

不同产地不同种类重楼药材重金属元素的含量测定及分析

李若诗, 袁会琼, 赵飞亚, 陶爱恩, 段宝忠, 胡侃*, 夏从龙*
(大理大学 药学与化学学院, 云南 大理 671000)

[摘要] **目的:**分析测定不同产地不同种类的重楼药材中的重金属含量,为重楼种植地区的选择和其重金属元素限量标准提供参考。**方法:**从云南省10个产地收集8种共39份重楼药材样品,采用微波消解-电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定重楼药材中的重金属砷(As),铜(Cu),汞(Hg),镉(Cd),铅(Pb),铬(Cr)的含量,采用聚类分析,统计分析和主成分分析不同产地和种类对重金属含量累积特征进行分析。**结果:**六种重金属含量均符合《中医药-中药材重金属限量》ISO国际标准;按《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》限量值标准,As,Cd,Pb的超标率为15.4%,5.1%,2.6%,Cu,Hg均符合相关要求。聚类分析,主成分分析可将样品按产地分为大理和昭通两类,统计分析结果表明产地对重金属含量的影响极显著,不同品种间差异较小。**结论:**该研究结果表明云南省各产区种植重楼的重金属含量基本符合相关标准,重楼药材的重金属含量差异主要表现为地域差异,为规范化种植重楼药材和其重金属含量限量标准的制定提供了理论依据。

[关键词] 重楼; 重金属; 铜; 铅; 镉; 砷; 铬; 电感耦合等离子体原子发射光谱法; 聚类分析

[中图分类号] R284.2;R289;R22;R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2019)15-0030-07

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20191660

[网络出版地址] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20190528.1438.002.html>

[网络出版时间] 2019-05-29 17:05

Determination and Analysis of Heavy Metals of Paridis Rhizoma from Different Localities and Pieces

LI Ruo-shi, YUAN Hui-qiong, ZHAO Fei-ya, TAO Ai-en, DUAN Bao-zhong, HU Kan*, XIA Cong-long
(College of Pharmacy and Chemistry, Dali University, Dali 671000, China)

[Abstract] **Objective:** To analyze and determine heavy metal content in Paridis Rhizoma from different genus and localities, in order to provide a reference for selecting cultivation areas and establishing the quality standard of Paridis Rhizoma of heavy metals content. **Method:** Microwave digestion method combined with inductively coupled plasma atomic emission spectrometry method (ICP-AES) method were applied to determine the contents of 6 heavy metals, i. e. As, Cu, Hg, Cd, Pb and Cr in 39 samples of Paridis Rhizoma of different genus and localities in Yunnan Province. Cluster analysis, statistical analysis and principal component analysis (PCA) were used to compare the differences of heavy metals contents in different localities and species. **Result:** The contents of six heavy metals in Paridis Rhizoma met the ISO international standard of *Heavy Metal Limit of Traditional Chinese Medicine-traditional Chinese Medicinal Materials*. Under the limited value standard of *Green Trade Standards of Importing Medicinal Plants and Preparations*, the over-standard rate of heavy metal As was 15.4%, the excess rate of Cd was 5.1%, and the excess rate of Pb was 2.6%. The contents of Cu and Hg

[收稿日期] 20181031(021)

[基金项目] 国家自然科学基金项目(31860080);云南省教育厅科学研究基金项目(2015C074Y);大理州科技局研究基金项目(D2018SA01);云南省州(市)区域创新能力提升专项(2018CA011-01);大理大学中药资源与民族药创新团队项目(ZKLX2019318)

[第一作者] 李若诗,在读硕士,从事中药资源与品质评价研究,Tel:0872-2257415,E-mail:1767899093@qq.com

[通信作者] *胡侃,硕士,实验师,从事药物分析研究,Tel:0872-2257415,E-mail:alexhk@163.com;

*夏从龙,教授,从事天然药物资源调查及品质评价研究,E-mail:long7484@126.com

conformed to relevant requirements. Cluster analysis, statistical analysis and principal component analysis showed that for the same variety, differences in producing places had significant effects on heavy metal content, while differences in species had little effects. **Conclusion:** The results of this study indicated that the heavy metal content of *Paris* planted in and around Dali basically conformed to relevant standards. The differences of heavy metal content in *Paris* were mainly regional differences, which provided a theoretical basis for standardizing the cultivation of medicinal materials and formulating the limit standards of heavy metals for *Paridis Rhizoma*.

