

基于主成分分析法和聚类分析法识别玛咖来源

潘 蓉, 张忠伟, 谭建磊, 王春雨, 王 希, 范瑞雪, 陈 芮*

(云南师范大学化学化工学院, 昆明 650500)

摘 要: 目的 建立一种识别不同来源玛咖的检测方法。**方法** 采用电喷雾电离质谱法分析了秘鲁、会泽、丽江及香格里拉等 4 个产地的玛咖的甲醇提取物中的功效成分; 在此基础上, 采用主成分分析法和聚类分析法对这些玛咖进行了识别。**结果** 所有样品中都含有维生素 B₁、亚油酸、蔗糖、烯丙基芥子油苷、苜基-芥子油苷及间-甲氧基-苜基-芥子油苷等成分; 香格里拉 3 号玛咖的主要成分和其他玛咖中的主要成分存在显著的差异; 其中丽江 2 号玛咖的成分与秘鲁 1 号和 2 号玛咖的成分最接近; 会泽 3 号玛咖的成分和秘鲁 3 号玛咖的成分最接近。**结论** 该方法快速、准确、灵敏, 适合鉴别不同来源的玛咖。

关键词: 玛咖; 主成分分析; 聚类分析; 识别; 质谱

Discrimination of *Lepidium meyenii* (Maca) from different origins with principal component analysis and cluster analysis

PAN Rong, ZHANG Zhong-Wei, TAN Jian-Lei, WANG Chun-Yu, WANG Xi,
FAN Rui-Xue, CHEN Rui*

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for discrimination of *Lepidium meyenii* (Maca) from different origins. **Methods** Component of methanol extract in Maca from Peru, Huize, Lijiang and Shangri-La was analyzed by electrospray ionization mass spectrometry. On this basis, these samples were discriminated by principal component analysis and cluster analysis. **Results** All the samples contained vitamin B₁, linoleic acid, sucrose, allyl glucosinolate, benzyl glucosinolate and m-methoxybenzyl glucosinolate. There was much difference in principal component between Maca 3 from Shangri-La and others. The principal component of Maca 2 from Lijiang was near to that of Maca 1 and 2 from Peru, and the principal component of Maca 3 from Huize was near to that of Maca 3 from Peru. **Conclusion** This method is rapid, accurate, sensitive, which is suitable for discrimination of Maca from different origins.

KEY WORDS: *Lepidium meyenii*; principal component analysis; cluster analysis; discrimination; mass spectrometry

基金项目: 国家自然科学基金项目(21565033)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (21565033)

*通讯作者: 陈芮, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为生物质谱。E-mail: rui_chen888@163.com

*Corresponding author: CHEN Rui, Associate Professor, College of Chemistry and Chemical Engineering, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China. E-mail: rui_chen888@163.com

1 引言

玛咖(西班牙语: maca), 学名: *Lepidium meyenii* Walp, 原产于南美洲秘鲁海拔 3500 m 以上的安第斯山脉^[1], 其营养成分丰富, 可药食两用^[2]。Dini 等^[3]首次报道玛咖干根中含有的功效成分为生物碱、芥子油苷及其分解产物异硫氰酸苄酯、甾醇、多酚等。这些成分使玛咖具有增强精力、提高生育力、改善性功能^[2,4,5-8]; 治疗更年期综合症、风湿症、抑郁症、贫血症等^[9-13]; 抗癌和抗白血病等^[1,14]等多种保健和治疗功能, 因此获得了“秘鲁人参”的美誉。

由于玛咖生长环境极其特殊, 20 世纪 80 年代后期, 已被联合国基因资源协会列为濒危物种, 并建议世界各国推广种植。随后, 玛咖的引种实验在世界各地纷纷展开。中国已于 2003 年在云南丽江海拔 3000 m 以上的区域引种并获得成功^[15]。玛咖神奇的功效引起了社会广泛的关注, 其巨大的社会和经济效益致使一些不法商贩乘虚而入, 通过以劣充好的手段欺骗消费者进而获取高额利润。

主成分分析法(principal component analysis, PCA)是一种利用降维的思想, 把多个参数转化为少数几个综合参数(即主成分)的统计分析方法^[16]。这种方法具有简化指标体系、方便分析的特点, 因此被广泛应用。聚类分析法(cluster analysis)是一种将研究对象分为相对同质的群组的统计分析技术, 具有直观、简单的特点。本文采用电喷雾电离质谱技术分析了云南和秘鲁等不同产地的玛咖组成, 通过主成分分析和聚类分析成功地对这些玛咖进行了识别, 以期对玛咖及其他食品药品品质鉴定、研究与改进提供参考, 以达到保护消费者利益的目的。

