

云南不同地区玛咖挥发性成分的GC-MS分析

杨 敏, 黄绍军, 朱艳琴, 孙 卉, 贺与平, 杜 萍*
(昆明理工大学分析测试研究中心, 云南 昆明 650093)

摘 要: 采用顶空固相微萃取技术对玛咖中挥发性成分进行富集, 用气相色谱-质谱联用技术对其化学成分进行分离和鉴定, 在云南8个种植区玛咖样品中共检出挥发性成分69种, 共有的挥发性成分有18种。这些成分包括酮类12种、醛类10种、醇类9种、酸类7种、酯类6种、烯炔类6种、杂环化合物5种、腈类4种、芳香族类4种、酚类3种、胺类2种、硫醚类1种。含量较高的挥发性成分是异硫氰酸苄酯、苯甲醛、苯乙腈、乙酸、苯甲醇、二甲基硫醚、3-甲氧基-苯甲醛、4-甲氧基苄基异硫氰酸酯。通过统计比较发现了云南8个不同种植区玛咖挥发性成分存在的差异。

关键词: 玛咖; 挥发性成分; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱联用

GC-MS Analysis of Volatile Components of *Lepidium meyenii* Grown in 8 Areas of Yunnan Province

YANG Min, HUANG Shaojun, ZHU Yanqin, SUN Hui, HE Yuping, DU Ping*

(Research Center for Analysis and Measurement, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: The volatile components of maca from 8 producing regions in Yunnan province were extracted by headspace solid-phase micro-extraction (HS-SPME) and identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). A total of 69 volatile constituents were identified, of which 18 were common to all the tested samples. The identified volatile constituents included 12 ketones, 10 aldehydes, 9 alcohols, 7 acids, 6 esters, 6 alkenes, 5 heterocyclic compounds, 4 nitriles, 4 aromatic compounds, 3 phenols, 2 amines and 1 sulfoether compound. Among these volatile constituents, benzyl isothiocyanates, benzaldehyde, benzyl cyanide, acetic acid, benzyl alcohol, dimethyl sulfide, 3-trimethoxy-benzaldehyde, 3-methoxyphenyl acetonitrile, 4-methoxybenzyl isothiocyanates and *N*-phenylmethylene-benzenemethanamine were predominant. Comparison by Excel and SPSS suggested that there were some differences in the type and content of volatile components identified from maca samples from 8 producing areas in Yunnan province.

Key words: Maca (*Lepidium meyenii*); volatile components; headspace solid-phase micro-extraction (HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602023

中图分类号: R284

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 02-0132-06

引文格式:

杨敏, 黄绍军, 朱艳琴, 等. 云南不同地区玛咖挥发性成分的GC-MS分析[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 132-137.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602023. <http://www.spkx.net.cn>

YANG Min, HUANG Shaojun, ZHU Yanqin, et al. GC-MS analysis of volatile components of *Lepidium meyenii* grown in 8 areas of Yunnan province[J]. Food Science, 2016, 37(2): 132-137. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602023. <http://www.spkx.net.cn>

玛咖 (Maca) 是十字花科 (Cruciferae) 独行菜属 (*Lepidium*) 一年生或两年生草本植物, 原产于秘鲁海拔3 500~4 500 m的安第斯山区^[1-2], 可在无肥料, 缺氧, 昼夜温差大, 长期冰封的独特环境下正常生长^[3]。玛咖是药食两用植物, 不仅营养丰富, 且具有多种保健功效。

玛咖富含矿物元素、维生素、蛋白质、氨基酸等多种营养成分^[4-8], 国内有学者对玛咖营养成分做了大量研究。此外, 玛咖中次级代谢产物主要是其特有的多不饱和脂肪酸 (玛咖烯) 及其酰胺类化合物 (玛咖酰胺)^[9], 芥子油苷^[10-11]、甾醇^[12]及其他生物碱 (如咪唑类生物碱、

收稿日期: 2015-05-25

基金项目: 云南省应用基础研究计划项目 (2012F2040)

