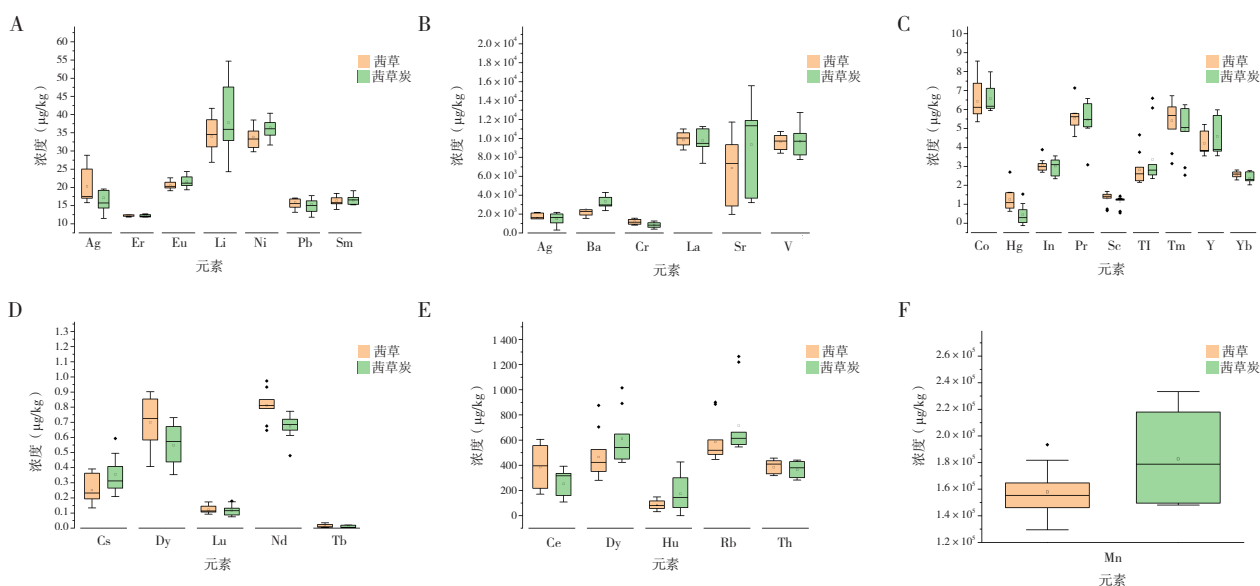


图1 茜草样品中无机元素含量箱型图 ( $n=3$ )

Figure 1. Concentration box plot of inorganic elements in *Rubia cordifolia* samples ( $n=3$ )

注：A. Ag、Er、Eu、Li、Ni、Pb、Sm元素；B. As、Ba、Cr、La、Sr、V元素；C. Co、Hg、In、Pr、Se、Tl、Tm、Y、Yb元素；D. Cs、Dy、Lu、Nd、Tb元素；E. Ce、Cu、Ho、Rb、Th元素；F. Mn元素。

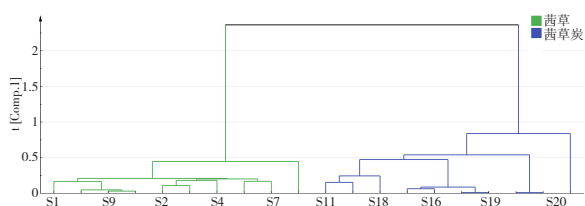


图2 样品层次聚类分析结果  
Figure 2. Results of HCA of samples

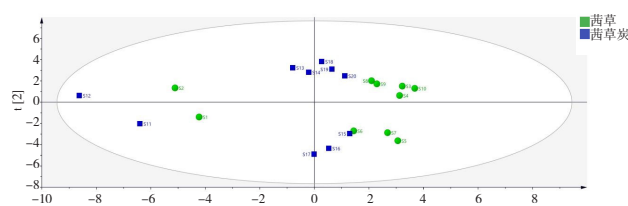


图3 PCA散点得分图  
Figure 3. PCA scatter plot figure

### 2.10 OPLS-DA

为进一步分析茜草与茜草炭之间的差异，采用 SIMCA 14.1 软件进行有监督的 OPLS-DA 建模分析。对模型进行 200 次置换检验，基于茜草和茜草炭中的无机元素含量构建 OPLS-DA 模型。结果显示，茜草与茜草炭能够完全分离，该结果与 HCA 分析结果一致。OPLS-DA 模型的  $R^2X$  (自变量方差解释度) 和  $R^2Y$  (分类变量方差解释度) 分别为 0.505 和 0.920,  $Q^2$  (模型累积预测能力) 为 0.648, 均大于 0.5, 表明本研究所构建的模型