2 材料与方法

2.1 材料、仪器与试剂

标示不同产地的玛咖购于云南省昆明市丰熙茶行。

RY-280A 型多功能粉碎机(永康市锐意机电有限公司); RE-2000A 型旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂); micrOTOF II 型液质联用仪(德国 Bruker Daltonics 公司)。

纯水(杭州娃哈哈集团公司); 甲醇(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 甲酸(色谱纯, 美国 Sigma 公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 样品前处理

称取 1.0 g 样品, 迅速加入 3 mL 70%(V:V)的热甲醇, 搅拌均匀。在 75 °C 水浴中提取 10 min, 离心 10 min, 取上清液。上述方法重复 3 次, 合并提取液, 定容至 10 mL, 过滤。

2.2.2 质谱条件

柱温箱温度: 30 °C; 样品流速: 0.018 mL/min; 离子源温度: 200 °C; 传输线温度: 300 °C; 扫描质量范围: 100~800 amu。

2.2.3 数据分析

利用 SPSS 24.0 统计分析软件对获得的数据进行描述统计、相关性分析、主成分分析和聚类分析。

3 结果与分析

表 1 和表 2 分别给出了正、负离子模式下采用电喷雾电离质谱得到的玛咖甲醇提取物的 m/z 及对应的化合物。

3.1 玛咖成分分析

图 1 中正离子扫描模式的质谱图的基峰均在 m/z 381.0164 处, 是烯丙基芥子油苷与 Na^+ 形成的加合物的信号峰; 负离子扫描模式图的基峰均在 m/z 341.1084 处, 是蔗糖的去质子加合物的信号峰。

分析可知, 秘鲁 1 号玛咖甲醇提取物中含有脂肪酸(2-羟基丁二酸、棕榈酸、亚油酸)、糖类(蔗糖及四糖)、维生素(VB_1)和芥子油苷(烯丙基芥子油苷、苄基-芥子油苷、间-甲氧基-苄基-芥子油苷、3-甲基-亚硫酰基-壬烷基-芥子油苷)等。2 号中除含有阿洛糖以外, 其余成分和 1 号相同; 3 号中没有检测到 3-甲基-亚硫酰基-壬烷基-芥子油苷, 其余成分和 2 号相同。

选择会泽、丽江和香格里拉等产地的玛咖作为研究对象分析其成分的差别。会泽玛咖甲醇提取物的质谱见图 2。其正、负离子扫描模式图的基峰位置与秘鲁玛咖甲醇提取物质谱图对应的基峰相同。会泽 1 号和 3 号甲醇提取物的成分相同, 含有脂肪酸(2-羟基丁二酸、棕榈酸、亚油酸)、糖类(蔗糖、四糖)、维生素(VB_1)、芥子油苷(烯丙基芥子油苷、苄基-芥子油苷、间-甲氧基-苄基-芥子油苷)等。2 号中除含有阿洛糖外, 其余成分与 1 号和 3 号的相同。