[Key words] *Paridis Rhizoma*; heavy metal; Cu; Pb; Cd; As; Cr; inductively coupled plasma atomic emission spectrometry; cluster analysis

重楼为常用中药,药用历史悠久,最早以“蚤休”记载于《神农本草经》,历年版《中国药典》收录的重楼为百合科重楼属植物云南重楼 *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* 和七叶一枝花 *Paris polyphylla* var. *chinensis* 的干燥根茎,具有清热解毒,消肿止痛,凉肝定惊之功效^[1],除临床组方配伍外,亦为 80 余种中成药、保健品及日用品的重要原料^[2]。近年来,随着重楼化学物质基础和药理活性研究的不断深入^[3-6],民间及企业用药需求量大幅攀升,导致野生资源远不能满足市场需要,种植重楼已成为地方政府实施农村扶贫攻坚,改善农产结构的重点项目^[7]。在栽培重楼过程中,由于农药、化肥、杀虫剂等不合理使用导致重金属超标,影响药材品质,在体内富集也会对人体的肝、肾等解毒器官产生实质性损害。因此研究不同产地和种类重楼药材中重金属的吸收累积特征,对控制药材中重金属的残留量有重要意义^[8]。

目前对滇重楼药材中重金属含量的研究已有一定的进展,不同的产地、土壤、共生真菌等因素,都会影响中药中重金属的含量,从而影响临床用药的安全和疗效。邹亮等^[9]用湿法消解-原子荧光光度法对不同产地滇重楼的重金属含量进行测定;张静等^[10]和周浓等^[11]对三峡库区的重楼药材及根际土壤中无机金属进行测定,对重楼中重金属含量与重楼皂苷含量进行相关性分析;杨敏等^[12]和周浓等^[13]对滇重楼与真菌共生对重金属含量累积进行研究;朱建成等^[14]对重楼中无机元素种类和含量对重楼的药理作用和临床疗效进行研究。上述研究报道尚未对不同产地和不同种类的重楼重金属含量进行研究。鉴于此,本研究采用微波消解-ICP-AES 测定不同产地 8 种栽培重楼药材中的重金属含量,并结合聚类分析方法进行质量安全评价,探讨各产地重楼药材中重金属超标情况,以及各产地重楼药材重金属差异特点及原因,为保障重楼药材的质量提供实验依据。

1 材料

ICAP-7200 型电感耦合等离子体发射光谱仪(美国赛默飞世尔科技有限公司);JUPITER 型微波消解仪(上海新仪);聚四氟乙烯微波消解罐(上海新仪);A11 型分析用研磨机(德国 IKA 仪器设备有限公司);多孔电热板(南京瑞尼克科技有限公司);EL-204 型 1/1 万电子天平(梅特勒-托利多仪器上海有限公司);DZG-303A 型超纯水机(台湾艾柯)。

砷(As),镉(Cd),铅(Pb),铜(Cu),汞(Hg),铬(Cr)的标准储备液质量浓度均为 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ [中国计量科学研究院,批号分别为 GBW(E)082113, GBW(E)082122, GBW(E)082136, GBW(E)082107, GBW(E)082134, GBW(E)082100];优质级硝酸(天津市福晨化学试剂厂);实验用水为超纯水。本实验所用的玻璃仪器,容器在使用前均用 20% 硝酸浸泡 24 h 后,再用超纯水洗净。

本实验所用重楼样品于 2015 年 7—8 月,采集自云南省洱源,文山,昭通等 10 个栽培基地,具体采集样地信息见表 1,均由大理大学夏从龙教授鉴定,凭证标本保存于大理大学中药标本室。样品清洗后,45 °C 烘干,粉碎后过 50 目筛,备用。