作者简介: 杨敏 (1991—), 女, 学士, 研究方向为天然产物分析。E-mail: 742880490@qq.com

*通信作者: 杜萍 (1968—), 女, 高级工程师, 学士, 研究方向为天然产物分析。E-mail: dupin515@163.com

羟基吡啶类生物碱、 β -咔啉生物碱)^[13-14]和多酚^[15]。多年来,研究者证实了玛咖的多个药效保健作用,例如适应原性、增强精力抗疲劳^[16-17]、调节荷尔蒙代谢^[18]、促进性欲提高生育力^[19-20]、增强骨密度^[21]、抗肿瘤、抗氧化抗衰老、抗压力缓解抑郁等。

20世纪80年代后,联合国基因资源协会将玛咖列为濒危物种,联合国粮农组织建议世界各国推广玛咖种植^[22]。中国从2002年开始引进玛咖,2004年在云南丽江、会泽初次试种成功,目前在云南丽江、会泽、香格里拉、西藏林芝、新疆喀什塔什库勒干、青海等地均有种植,但约有90%种植区域在云南。目前云南已经是我国玛咖最大的原料产地和产品初加工地。

因此本实验选取云南省内8个种植区的玛咖为原料,采用固相微萃取技术及气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用技术分析原料中挥发性成分,并进行统计分析,为后续开发利用玛咖本土资源提供部分基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料

本实验所用的玛咖样品来自于云南丽江、香格里拉、会泽等8个玛咖种植区。从8个种植区挑选主根呈类球形或圆锥形,下部有支根2~7条,且支根长3~16 cm,根头部直径1.5~4 cm,且根头部长为3~5 cm,表面颜色为黄白色或暗紫色,质地坚实,气香特异,味微甘而辛辣的完整根茎晾晒干燥粉碎后作为样品。具体产区见表1。

表1 玛咖样品
Table 1 Information about maca samples

样品号	产地	样品号	产地
1	丽江玉龙县黄山镇南溪村满中组	5	会泽县待补镇
2	丽江玉龙县黄山镇南溪村南文坪村	6	会泽县矿山镇
3	香格里拉县小中甸联合乡竹国村	7	会泽县大桥乡
4	香格里拉县大中甸角菜村	8	会泽县大海乡

1.2 仪器与设备

7890A/5975C GC-MS仪(工作站:MSD Chemstation E.02.00.493) 美国Agilent公司; 75 μ m Carboxen- PDMS (polydimethylsiloxane) 萃取头 美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 固相微萃取条件

对固相微萃取条件从萃取头、萃取温度、萃取时间进行优化。选择的复合极性涂层CAR/PDMS萃取头主要是针对痕量有机挥发性物质,对低沸点组分吸附能力和分离能力强。

萃取头的固定相为75 μ m Carboxen-PDMS; 萃取温度: 80 $^{\circ}$ C; 萃取时间: 30 min。

1.3.2 GC-MS条件

色谱柱: HP-5MS弹性石英毛细管柱(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μ m); 载气: 高纯氮(99.999%); 顶空瓶: 20 mL。

GC进样口温度: 260 $^{\circ}$ C; 载气流速: 1 mL/min; 分流比: 10:1; GC-MS接口温度: 280 $^{\circ}$ C; 离子源: 电子电离源, 电子能量: 70 eV; 扫描范围: 全扫描; 色谱柱升温条件: 50 $^{\circ}$ C (2 min) $\rightarrow$ 5 $^{\circ}$ C/min $\rightarrow$ 140 $^{\circ}$ C (1 min) $\rightarrow$ 10 $^{\circ}$ C/min $\rightarrow$ 280 $^{\circ}$ C (1 min)。对色谱分析条件进行优化, 包括色谱柱的选择, 使分析结果具有分离度高、灵敏度高、组分数量丰富等特点。

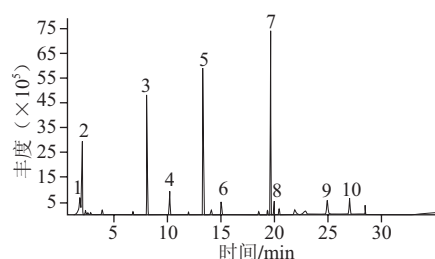
1.3.3 样品测定

取玛咖样品粉末2.0 g于20 mL顶空瓶中, 将顶空瓶放置于80 $^{\circ}$ C水浴中, 用固相微萃取头置于顶空瓶中进行萃取, 萃取时间为30 min, 之后将固相微萃取头插入GC进样口进样, 时间为2 min, 经GC分离后用MS鉴定。