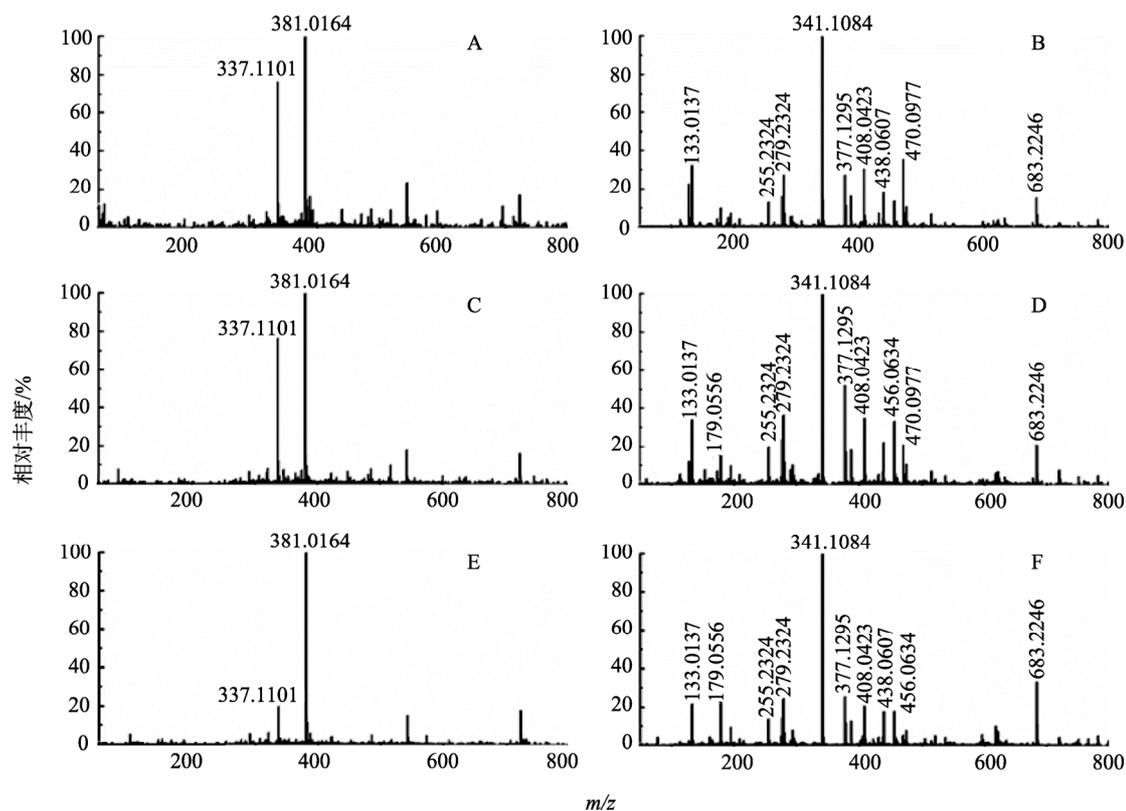
表 1 正离子扫描模式得到的 m/z 与对应的化合物

Table 1 m/z and the corresponding compounds in positive ion mode electrospray ionization mass spectrometry

m/z	加合物的组成	对应化合物
337.1101	[thiamine+2H ₂ O+H] ⁺	维生素 B ₁
368.2953	[N-benzyl-(9Z, 12Z, 15Z)-octadecatrienamido+H] ⁺	N-苄基-(9Z, 12Z, 15Z)-十八碳三烯酰胺
381.0164	[allyl glucosinolate+Na] ⁺	烯丙基芥子油苷

表 2 负离子扫描模式得到的 m/z 与对应的化合物
 Table 2 m/z and the corresponding compounds in negative ion mode electrospray ionization mass spectrometry

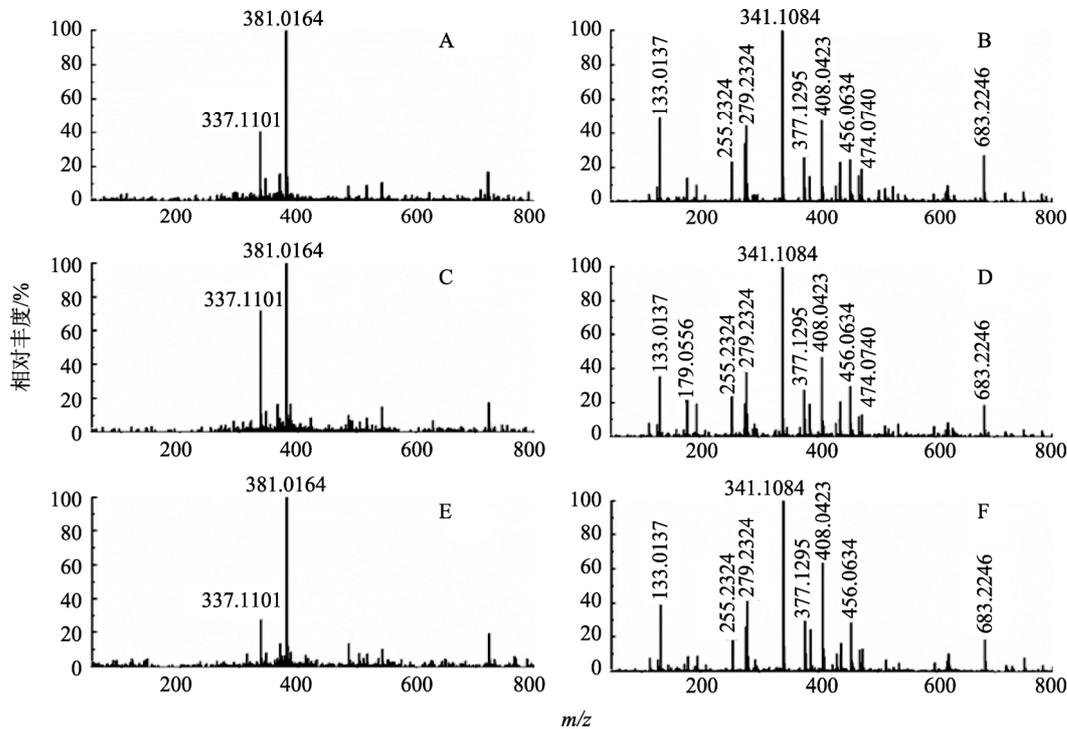
m/z	加合物的组成	对应化合物
133.0137	[2-hydroxysuccinic acid-H] ⁻	2-羟基丁二酸
179.0556	[D-allose-H] ⁻	阿洛糖
255.2324	[palmitic acid-H] ⁻	棕榈酸
279.2324	[linoleic acid-H] ⁻	亚油酸
341.1084	[sucrose-H] ⁻	蔗糖
377.1295	[sucrose+2H ₂ O-H] ⁻	
408.0423	[benzyl glucosinolate-H] ⁻	苜基-芥子油苷
438.0607	[m-methoxybenzyl glucosinolate-K] ⁻	
456.0634	[m-methoxybenzyl glucosinolate+H ₂ O-H] ⁻	间-甲氧基-苜基-芥子油苷
470.0977	[3-methylsulfinylnonyl glucosinolate+2H ₂ O-H] ⁻	3-甲基-亚硫酰基-壬烷基-芥子油苷
474.0740	[m-methoxybenzyl glucosinolate+2H ₂ O-H] ⁻	间-甲氧基-苜基-芥子油苷
683.2246	[tetrasaccharide+H ₂ O-H] ⁻	四糖