2 方法与结果

2.1 样品消解 精密称取样品 0.2 g 于聚四氟乙烯消解罐中,加入硝酸 10 mL 静置 12 h 后,置赶酸仪上,在 130 °C 条件下加热预消解 30 min,室温冷却后置微波消解仪上进行消解,消解程序见表 2。消解完毕后置赶酸仪上,在 180 °C 条件下赶酸 1 h,待溶液澄清时取下,冷却至室温。再用超纯水将样品转移至 25 mL 量瓶中,定容至刻度,摇匀待测。每个样品取 3 个平行样进行消解处理。以消解样品同样的步骤做空白试样,待测。

2.2 分析仪器工作参数 等离子体高频发射器功率 1 150 W,频率 40 MHz,氩载气流量 $1.0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,氩冷却气流量 $15 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,辅助气流量

表 1 样品信息表

Table 1 Detailed information of collected samples

编号	重楼种类	采集地点	样品数/个
S1 ~ S2	滇重楼	大理洱源县	2
S3 ~ S4		文山县	2
S5 ~ S6		曲靖市师宗县	2
S7		大理洱源县	1
S8		大理巍山	1
S9 ~ S10	毛重楼	大理云龙县	2
S11 ~ S12		大理喜洲花甸坝	2
S13 ~ S14		大理凤仪	2
S15		大理漾濞	1
S16		大理巍山	1
S17 ~ S18	多叶重楼	大理云龙县	2
S19		大理洱源县	1
S20 ~ S21		大理云龙县	2
S22		大理漾濞县	1
S23		大理洱源县	1
S24 ~ S25	七叶一枝花	昭通市彝良县	2
S26		大理巍山	1
S27		大理云龙县	1
S28 ~ S29	南重楼	文山县	2
S30 ~ S31		大理云龙县	2
S32 ~ S33	长柱重楼	大理云龙县	2
S34 ~ S35		怒江州	2
S36 ~ S37	宽叶重楼	大理云龙县	2
S38 ~ S39	五指莲	大理云龙县	2

表 2 微波消解程序

Table 2 Digestion procedure of microwave

时间/min	状态	温度/℃
1 ~ 10	温度爬坡	110
10 ~ 15	温度保持	110
15 ~ 25	温度爬坡	180
25 ~ 40	温度保持	180
40 ~ 60	冷却	50

0.5 L·min⁻¹, 样品进样量 1.5 mL·min⁻¹, 蠕动泵转速 50 r·min⁻¹, 元素最佳分析谱线分别为 As 193.696 nm, Cd 228.802 nm, Pb 220.354 nm, Cu 324.751 nm, Cr 276.598 nm, Hg 253.652 nm。

2.3 标准曲线的绘制 取质量浓度为 1 g·L⁻¹ 的 As, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg 单对照溶液适量, 用超纯水稀释成含各元素质量浓度为 1 mg·L⁻¹ 的混合对照溶

液, 用超纯水梯度稀释得到各元素质量浓度为 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.16 mg·L⁻¹ 的对照溶液, 随行试剂为空白, 将上述标准溶液分别进样分析, 得各元素回归方程和相关系数, 结果见表 3, 相关系数均在 0.999 8 ~ 0.999 9, 线性范围均在 0.005 ~ 0.16 mg·L⁻¹, 符合 2015 年版《中国药典》要求。

表 3 5 种重金属元素回归方程和相关系数

Table 3 Calibration curves of 5 heavy metal elements

元素	回归方程	r
As	Y = 20.162 0X + 21.716 0	0.999 8
Cu	Y = 0.034 0X - 0.001 3	0.999 9
Cd	Y = 22.768 9X - 0.746 0	0.999 9
Pb	Y = 5.072 0X + 48.051 0	0.999 8
Cr	Y = 0.007 2X - 0.000 3	0.999 3
Hg	Y = 17.048 0X + 0.476 0	0.999 9