2 结果与分析

2.1 玛咖样品挥发性成分鉴定

对8个产地玛咖样品进行挥发性成分分析, 得到各样品的总离子流图, 图1为具有代表性的丽江南溪文坪玛咖样品的总离子流图。通过对总离子流图进行组分分析, 共鉴定出挥发性成分69种, 利用峰面积归一化法确定各组分所占的相对含量, 见表2。



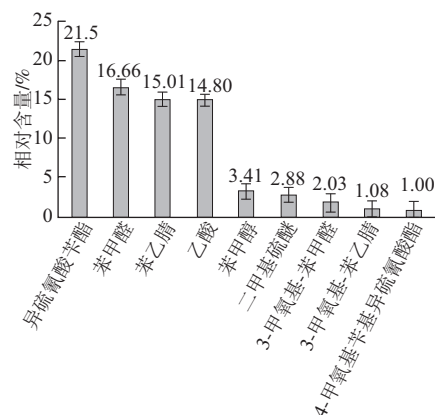
1~10峰化合物依次为二甲基硫醚、乙酸、苯甲醛、苯甲醇、苯乙腈、3-甲氧基-苯甲醛、异硫氰酸苄酯、3-甲氧基-苯乙腈、4-甲氧基苄基异硫氰酸酯、N-苄烯丁胺。

图1 丽江南溪文坪玛咖样品挥发性成分总离子流图

Fig.1 Total ion chromatogram of volatile components of maca from Wenping by GC-MS

2.2 8个地区玛咖样品挥发性成分特点分析

2.2.1 8个地区玛咖样品主要挥发性成分分析



A.丽江南溪满中

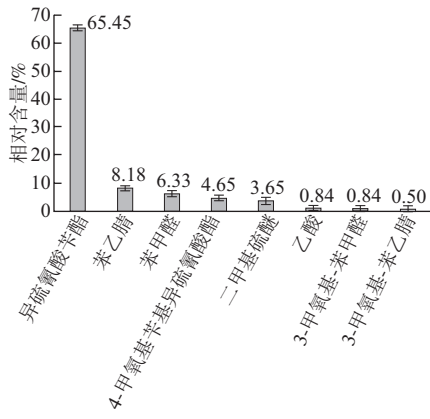
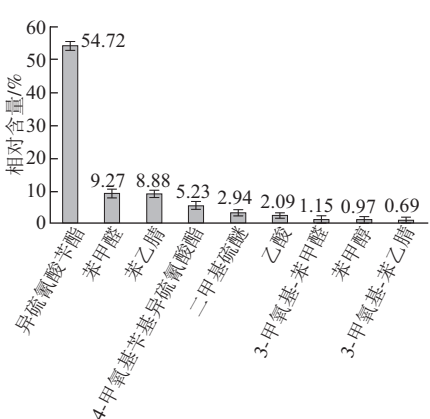
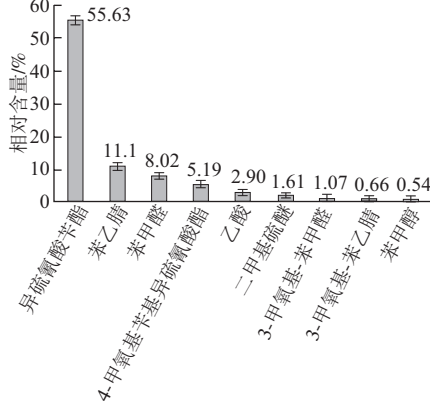
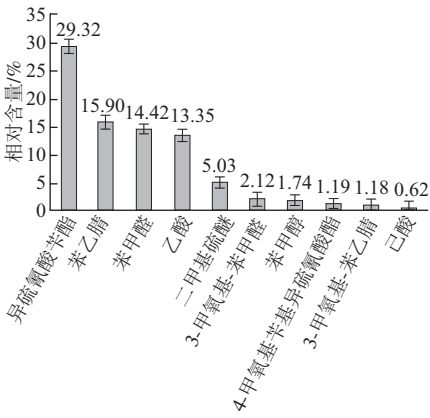
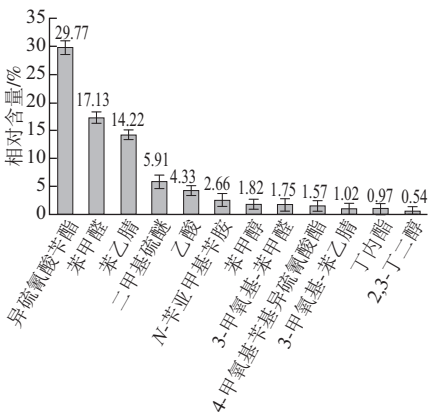
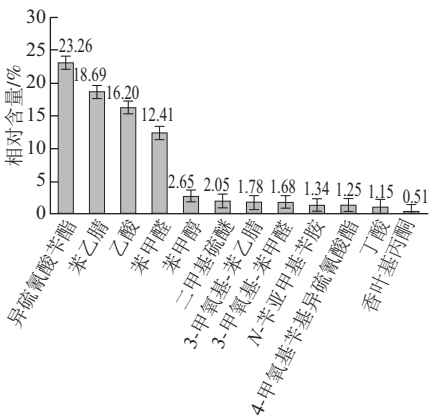
表2 云南8个产地玛咖样品挥发性成分分析结果
Table 2 GC-MS analytical results of volatile components of maca samples from 8 producing areas