注: A: 1 号玛咖正离子模式图; B: 1 号玛咖负离子模式图; C: 2 号玛咖正离子模式图; D: 2 号玛咖负离子模式图; E: 3 号玛咖正离子模式图; F: 3 号玛咖负离子模式图。

图 1 不同等级的秘鲁玛咖甲醇提取物的质谱图

Fig.1 Mass spectra of different grades of methanol extracts from Maca in Peru



注: A: 1号玛咖正离子模式图; B: 1号玛咖负离子模式图; C: 2号玛咖正离子模式图; D: 2号玛咖负离子模式图; E: 3号玛咖正离子模式图; F: 3号玛咖负离子模式图。

图2 不同等级的会泽玛咖甲醇提取物的质谱图

Fig.2 Mass spectra of different grades of methanol extracts from Maca in Huize

在同样的质谱条件下,对丽江玛咖进行了分析,质谱见图3。图3A的基峰位于 m/z 337.1101,是维生素 B_1 和水形成的质子化的加合物峰;其余正离子扫描模式图的基峰与秘鲁样品对应谱图相同;负离子扫描模式检测到的基峰与秘鲁及会泽样品对应谱图相同。

结果表明:1号和2号中含有相同的成分,包括脂肪酸(2-羟基丁二酸、棕榈酸、亚油酸)、糖类(阿洛糖、蔗糖)和维生素(VB_1)、芥子油苷(烯丙基芥子油苷、苜基-芥子油苷、间-甲氧基-苜基-芥子油苷、3-甲基-亚硫酸基-壬烷基-芥子油苷)等。3号中除不含有阿洛糖外,其余成分与1号和2号的相同。

香格里拉玛咖甲醇提取物的质谱见图4。正离子谱图的基峰及1号和2号负离子谱图的基峰与秘鲁样品对应的谱图的基峰相同;3号的基峰在 m/z 408.0423处,是苜基-芥子油苷的去质子加合物的信号峰。

研究表明:香格里拉1号玛咖和2号中的成分相同,含有烯丙基芥子油苷、蔗糖、脂肪酸(2-羟基丁二酸、棕榈酸、亚油酸)、糖类(四糖)、维生素(VB_1)、芥子油苷(苜基-芥子油苷、间-甲氧基-苜基-芥子油苷)等;3号,除含 N -苜基-(9Z, 12Z, 15Z)-十八碳三烯酰胺,不含2-羟基丁二酸、亚油酸、四糖外,其余成分和1、2号相同。