2.4 精密度与重复性试验 取 As, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg 的对照溶液, 在 2.2 项仪器条件下进行测定, 重复测定 6 次, RSD 分别为 1.5%, 2.1%, 1.7%, 1.4%, 2.3%, 0.9%, 实验结果表明仪器精密度符合要求。取样品 S4 进行重复性试验, 按 2.1 项下方法进行样品处理, 平行测定 6 次, 计算 As, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg 6 种元素含量的 RSD 分别为 3.1%, 2.2%, 1.6%, 2.5%, 1.4%, 2.6%。结果表明, 本方法重复性良好。

2.5 加样回收率试验 取 S4 药材粉末 6 份, 精密称定 0.2 g, 分别精密加入标准溶液, 按上述实验条件进行测定, 以加标前后测定所得重金属含量计算各元素的回收率, 计算回收率均值和标准偏差均值, 结果见表 4, 各元素的回收率在 98.3% ~ 105.2%。

表 4 6 种元素的加样回收率试验 (n = 6)

Table 4 Recovery test of 6 elements (n = 6)

元素	加入量 /μg	样品中量 /μg	测得量 /μg	回收率 /%	RSD /%
As	2	0.100	2.200	105.23	2.2
Cu	2	0.675	2.725	101.6	3.1
Cd	1	0.025	1.025	98.33	3.0
Pb	2	0.200	2.200	99.9	1.8
Cr	1	1.150	2.175	101.67	1.5
Hg	2	0.000	2.025	101.53	2.3

3 结果与分析

3.1 不同产地不同种类重楼的重金属含量测定结果 采用上述的方法对不同产地的 39 份重楼样品

中 As, Cu, Cd, Pb, Cr, Hg 6 种重金属进行含量测定, 含量测定结果见表 5。根据《中医药-中药材重金属限量》ISO 国际标准^[15], 滇产 8 种重楼药材中 6 种重金属含量均未超标。而在《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》^[16]限量值标准下, 重金属 As 的超标率 15.4%, 重金属 Cd 超标率 5.1%, 重金属 Pb 的超标率 2.6%, 重金属 Cu, Hg 的含量符合相关要求。Cr 元素的限定标准在《中国药典》与《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》均未做出相关规定, 但我国 GB2762-2012 食品安全国家标准^[17]规定 Cr 的最大限量值为 2.0 mg·kg⁻¹, 如以此为标准, 此次检测重楼样本 Cr 元素的超标率可达 100%。

3.2 聚类分析 应用 SPSS 24.0 软件, 对 39 批不同产地, 不同种类的重楼药材中重金属含量进行系统聚类分析。以重金属元素的含量作为聚类变量, 进行 Zscore 标准化后, 采用平方欧氏距离, 样本间进行组间连接, 聚类结果见图 1。

通过聚类分析树状图将数据分为两类, 可较为明显地区分不同产地的重楼药材。产于大理市的洱源, 凤仪等地的样品聚为一类, 产地为昭通的样品聚为第二类。昭通市彝良县小草坝镇是彝良县重点产煤镇之一, 本地土壤可能是影响重楼各重金属含量均高于其他产地的主要原因。聚类分析图中 S5(曲靖), S28(文山)在聚类图上均与其他样品明显区分, 验证了地域差异是影响重楼药材重金属含量的重要原因。S13, S14(大理凤仪), S19(大理洱源), S9(大理云龙)未与其余大理产地样品聚为一类, 可能与种苗来源或自身的生长状况有关。

3.3 不同产地不同种类的重楼药材重金属元素差异性比较 由于不同产地、种类对重楼重金属元素累积的效应不同, 所以利用软件 SPSS 24.0 对产地、种类、五种重金属含量的影响进行多变量方差分析, 产地、重楼种类, 产地 * 重楼种类 3 个主体对样品重金属含量的效应检验结果见表 6。结果表明重楼种类对各重金属含量累积的影响均不显著, 不同产地对 As 和 Pb 元素含量的影响存在显著性差异 ($P < 0.01$), 对 Cu, Cd 和 Cr 元素含量的影响极显著 ($P < 0.001$), 产地和种类的交互作用对重楼重金属含量影响不显著。

3.4 同一种类不同产地重楼比较 采用软件 SPSS 24.0 根据不同产地重楼分别计算样品的平均值及标准差, 结果见表 7。从表中可以看出, 同一种类的样品各重金属含量表现出显著的产地特点。产地为昭通的样品重金属含量均明显高于其他产地, 根据