编号	化合物中文名	化合物英文名	匹配度	相对含量/%							
				1号样品	2号样品	3号样品	4号样品	5号样品	6号样品	7号样品	8号样品
1	异硫氰酸苄酯	(isothiocyanatomethyl)-benzene	91.75	21.50	23.26	29.32	54.72	29.77	55.63	65.45	86.76
2	苯乙腈	benzyl nitrile	96.63	15.01	18.69	15.90	8.88	14.22	11.10	8.18	0.91
3	苯甲醛	benzaldehyde	96.00	16.66	12.41	14.42	9.27	17.13	8.02	6.33	1.06
4	乙酸	acetic acid	89.00	14.80	16.20	13.35	2.09	4.33	2.90	0.84	0.30
5	4-甲氧基苄基异硫氰酸酯	4-methoxybenzyl isothiocyanateisothiocyanates	78.00	1.00	1.25	1.19	5.23	1.57	5.19	4.65	6.63
6	二甲基硫醚	dimethyl sulfide	95.75	2.88	2.05	5.03	2.94	5.91	1.61	3.65	2.12
7	苯甲醇	benzyl alcohol	97.25	3.41	2.65	1.74	0.97	1.82	0.54	0.45	0.04
8	3-甲氧基-苯甲醛	3-methoxy-benzaldehyde	96.13	2.03	1.68	2.12	1.15	1.75	1.07	0.84	0.20
9	3-甲氧基-苯乙腈	(3-methoxyphenyl)acetonitrile	95.50	1.08	1.78	1.18	0.69	1.02	0.66	0.50	0.15
10	<i>n</i> -苄亚甲基苄胺	<i>n</i> -(phenylmethylene)-benzenemethanamine	96.75	0.68	1.34	0.35	0.39	2.66	0.32	0.13	0.05
11	丁酸	butanoic acid	87.67	0.51	1.15	0.31	—	—	—	—	—
12	己酸	hexanoic acid	75.00	0.36	0.45	0.62	—	—	—	—	—
13	丁内酯	butyrolactone	87.75	0.39	0.41	0.42	0.20	0.97	0.18	0.17	0.02
14	乙酸苯甲酯	benzylacetate	89.25	0.39	0.48	0.36	—	0.07	—	—	—
15	巴豆醛	2-butenal	91.00	0.35	0.45	0.47	0.16	0.28	0.43	0.14	0.02
16	香叶基丙酮	6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one	87.86	0.33	0.51	0.32	0.18	0.34	0.15	0.14	—
17	2,3-丁二醇	2,3-butanediol	85.20	0.26	0.14	0.18	—	0.54	0.15	—	—
18	壬醛	nonanal	88.13	0.45	0.11	0.27	0.28	0.39	0.16	0.21	0.02
19	己醛	hexanal	86.88	0.29	0.14	0.24	0.25	0.22	0.12	0.17	0.11
20	樟脑	camphor	93.63	0.19	0.24	0.20	0.19	0.31	0.16	0.19	0.03
21	2-甲氧基-3-(1-甲基丙基)-吡嗪	2-methoxy-3-(1-methylpropyl)-pyrazine	84.80	—	—	—	0.29	0.25	0.16	0.23	0.01
22	3,5-辛二烯-2-酮	3,5-octadien-2-one	87.75	0.39	0.36	0.26	0.09	0.10	0.10	0.11	0.05
23	薄荷酮	5-methyl-2-(1-methylethyl)-cyclohexanone	97.63	0.25	0.18	0.24	0.20	0.27	0.11	0.17	0.01
24	萘	naphthalene	96.00	0.19	0.21	0.16	0.17	0.19	0.10	0.09	—
25	4-甲氧基苯甲醛	4-methoxy-benzaldehyde	93.33	0.18	0.22	0.23	0.13	0.02	—	0.08	—
26	苯胺	benzylamine	87.00	—	—	—	—	0.14	—	—	—