具有良好的拟合度和预测能力，便于进一步筛选差异无机元素 (图 4)。

### 2.11 筛选差异无机元素

根据上述 OPLS-DA 分析结果，利用变量重要性投影值 (variable importance projection, VIP) 和  $P$  值对差异无机元素进行筛选。当以  $VIP > 1$  和  $P < 0.05$  为标准，共筛选出 16 种差异无机元素，分别为 Nd、Cr、Dy、Hg、Cs、Ba、Ce、Mn、Cu、Rb、Sc、Gd、Eu、Tm、Tl、Yb (图 5)。

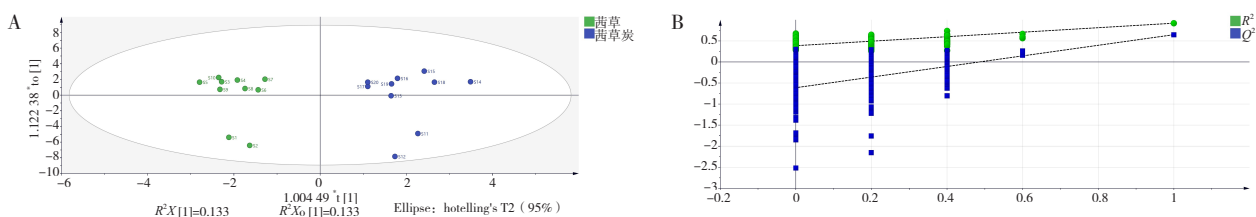


图4 OPLS-DA 得分图及其置换检验

Figure 4. OPLS-DA score figure and its permutation test

注：A. OPLS-DA 得分图；B. OPLS-DA 置换检验。

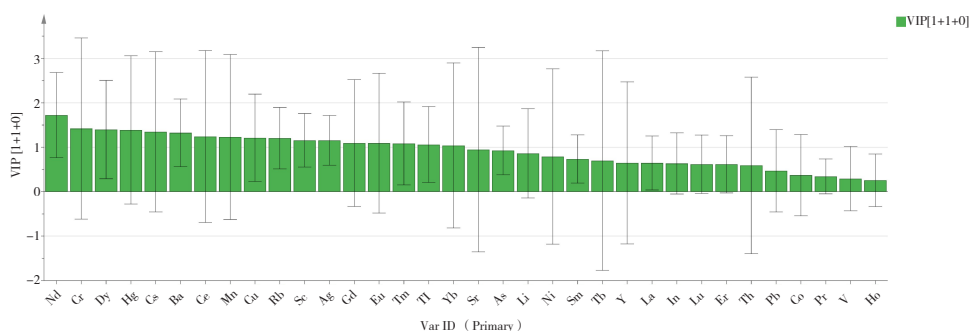


图5 茜草及茜草炭中无机元素的VIP

Figure 5. VIP of inorganic elements in *Rubia cordifolia* and carbonized *Rubia cordifolia*

## 3 讨论

本试验应用 ICP-MS 法测定了茜草和茜草炭中 37 种无机元素的含量，并采用配对样本  $t$  检验、PCA、OPLS-DA 多元统计分析方法对数据进行了分析处理，以寻找辨别茜草和茜草炭的潜在差异无机元素。通过分析发现 Nd、Cr、Dy、Hg、Cs、Ba、Ce、Mn、Cu、Rb、Sc、Gd、Eu、Tm、

Tl、Yb 共 16 种无机元素可作为区分茜草生品与炮制品的潜在无机元素。本方法分析周期短、操作简便，能客观准确地评价茜草炮制后无机元素的变化，并确定变化显著的 16 种差异无机元素，从无机元素变化角度为辅助区分茜草生品与炮制品提供了基础资料。

已有研究表明，茜草炮制后止血作用显著增强，这可能跟无机元素的种类与含量变化密切相

关<sup>[13]</sup>。受研究范围与方法所限，本研究尚不能充分说明无机元素含量变化对功效提升的具体影响。后续研究可进一步结合药效学实验，深入探究无机元素与茜草临床疗效的关联性，为茜草炮制工艺的优化与标准化提供科学参考。同时，本研究所建立的方法也为中草药炮制前后的无机元素的差异变化提供了新的研究思路和方法。