表 5 重楼样品中 5 种重金属含量测定

Table 5 Contents of five heavy metal elements in samples of *Paris*

mg·kg ⁻¹					
编号	As	Cu	Cd	Pb	Cr
S1	0.215	2.245	0.095	0.998	5.612
S2	0.243	2.874	0.108	1.250	5.373
S3	0.375	3.371	0.250	1.623	5.244
S4	0.499	3.371	0.117	0.999	5.619
S5	3.995	3.995	0.250	0.749	7.116
S6	0.624	2.494	0.125	0.624	5.488
S7	0.432	3.863	0.125	0.997	7.725
S8	0.256	2.245	0.134	0.374	3.119
S9	1.500	2.375	0.121	2.624	4.624
S10	1.124	3.122	0.125	0.749	3.871
S11	0.624	2.870	0.125	0.873	6.364
S12	1.249	2.622	0.123	0.999	5.618
S13	2.995	3.744	0.126	2.371	4.992
S14	3.998	3.998	0.124	1.499	4.872
S15	0.874	3.121	0.101	0.749	5.618
S16	0.231	2.000	0.052	0.500	2.999
S17	1.248	2.996	0.125	0.499	7.490
S18	0.125	1.873	0.125	0.624	4.121
S19	2.496	2.746	0.096	1.248	6.740
S20	0.123	2.746	0.103	0.873	3.868
S21	1.249	2.624	0.125	0.625	3.374
S22	0.749	3.244	0.250	0.873	6.363
S23	0.119	3.246	0.126	0.749	6.616
S24	2.748	6.244	1.998	3.372	12.114
S25	3.249	9.748	1.750	5.749	18.620
S26	0.624	2.372	0.250	0.749	5.244
S27	0.574	1.373	0.125	0.499	3.870
S28	0.997	4.987	0.249	1.122	8.104
S29	1.247	3.368	0.249	0.500	7.111
S30	0.798	2.000	0.125	0.375	4.000
S31	1.250	1.747	0.106	0.499	3.244
S32	0.367	2.750	0.113	1.125	3.874
S33	0.441	4.124	0.109	0.625	5.748
S34	0.107	2.873	0.142	0.500	2.873
S35	0.221	2.373	0.139	0.874	3.498
S36	0.141	3.498	0.005	0.999	3.748
S37	0.123	2.624	0.008	0.260	3.249
S38	0.067	3.375	0.101	0.625	3.125
S39	0.054	3.124	0.250	1.250	3.249

注: 所有样品中均未检测到 Hg。

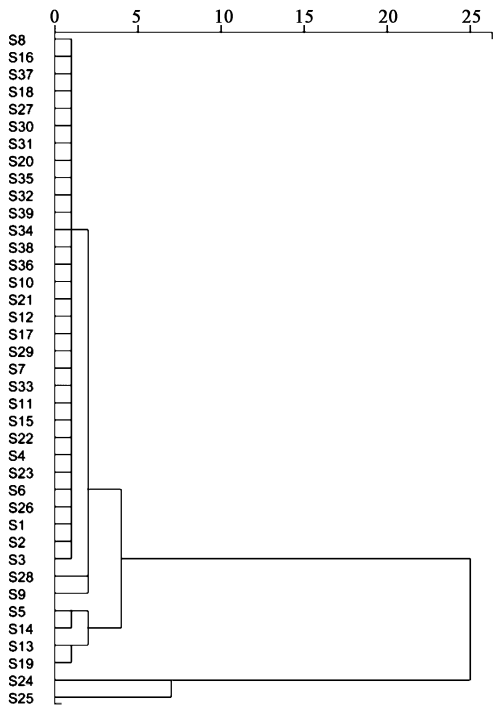


图 1 重楼重金属含量聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of heavy metal elements content