27	苯乙酸乙酯	ethyl phenylacetate	80.00	—	—	—	0.14	—	—	—	—
28	壬基-环戊烯	nonyl-cyclopentane	74.75	0.18	0.20	—	—	—	0.10	0.08	—
29	1-十五碳烯	pentadecene	78.50	—	0.14	0.13	—	—	—	—	—
30	1,2-丙二醇	1,2-propanediol	84.00	0.12	0.13	0.14	—	—	—	—	—
31	1-苄基-1,2-丙二酮	1-phenyl-2-oxopropan-1-one	83.33	0.08	0.20	0.11	—	—	—	—	—
32	苯丙腈	benzenepropanenitrile	88.00	0.10	0.08	0.09	0.15	0.21	0.11	0.12	—
33	3-羟基-2-丁酮	3-hydroxy-2-butanone	75.00	—	0.18	—	—	0.18	0.10	0.02	—
34	四甲基-吡嗪	tetramethyl-pyrazine	64.00	—	—	—	—	0.12	—	—	—
35	异氰酸苄酯	benzyl isocyanate	95.13	0.12	0.11	0.12	0.12	0.17	0.10	0.09	0.10
36	α -金合欢烯	alpha.-farnesene	82.00	—	—	—	—	—	0.14	0.08	—
37	2,3-二甲基-5-乙基吡嗪	2,3-dimethyl-5-ethylpyrazine	87.00	—	—	0.11	—	—	—	—	—
38	苯酚	phenol	86.00	0.11	—	—	—	—	—	—	—
39	长叶烯	decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-1,4-methanoazulene	96.60	0.10	0.10	0.10	0.09	0.13	—	—	—
40	丁香酚	eugenol	98.00	—	0.10	—	—	—	—	—	—
41	6-甲基-5-庚烯-2-酮	6-methyl-5-hepten-2-one	84.67	0.10	—	—	—	0.14	—	0.04	—
42	糠醇	2-furanmethanol	93.17	0.08	0.06	0.06	0.07	—	0.16	0.12	—
43	3-甲基-丁酸	3-methyl-butanoic acid	72.00	0.09	—	—	—	—	—	—	—
44	苯甲腈	penzonitrile	64.00	—	0.09	—	—	—	—	—	—
45	苯乙醇	phenylethyl alcohol	92.00	0.13	0.11	0.11	0.02	0.08	—	—	—
46	己醇	hexanol	73.50	0.07	—	—	—	0.10	—	—	—
47	1-甲基-萘	1-methyl-naphthalene	87.00	—	0.08	—	—	—	—	—	—
48	2-丁烯酸	crotonic acid	91.00	0.08	0.08	—	—	—	—	—	—
49	2-甲基丙酸	2-methyl-propanoic acid	72.00	—	—	0.08	—	—	—	—	—
50	3,5-辛二烯-2-醇	3,5-octadien-2-ol	80.00	—	—	0.08	—	—	—	—	—
51	2-戊基呋喃	2-pentyl-furan	85.75	0.12	0.05	0.10	0.05	—	—	—	—
52	十六碳烯	hexadecene	87.00	0.08	0.11	0.08	—	—	—	0.04	—
53	苯并环庚三烯	benzocycloheptatriene	90.50	0.09	—	0.06	—	—	—	—	—
54	2-乙基-1-己醇	2-ethyl-1-hexanol	64.00	0.07	—	—	—	—	—	—	—
55	糠醛	furfural	91.57	0.05	0.06	0.06	0.06	0.08	0.10	0.07	—
56	3-辛烯-2-酮	3-octen-2-one	82.00	0.07	0.05	—	—	—	—	—	—
57	1-羟基-2-丁酮	1-hydroxy-2-butanone	64.00	—	0.06	—	—	—	—	—	—
58	3-烯丙基-6-甲氧基苯酚	3-allyl-6-methoxyphenol	91.00	—	—	0.06	—	—	—	—	—
59	庚醛	heptanal	72.00	—	—	—	0.06	—	—	—	—
60	三甲基-吡嗪	trimethyl-pyrazine	76.67	—	0.04	0.05	—	0.08	—	—	—