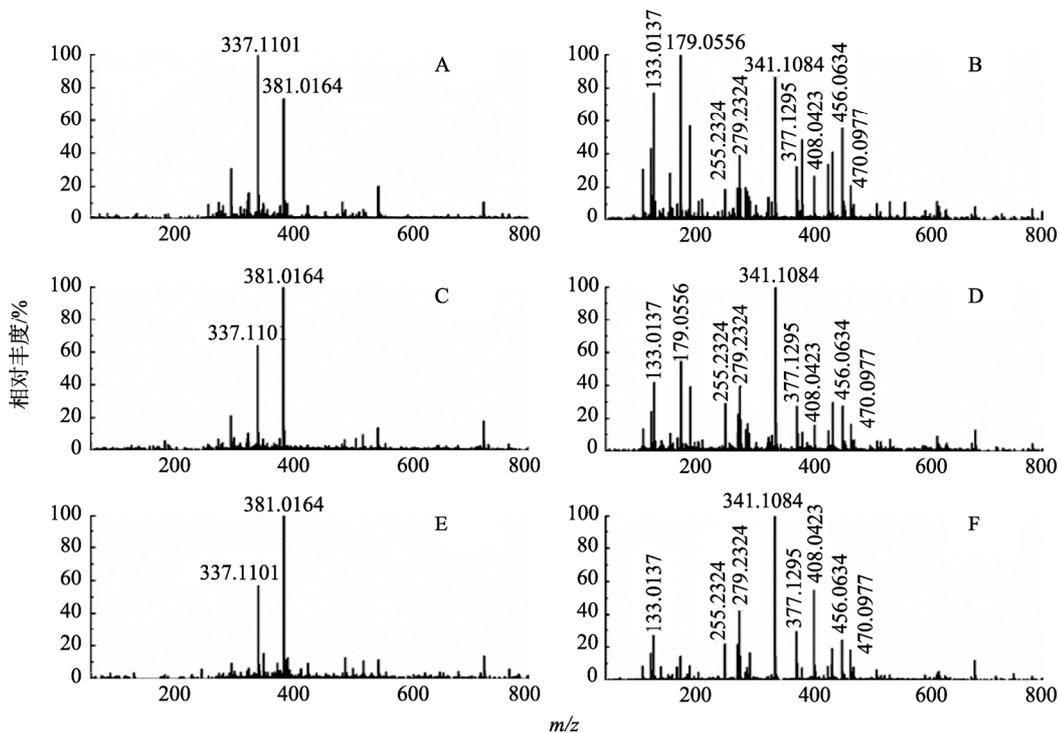
由于种植环境的差异,不同产地的玛咖在主要成分方面均存在差别。

3.2 玛咖的识别

3.2.1 主成分分析

表3给出了12种玛咖主要成分分析的结果。主要成分对应的特征值大于1的4个主要成分的累计贡献率为88.107%(>80%),表明这4个主要成分构成的信息能够反映原来12个变量在12个样品中的88.107%的信息。

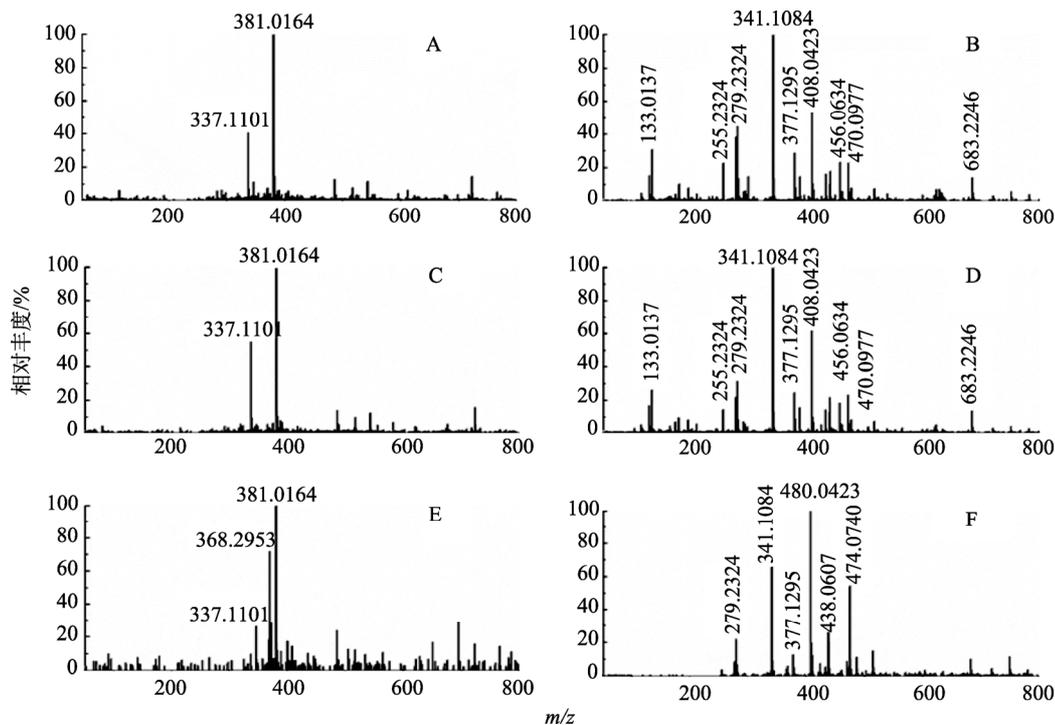
因子载荷反映各指标对主要成分的贡献大小。由表4可知,第一主成分 $F_1=0.289x_1-0.382x_2-0.115x_3+0.325x_4+0.273x_5+0.336x_6+0.288x_7-0.323x_8+0.315x_9+0.168x_{10}-0.385x_{11}+0.045x_{12}$,携带12个变量47.705%的信息,表明蔗糖、维生素 B_1 、亚油酸、间甲氧基-苜基-芥子油苷在 F_1 中起主要作用;第二主成分 $F_2=-0.374x_1-0.139x_2+0.509x_3+0.090x_4-0.027x_5+0.343x_6-0.038x_7-0.142x_8-0.297x_9-0.237x_{10}-0.135x_{11}+0.520x_{12}$,携带12个变量19.921%的信息,表明蔗糖、四糖在 F_2 中起主要作用;第三主成分 $F_3=-0.185x_1-0.165x_2+0.284x_3-0.252x_4-0.297x_5+0.176x_6+0.063x_7+0.118x_8-0.378x_9+0.687x_{10}-0.135x_{11}-0.177x_{12}$,携带12个变量11.065%的信息,表明3-甲基-亚硫酸基-壬烷基-芥子油苷、烯丙基芥子油苷在 F_3 中起主要作用;第四主成分 $F_4=-0.057x_1+0.157x_2+0.335x_3+0.437x_4+0.581x_5+0.102x_6-0.171x_7+0.349x_8-0.128x_9+0.100x_{10}-0.047x_{11}-0.374x_{12}$,携带12个变量9.417%的信息,表明棕榈酸、亚油酸、苜基-芥子油苷在 F_4 中起主要作用。