表 6 主体间效应检验

Table 6 Effect between main body of test

项目	变量	SS	df	MS	f	P
产地	AS	21.741	9	2.416	4.01	0.006
	Cu	46.743	9	5.194	7.426	0.000
	Cd	2.887	9	0.321	96.26	0.000
	Pb	18.004	9	2	5.735	0.001
	Cr	153.446	9	17.05	7.688	0.000
重楼种类	AS	2.93	7	0.419	0.695	0.676
	Cu	4.372	7	0.625	0.893	0.532
	Cd	0.054	7	0.008	2.33	0.070
	Pb	1.018	7	0.145	0.417	0.879
	Cr	8.534	7	1.219	0.55	0.786
产地 * 重楼种类	AS	0.866	4	0.217	0.359	0.834
	Cu	1.781	4	0.445	0.637	0.643
	Cd	0.019	4	0.005	1.446	0.260
	Pb	0.932	4	0.233	0.668	0.623
	Cr	5.075	4	1.269	0.572	0.686

《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》^[16], 该产地 As, Cd, Pb 均超标, Cu, Cr 含量虽未超标, 但略高于其他地区; 洱源, 喜洲, 巍山和漾濞地区的重楼样品 Cr 含量较高; 凤仪地区的重楼样品 As, Cu 和 Pb 含量较高, 其中 As 超标。

3.5 主成分分析 本研究采用 SPSS 24.0 软件对

不同产地重楼样品进行主成分分析, 明确 5 种重金属元素在 39 批样品中各自的贡献率。主成分得分系数表见表 8, $t[1]$ 累积贡献率 76.5%, 主要反映的是来自 Cu, Cd, Pb, Cr 的信息, $t[2]$ 累积贡献率 12.7%, 主要反映的是来自 As 的信息, $t[3]$ 累积贡献率为 4.6%, 主要反映的是来自 Pb, Cr 的信息。

根据 39 批样品 5 种重金属含量的主成分分析结果, 提取 3 个主成分作 3D 得分图见图 2, 前 3 个主成分累积贡献率为 93.8%。从图中可以看出除了 S9, S14, S5, S13, S19 较离散以外, 产地为大理, 文山, 曲靖, 怒江的样品可以聚为一类, 聚类效果良好, 产地为昭通的样品可单独离散, 主成分分析结果与聚类分析结果完全一致。

4 讨论与结论

首次对不同产地, 不同类型的重楼进行收集整理, 测定其重金属含量。通过 SPSS 软件分析发现, 不同产地的药材重金属元素含量差异较大, 这反映出我国水文环境和国土资源的差异, 研究结果与韩小丽等^[8]的较为一致。产区为昭通的样品重金属含量均高于其他样品, 与该地矿产资源丰富有关, 反映出土壤类型也与中药材的重金属含量有着密切关系, 与周浓等^[11]研究结果一致。洱源、巍山、云龙、喜洲和怒江州所产重楼重金属含量均较低, 可考虑作为重楼规范化种植发展的首选地区。不同物种间遗传特性有差异, 对重金属的富集也有影响, 但影响均不显著, 七叶一枝花的重金属含量均较高, 毛重楼的 As, Pb 含量较高, 滇重楼, 多叶重楼, 南重楼的 Cr 含量较高, 五指莲的 Cu 含量较高。此外, 中药材中的重金属含量与其指标性成分具有一定的相关性^[18], 对重金属含量与药材质量的相关性更有待进一步研究。

本实验采用微波消解-ICP-AES 同时测定了 8 种滇产重楼药材的重金属含量, 该方法快速, 准确, 检出限低, 可用于重楼药材及其他中药重金属含量测定, 为重楼药材的重金属元素标准制定提供依据。根据结果可知, 6 种重金属含量均符合《中医药-中药材重金属限量》ISO 国际标准; 根据《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》限量值标准, As, Cd, Pb 的超标率为 15.4%, 5.1%, 2.6%, Cu, Hg 均符合相关要求, 超标样品有明显的产地特点, 主要在昭通和凤仪地区。此外, Cr 元素并未有明确的限量标准, 但检测结果显示 Cr 含量均处于较高水平, 针对此问题, 应注意对中药材重金属检测中增加 Cr 含量相关标准的制定。