续表2

编号	化合物中文名	化合物英文名	匹配度	相对含量/%							
				1号样品	2号样品	3号样品	4号样品	5号样品	6号样品	7号样品	8号样品
61	2-庚酮	2-heptanone	75.50	0.05	—	0.05	—	—	—	—	—
62	3-甲氧基苯甲醇	3-methoxybenzyl alcohol	88.50	0.07	0.03	—	—	—	—	—	—
63	3-戊烯-2-酮	3-penten-2-one	64.00	—	—	—	—	—	—	0.05	—
64	1,2-二甲基萘	1,2-dimethyl-naphthalene	91.00	—	0.04	—	—	—	—	—	—
65	2-甲基-丁酸	2-methyl-butanoic acid	72.00	—	—	0.04	—	—	—	—	—
66	1-(2-呋喃基)-乙酮	1-(2-furanyl)-fthanone	83.50	0.04	—	—	—	—	0.02	—	—
67	2-庚烯醛	2-heptenal	73.33	—	—	0.04	—	—	0.02	0.03	—
68	2,6-二异丙基萘	2,6-diisopropyl-naphthalene	98.00	—	—	—	—	—	0.02	—	—
69	戊醛	pentanal	64.00	—	—	—	—	—	—	—	0.02

注：—,未检出。



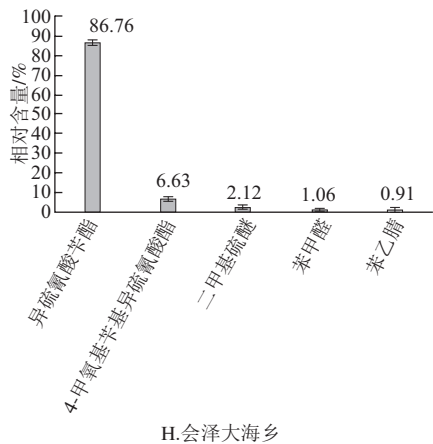


图2 云南8个产地玛咖样品主要挥发性成分
Fig.2 Relative contents of main volatile components in maca from 8 producing areas

表3 云南8个产地玛咖样品挥发性成分相对含量分布区间
Table 3 The distribution interval of relative contents of volatile components in maca from 8 producing areas

产地	总数	化合物种数				
		相对含量 大于50%	相对含量 20%~50%	相对含量 10%~20%	相对含量 1%~10%	相对含量 0.5%~1%
丽江南溪满中	46	0	1	3	5	2
丽江南溪文坪	46	0	1	3	7	1
香格里拉小中甸	44	0	1	3	5	1
香格里拉大中甸	30	1	0	0	6	2
会泽待补镇	34	0	1	2	7	2
会泽矿山镇	31	1	0	1	5	2
会泽大桥乡	32	1	0	0	4	3
会泽大海乡	20	1	0	0	3	1