注: A: 1号玛咖正离子模式图; B: 1号玛咖负离子模式图; C: 2号玛咖正离子模式图; D: 2号玛咖负离子模式图; E: 3号玛咖正离子模式图; F: 3号玛咖负离子模式图。

图 3 不同等级的丽江玛咖甲醇提取物的质谱图

Fig.3 Mass spectra of different grades of methanol extracts from Maca in Lijiang



注: A: 1号玛咖正离子模式图; B: 1号玛咖负离子模式图; C: 2号玛咖正离子模式图; D: 2号玛咖负离子模式图; E: 3号玛咖正离子模式图; F: 3号玛咖负离子模式图。

图 4 不同等级的香格里拉玛咖甲醇提取物的质谱图。

Fig.4 Mass spectra of different grades of methanol extracts from Maca in Shangri-La

表3 主成分分析解释总方差
Table 3 Principal component analysis explains the total difference

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差/%	累积/%	合计	方差/%	累积/%
337.1101	5.725	47.705	47.705	5.725	47.705	47.705
368.2953	2.391	19.921	67.626	2.391	19.921	67.626
381.0164	1.328	11.065	78.691	1.328	11.065	78.691
255.2324	1.130	9.417	88.107	1.130	9.417	88.107
279.2324	0.619	5.155	93.262			
341.1084	0.291	2.425	95.687			
377.1295	0.264	2.200	97.887			
408.0423	0.194	1.614	99.501			
456.0634	0.054	0.450	99.951			
470.0977	0.005	0.041	99.993			
474.0740	0.001	0.007	100.000			
683.2246	5.698×10^{-17}	4.748×10^{-16}	100.000			

表4 载荷矩阵与特征向量
Table 4 Loading matrix and eigenvectors of principal component analysis

m/z	编号	F_1		F_2		F_3		F_4	
		载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量
337.1101	x_1	0.692	0.289	-0.579	-0.374	-0.213	-0.185	-0.061	-0.057
368.2953	x_2	-0.914	-0.382	-0.215	-0.139	-0.190	-0.165	0.167	0.157
381.0164	x_3	-0.275	-0.115	0.787	0.509	0.326	0.284	0.356	0.335
255.2324	x_4	0.778	0.325	0.139	0.090	-0.290	-0.252	0.465	0.437
279.2324	x_5	0.653	0.273	-0.041	-0.027	-0.341	-0.297	0.618	0.581
341.1084	x_6	0.804	0.336	0.530	0.343	0.202	0.176	0.108	0.102
377.1295	x_7	0.688	0.288	-0.059	-0.038	0.072	0.063	-0.182	-0.171
408.0423	x_8	-0.772	-0.323	-0.219	-0.142	0.136	0.118	0.371	0.349
456.0634	x_9	0.753	0.315	-0.460	-0.297	-0.434	-0.378	-0.136	-0.128
470.0977	x_{10}	0.403	0.168	-0.366	-0.237	0.789	0.687	0.106	0.100
474.0740	x_{11}	-0.920	-0.385	-0.208	-0.135	-0.155	-0.135	-0.050	-0.047
683.2246	x_{12}	0.108	0.045	0.804	0.520	-0.203	-0.177	-0.398	-0.374