表 7 8 种重楼不同产地 5 种重金属含量的平均值和标准差 ($n=3$)

Table 7 Average contents and standard deviation of 5 heavy elements in different habitats from 8 species *Paris* ($n=3$)

种类	产地	项目	As	Cu	Cd	Pb	Cr	
滇重楼	洱源	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.297	2.994	0.109	1.082	6.237	
		标准差	0.118	0.816	0.015	0.146	1.294	
		相对标准偏差	0.398	0.272	0.138	0.135	0.208	
	曲靖	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	2.310	3.245	0.188	0.687	6.302	
		标准差	2.384	1.061	0.088	0.088	1.151	
		相对标准偏差	1.032	0.327	0.471	0.129	0.183	
	巍山	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.256	2.245	0.134	0.374	3.119	
		文山	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.437	3.371	0.184	1.311	5.432
			标准差	0.088	0.000	0.094	0.441	0.265
相对标准偏差	0.201		0.000	0.513	0.337	0.049		
多叶重楼	洱源	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	1.308	2.996	0.111	0.999	6.678	
		标准差	1.681	0.354	0.021	0.353	0.088	
		相对标准偏差	1.285	0.118	0.191	0.353	0.013	
	漾濞	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.749	3.244	0.250	0.873	6.363	
		云龙	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.686	2.560	0.120	0.655	4.713
			标准差	0.649	0.483	0.011	0.157	1.877
	相对标准偏差		0.946	0.189	0.092	0.239	0.398	
	宽叶重楼	云龙	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.132	3.061	0.007	0.630	3.499
			标准差	0.013	0.618	0.002	0.523	0.353
相对标准偏差			0.096	0.202	0.326	0.830	0.101	
毛重楼	凤仪	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	3.497	3.871	0.125	1.935	4.932	
		标准差	0.709	0.180	0.001	0.617	0.085	
		相对标准偏差	0.203	0.046	0.011	0.319	0.017	
	巍山	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.231	2.000	0.052	0.500	2.999	
		喜洲	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.937	2.746	0.124	0.936	5.991
			标准差	0.442	0.175	0.001	0.089	0.528
	相对标准偏差		0.472	0.064	0.011	0.095	0.088	
	漾濞	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.874	3.121	0.101	0.749	5.618	
		云龙	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	1.312	2.749	0.123	1.687	4.248
			标准差	0.266	0.528	0.003	1.326	0.532
	相对标准偏差		0.203	0.192	0.023	0.786	0.125	
	南重楼	文山	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	1.122	4.178	0.249	0.811	7.608
标准差			0.177	1.145	0.000	0.440	0.702	
相对标准偏差			0.158	0.274	0.000	0.542	0.092	
云龙		平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	1.024	1.874	0.116	0.437	3.622	
		标准差	0.320	0.179	0.013	0.088	0.535	
		相对标准偏差	0.312	0.095	0.116	0.201	0.148	
七叶一枝花	巍山	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.624	2.372	0.250	0.749	5.244	
		云龙	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.574	1.373	0.125	0.499	3.870
	昭通	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	2.999	7.996	1.874	4.561	15.367	
		标准差	0.354	2.478	0.175	1.681	4.600	
		相对标准偏差	0.118	0.310	0.094	0.369	0.299	
五指莲	云龙	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.061	3.250	0.176	0.938	3.187	
		标准差	0.009	0.177	0.105	0.442	0.088	
		相对标准偏差	0.152	0.055	0.600	0.471	0.028	

续表 7

种类	产地	项目	As	Cu	Cd	Pb	Cr
长柱重楼	怒江	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.164	2.623	0.141	0.687	3.186
		标准差	0.081	0.354	0.002	0.264	0.442
		相对标准偏差	0.492	0.135	0.015	0.385	0.139
	云龙	平均值/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	0.404	3.437	0.111	0.875	4.811
		标准差	0.052	0.972	0.003	0.354	1.325
		相对标准偏差	0.130	0.283	0.025	0.404	0.275