将表2中相对含量大于或等于0.5%的化合物进行统计筛选,得出表3和图2。可以看出,丽江南溪满中、丽江南溪文坪及香格里拉小中甸的玛咖样品中检测出来的挥发性成分个数最多,达44~46个;会泽大海乡的玛咖样品中检测出来的挥发性成分个数最少,只有20个,其余4个产地的挥发性成分总个数为30~34。相对含量大于或等于0.5%的挥发性成分,除会泽大海乡的样品中只检测出5个以外,其余产地的样品检测出的个数为8~12。丽江南溪满中、丽江南溪文坪、香格里拉小中甸玛咖样品中的异硫氰酸苄酯、苯乙腈、苯甲醛及乙酸的峰值突出且相对含量较高;香格里拉大中甸、会泽待补镇、会泽矿山镇的玛咖样品中异硫氰酸苄酯、苯甲醛、苯乙腈的峰值突出且相对含量较高;会泽大桥乡和会泽大海乡的玛咖样品中异硫氰酸苄酯的峰值突出且相对含量较高。

2.2.2 8个地区玛咖样品共有挥发性成分分析

将表2数据导入SPSS进行统计,8个产地玛咖样品挥发性成分中共有化合物有18种,统计结果见表4。可以看出,8个产地样品中平均相对含量大于1%的共有挥发性成分有异硫氰酸苄酯、苯乙腈、苯甲醛、乙酸、4-甲氧基苄基异硫氰酸酯、二甲基硫醚、苯甲醇、3-甲氧

基-苯甲醛,这8个成分是8个地区玛咖样品主要的共有挥发性成分。

表4 云南8个产地玛咖样品共有挥发性成分分析
Table 4 Common volatile components of maca from 8 producing areas

化合物名称	最小值	最大值	平均含量
异硫氰酸苄酯	21.50	86.76	45.80
苯乙腈	0.91	18.69	11.61
苯甲醛	1.06	17.13	10.66
乙酸	0.30	16.20	6.85
4-甲氧基苄基异硫氰酸酯	1.00	6.63	3.34
二甲基硫醚	1.61	5.91	3.27
苯甲醇	0.04	3.41	1.45
3-甲氧基-苯甲醛	0.20	2.12	1.36
3-甲氧基-苯乙腈	0.15	1.78	0.88
N-苄亚甲基苄胺	0.05	2.66	0.74
丁内酯	0.02	0.97	0.35
巴豆醛	0.02	0.47	0.29
壬醛	0.02	0.45	0.24
己醛	0.11	0.29	0.19
樟脑	0.03	0.31	0.19
3,5-辛二烯-2-酮	0.05	0.39	0.18
薄荷酮	0.01	0.27	0.18
异氰酸苄酯	0.09	0.17	0.12

2.2.3 8个地区玛咖样品相似度评价与聚类分析

为了发现8个产地玛咖挥发性成分的异同,对表2数据做了相似度分析。利用SPSS软件进行了Pearson相关性分析。结果表明,丽江南溪满中、丽江南溪文坪和香格里拉小中甸的玛咖样品挥发性成分相似度不小于0.977;香格里拉大中甸、会泽矿山镇、会泽大桥乡及会泽大海乡的玛咖样品挥发性成分相似度不小于0.974;会泽待补镇的玛咖样品与香格里拉小中甸的玛咖样品相似度达到0.964。

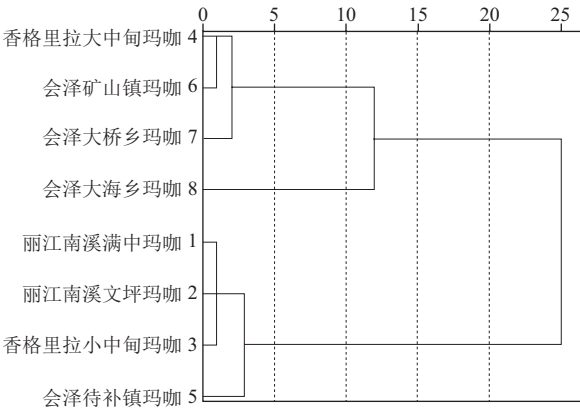


图3 云南8个产地玛咖样品聚类分析谱系图
Fig.3 Hierarchical cluster analysis of volatile components of maca from 8 producing areas