3.2.2 聚类分析

表5是根据前4个主要成分的贡献率,按照生成主成分的综合得分(F)公式: $F=(0.47705F_1+0.19921F_2+0.11065F_3+0.09417F_4)/0.88107$,计算得到的玛咖成分的综合得分和排名。 F_1 得分最高的是秘鲁3号玛咖; F_2 得分最高的是香格里拉1号玛咖; F_3 得分最高的是香格里拉1号玛咖; F_4 得分最高的是秘鲁1号玛咖;综合得分最高的是秘鲁1号玛咖。分析表明12种玛咖样品经主成分分析后

主要成分存在差异。

以主成分的综合得分作为新变量,以玛咖为标注个案,采用组间联结的聚类分析法对上述玛咖进行聚类分析,分析结果见图5。当平方欧式距离为5时,12种玛咖样品被分成4类。第一类聚集了丽江2号3号、香格里拉1号2号、会泽1号2号、秘鲁1号2号等8个品种。这些玛咖中脂肪酸、糖类、维生素及芥子油苷的含量均匀,成分无明显差别。第二类聚集了秘鲁3号和会泽3号。这是因为其中3-甲基-

亚硫酸基-壬烷基-芥子油苷的含量偏低, 这一结果与主成分分析中 F_3 分析结果一致。其他 2 种自成一类, 其中丽江 1 号的烯丙基芥子油苷含量偏低, 这与主成分分析中 F_3 分析结果一致。香格里拉 3 号苯基-芥子油苷含量偏高, 这一结

果与主成分分析中 F_4 分析结果一致。当平方欧式距离小于 5 时, 秘鲁 1 号 2 号和丽江 2 号聚在一起, 表明这 3 种玛咖的成分及含量接近。这一结果也进一步证实了“丽江玛咖质量可以和秘鲁玛咖质量媲美”的事实。

表 5 玛咖成分的综合得分和排名
Table 5 Comprehensive scores and ranks of the ingredients of Maca

样品	F_1 得分	F_2 得分	F_3 得分	F_4 得分	综合得分	综合排名
秘鲁 1 号	0.321	0.412	-1.278	1.734	0.292	1
香格里拉 1 号	-0.086	0.418	0.940	0.520	0.221	2
丽江 2 号	0.084	0.020	0.917	-0.002	0.165	3
香格里拉 2 号	0.047	0.408	-0.427	0.910	0.161	4
丽江 3 号	-0.103	0.251	0.841	0.489	0.159	5
秘鲁 3 号	0.375	-0.218	-0.209	0.254	0.155	6
会泽 1 号	-0.026	0.291	0.794	-0.800	0.066	7
会泽 2 号	-0.039	0.018	0.621	-0.329	0.025	8
会泽 3 号	0.125	0.012	0.295	-0.850	0.017	9
秘鲁 3 号	0.527	0.164	-1.290	-1.881	-0.041	10
丽江 1 号	-0.063	-1.958	-0.102	0.376	-0.449	11
香格里拉 3 号	-1.162	0.183	-1.101	-0.420	-0.771	12

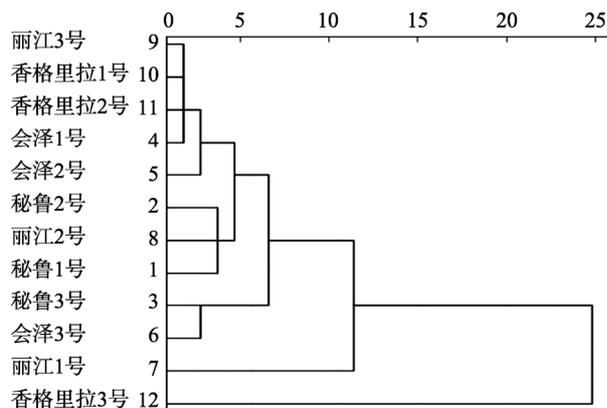


图 5 玛咖功效成分的聚类分析

Fig.5 Dendrogram of hierarchical cluster analysis of efficacious ingredients of Maca