表 8 不同元素主成分载荷

Table 8 Loadings in first three principal components

元素	1	2	3	4	5
Zscore(As)	0.667	0.743	0.001	0.055	0.012
Zscore(Cu)	0.933	-0.124	-0.203	-0.144	0.228
Zscore(Cd)	0.900	-0.219	0.181	0.323	0.065
Zscore(Pb)	0.914	-0.069	0.297	-0.256	-0.081
Zscore(Cr)	0.929	-0.128	-0.265	0.044	-0.220

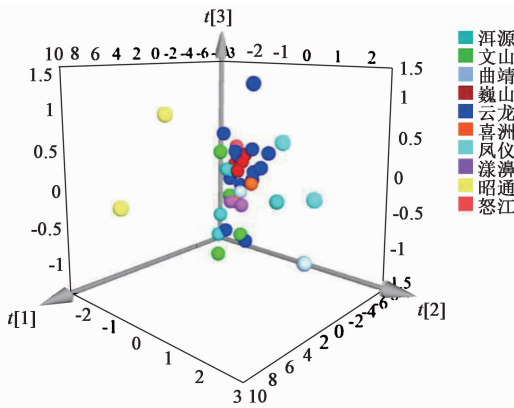


图 2 主成分分析三维得分

Fig. 2 Scores of three principal components in 3-D plot

[参考文献]

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:260.
 [2] 赵飞亚,陶爱恩,夏从龙. 基于国内专利结合资源、应用与开发现状的重楼发展策略探讨[J]. 中国中药杂志,2018,43(2):404-409.
 [3] 李洪梅,孙建辉,康利平,等. 重楼同属植物长柱重楼与药用重楼的药效学对比研究[J]. 中国中药杂志,2017,42(18):3461-3464.
 [4] 张兰天,左予桐,高文远,等. 云南重楼提取物及化学成分的抗肿瘤活性研究[J]. 中草药,2007,38(3):422-424.
 [5] 黄圆圆,刘大会,彭华胜,等. 15种重楼属植物中8种甾体皂苷的含量测定[J]. 中国中药杂志,2017,42

(18):3443-3451.
 [6] 武珊珊,高文远,段宏泉,等. 重楼化学成分和药理作用研究进展[J]. 中草药,2004,35(3):110-113.
 [7] 张朝阳,赵庭周. 重楼资源再生策略及其关键技术环节探讨[J]. 中草药,2009,40(2):319-323.
 [8] 韩小丽,张小波,郭兰萍,等. 中药材重金属污染现状的统计分析[J]. 中国中药杂志,2008,33(18):2041-2048.
 [9] 邹亮,周浓,杨颖,等. 不同产地滇重楼中重金属含量的湿法消解-原子荧光光度法测定[J]. 时珍国医国药,2010,21(4):1014-1015.
 [10] 张静,丁博,肖国生,等. 三峡库区栽培重楼药材和土壤中营养元素的相关性分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2016,22(4):32-38.
 [11] 周浓,张杰,郭冬琴,等. 三峡库区栽培重楼中重金属元素的含量与评价[J]. 环境化学,2015,34(9):1758-1760.
 [12] 杨敏,张杰,沈昱翔,等. 滇重楼与丛枝菌根的共生对重金属元素吸收的影响[J]. 环境化学,2018,37(4):860-870.
 [13] 周浓,张德伟,郭冬琴,等. 菌根真菌对人工栽培滇重楼重金属元素的影响[J]. 中成药,2014,36(12):2583-2586.
 [14] 朱建成,尚毅,刘咏梅,等. 重楼植物中无机元素研究进展[J]. 天津中医药,2018,35(2):153-156.
 [15] International Organization for Standardization. ISO 18664: 2015 Traditional Chinese Medicine- Determination of heavy metals in herbal medicines used in Traditional Chinese Medicine[S/OL]. <https://www.iso.org/standard/63150.html>.
 [16] 药用植物及制剂进出口绿色行业标准[J]. 中国农业信息快讯,2002(8):28-29.
 [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. GB 2762-2012. 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S]. 2012.
 [18] 秦双双,黄静雯,袁媛,等. 中药材重金属元素及其与指标性成分相关性分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2018,24(6):66-70.

[责任编辑 顾雪竹]