## 参考文献

- Natarajan S, Mishra P, Vadivel M, et al. ISSR characterization and quantification of purpurin and alizarin in *Rubia cordifolia* L. Populations from India[J]. *Biochem Genet*, 2019, 57: 56–72. DOI: [10.1007/s10528-018-09896-8](https://doi.org/10.1007/s10528-018-09896-8).
- 中国药典 2025 年版. 一部 [S]. 2025: 253.
- Bhatt P, Kushwah AS. *Rubia cordifolia* overview: a new approach to treat cardiac disorders[J]. *Int J Drug Dev Res*, 2013, 5(2): 47–54. DOI: [10.5958/j.2319-6483.2013.00058.3](https://doi.org/10.5958/j.2319-6483.2013.00058.3).
- Zheng ZL, Li SQ, Zhong YP, et al. UPLC–QTOF–MS identification of the chemical constituents in rat plasma and urine after oral administration of *Rubia cordifolia* L. extract[J]. *Molecules*, 2017, 22(8): 1327. DOI: [10.3390/molecules22081327](https://doi.org/10.3390/molecules22081327).
- 陈燕芳, 卞卡. 茜草属药用植物茜草大叶茜草和小红参的比较研究 [J]. *时珍国医国药*, 2017, 28(4): 892–895. [Chen YF, Bian K. Comparative study on medicinal plants of *Rubia*: *Rubia cordifolia*, *Rubia schumanniana* and *Rubia yunnanensis*[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2017, 28(4): 892–895.] DOI: [10.13863/j.issn.1001-4454.2017.04.043](https://doi.org/10.13863/j.issn.1001-4454.2017.04.043).
- Bella GD, Potorti AG, Turco VL, et al. Trace inorganic elements in *Thunnus thynnus* from Mediterranean Sea and benefit–risk assessment for consumers[J]. *Food Addit Contam B*, 2015, 8(3): 175–181. DOI: [10.1080/19393210.2015.1030347](https://doi.org/10.1080/19393210.2015.1030347).
- 叶定江, 张世臣, 主编. 中药炮制学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1999: 341.
- 吴立洁, 杨瑶璐, 张子龙, 等. 8 种止血类中药无机元素的含量特征与性味功效的关系 [J]. *中华中医药学刊*, 2014, 32(10): 2314–2316. [Wu LJ, Yang YJ, Zhang ZL, et al. Relationship between content characteristics of inorganic elements and nature, flavor, efficacy of 8 kinds of hemostatic traditional Chinese medicines[J]. *Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine*, 2014, 32(10): 2314–2316.] DOI: [10.13193/j.issn.1673-7717.2014.10.038](https://doi.org/10.13193/j.issn.1673-7717.2014.10.038).
- 查文清, 王孝涛, 原思通. 炮制对直序商陆饮片中无机元素和氨基酸含量的影响 [J]. *安徽中医学院学报*, 2005, 24(5): 43–44. [Cha WQ, Wang XT, Yuan ST. The effect of processing on the content of inorganic elements and amino acids in *Phytolacca acinosa* decoction pieces[J]. *Journal of Anhui Traditional Chinese Medical College*, 2005, 24(5): 43–44.] DOI: [10.3969/j.issn.1000-2219.2005.05.021](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-2219.2005.05.021).
- 徐双美, 鄢玉芬, 陶明宝, 等. 不同炮制火候及方法对瓦楞子无机元素种类及含量的影响 [J]. *时珍国医国药*, 2020, 31(1): 103–105. [Xu SM, Yan YF, Tao MB, et al. Effects of different processing temperatures and methods on the types and contents of inorganic elements in *Concha Arcae*[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2020, 31(1): 103–105.] DOI: [10.13863/j.issn.1008-0805.2020.01.019](https://doi.org/10.13863/j.issn.1008-0805.2020.01.019).
- Mishchenko NP, Fedoreev SA, Bryukhanov VM, et al. Chemical composition and pharmacological activity of anthraquinones from *Rubia cordifolia* cell culture[J]. *Pharm Chem J*, 2007, 41: 605–609. DOI: [10.1007/s11094-007-0235-4](https://doi.org/10.1007/s11094-007-0235-4).
- 康林, 刘欣, 康立英. 多元统计分析在中药质量控制中的应用和思考 [J]. *大医生*, 2017, 2(Z2): 105, 107. [Kang L, Liu X, Kang LY. Application and reflection of multivariate statistical analysis in quality control of traditional Chinese medicine[J]. *Doctor*, 2017, 2(Z2): 105, 107.] DOI: [10.19604/j.cnki.dys.2017.z2.056](https://doi.org/10.19604/j.cnki.dys.2017.z2.056).
- 杨宇婷, 崔春雨. 茜草不同炮制品对比研究 [J]. *山东化工*, 2020, 49(9): 47–48. [Yang YT, Cui CY. Comparative study of different processed products of *Rubia cordifolia*[J]. *Shandong Chemical Industry*, 2020, 49(9): 47–48.] DOI: [10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2020.09.017](https://doi.org/10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2020.09.017).

收稿日期: 2026 年 01 月 05 日 修回日期: 2026 年 03 月 10 日  
 本文编辑: 马琳璐 钟巧妮