4 结 论

采用电喷雾电离质谱法检测了滇玛咖与秘鲁玛咖甲醇提取物的成分。采用主成分分析法和聚类分析法对这些玛咖进行了鉴别分析。结果表明: 香格里拉 1 号的主要成分和其他玛咖中的主要成分存在显著差异。类间距小于 5 时, 秘鲁 1 号 2 号与丽江 2 号归为一类, 表明“丽江玛咖质量可以与秘鲁玛咖相媲美”。此外, 秘鲁 3 号和会泽 3 号归

为一类, 这表明秘鲁 3 号和会泽 3 号的组成接近。这一结果为鉴定玛咖来源、识别玛咖真伪提供了理论依据。

参考文献

- [1] Hernández BJE, León J. Neglected crops: 1492 from a different perspective [J]. Plant Prod Prot, 1994, 26: 165-179.
- [2] Hermann M. Andean roots and tubers: ahupa, arracacha, maca and yacón [M]. Rome Italy: IPK and IPGRI, 1997.
- [3] Dini A, Micliuolo G, Rastrelli L. Chemical composition of *Lepidium meyenii* [J]. Food Chem, 1994, 49(4): 347-349.
- [4] Zheng BL, He K, Kim CH, et al. Effect of a lipidic extract from *Lepidium meyenii* on sexual behavior in mice and rats [J]. Urol, 2000, 55(4): 598-602.
- [5] Gonzales GF, Miranda S, Nieto J, et al. Red Maca (*Lepidium meyenii*) reduced prostate size in rats [J]. Reprod Biol Endocrinol, 2005, 3(1): 5-20.
- [6] Gonzales GF, Nieto J, Rubio J, et al. Effect of black Maca (*Lepidium meyenii*) on one spermatogenic cycle in rats [J]. Androl, 2006, 38(5): 166-172.
- [7] Gonzales GF. Ethnobiology and ethnopharmacology of *Lepidium meyenii* (Maca), a plant from the Peruvian highlands [J]. Evid-Based Compl Alt Med, 2011, 2012(1741-427X): 193496.
- [8] Li J, Sun Q, Meng Q, et al. Anti-fatigue activity of polysaccharide fractions from *Lepidium meyenii* Walp. (Maca) [J]. Internat J Biol Macromol, 2017, 95: 1305-1311.
- [9] Rubio J, Caldas M, Dávila S, et al. Effect of three different cultivars of *Lepidium meyenii* (Maca) on learning and depression in ovariectomized

- mice [J]. BMC Complem Altert Med, 2006, 6(1): 23–29.
- [10] Brooks NA, Wilcox G, Walker KZ, *et al.* Beneficial effects of *Lepidium meyenii* (Maca) on psychological symptoms and measures of sexual dysfunction in postmenopausal women are not related to estrogen or androgen content [J]. Menopause, 2008, 15(6): 1157–1162.
- [11] Lee MS, Shin BC, Yang EJ, *et al.* Maca (*Lepidium meyenii*) for treatment of menopausal symptoms: A systematic review [J]. Maturitas, 2011, 70(3): 227–233.
- [12] Stojanovska L, Law C, Lai B, *et al.* Maca reduces blood pressure and depression, in a pilot study in postmenopausal women [J]. Climacteric, 2014, 18(1): 69–78.
- [13] Kuang YF, Chen YH. Induction of apoptosis in a non-small cell human lung cancer cell line by isothiocyanates is associated with P53 and P21 [J]. Food Chem Toxicol, 2004, 42(10): 1711–1718.
- [14] 徐敏, 许丽, 宋辉, 等. 玛咖的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2775–2782.
Xu M, Xu L, Song H, *et al.* Research advances on Maca [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(7): 2775–2782.
- [15] 冯颖, 何钊, 徐珑峰, 等. 云南栽培玛咖的营养成分分析与评价[J]. 林业科学研究, 2009, 22(5): 696–700.
Feng Y, He Z, Xu LF, *et al.* Nutritive elements analysis and evaluation of Maca (*Lepidium meyenii*) cultivated in Yunnan [J]. Forest Res, 2009, 22(5): 696–700.
- [16] Pearson K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space [J]. Phil Mag, 1901, 2(2): 559–572.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



潘 蓉, 主要研究方向为化学教育。
E-mail: 1576532151@qq.com



陈 芮, 博士, 副教授, 主要研究方向
生物质谱。
E-mail: rui_chen888@163.com