为进一步揭示8个产地玛咖挥发性成分的异同,对表2数据利用SPSS进行系统聚类分析,得到聚类谱系图(图3)。谱系图能直观地显示逐步聚类过程。横坐标为

临界值即类间距离, 临界值越小, 表示谱图越相似。由图3可知, 当临界值为1时, 香格里拉大中甸及会泽矿山镇的玛咖样品聚为了一类; 丽江南溪满中、丽江南溪文坪及香格里拉小中甸的玛咖样品聚为了一类。当临界值为3时, 会泽大桥乡与香格里拉大中甸及会泽矿山镇的玛咖样品聚为了一类; 会泽待补镇与丽江南溪满中、丽江南溪文坪及香格里拉小中甸的玛咖样品聚为了一类; 而会泽大海乡的玛咖样品仍单独为一类。当临界值到达12时, 会泽大海乡与香格里拉、会泽矿山镇及会泽大桥乡玛咖样品聚为了一类。当临界值达到25时, 所有样品聚为了一类。从聚类过程可以看出各地玛咖挥发性成分的相似程度, 也可以看出他们之间存在一定的地域差别。

3 结论与讨论

本实验基本明确了云南8个产地玛咖的主要挥发性成分, 为云南玛咖的进一步研究和开发利用提供了一定的科学依据。通过分析发现, 云南8个地区玛咖最主要的挥发性成分是异硫氰酸苄酯(各产地相对含量皆最高)和苯乙腈(各地皆有且平均含量第2高)。文献[23]发现, 吉林玛咖挥发性主要成分是苯乙腈(88.217%)和3-甲氧基苯乙腈(4.456%); 秘鲁玛咖挥发性主成分是苯乙腈(74.77%); 新疆玛咖挥发性主成分是异硫氰酸苄酯(69.16%)、苯乙腈(21.53%)^[24]。对比这些结论, 本实验得出的云南8个地区玛咖挥发性成分与新疆玛咖更为相似, 主成分倾向于异硫氰酸酯, 而与吉林玛咖和秘鲁玛咖的挥发性主成分倾向于腈类化合物不同。另外, 丽江南溪满中玛咖、丽江南溪文坪玛咖和香格里拉小中甸玛咖挥发性成分非常相似; 香格里拉大中甸玛咖、会泽矿山镇玛咖、会泽大桥乡玛咖及会泽待补镇玛咖挥发性成分非常相似; 而会泽大海乡玛咖则与其他产地玛咖有着相对明显差异。

造成以上这些差异的原因是多样的, 可能是因为气候、土壤、地形及病虫害等生态条件的不同, 或是因为生长时间、采集时期等的不同, 也可能是因为实验方法的不同, 还有可能是从原产地引种过来的玛咖在历经多代繁殖后, 会存在种质交流、种质差异、种源差异。具体原因有待于对玛咖挥发油的进一步分析研究。

参考文献:

- QUIROS C F, CARDENAS R A. Maca[C]/HERMANN M, HELLER J. Andean roots and tubers: ahipa, arracacha, maca and yacon. Rome, Italy: IPGRI, 1997: 175-195.
- LEÓN J. The maca (*Lepidium meyenii*), a little-known food plant of Peru[J]. Economic Botany, 1964, 18(2): 122-127. DOI:10.1007/BF02862707.
- 胡强, 康平德, 杨少华, 等. 云南玛咖种子产业化发展的现状、优势与对策[J]. 种子, 2013, 32(1): 59-62. DOI:10.3969/j.issn.1001-4705.2013.01.017.
- 杜萍, 单云, 孙卉, 等. 云南玛咖营养成分分析[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 345-347.
- 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. DOI:10.3321/j.issn:1001-1498.2009.05.014.
- DINI A, MIGLIUOLO G, RASTRELLI L, et al. Chemical composition of *Lepidium meyenii*[J]. Food Chemistry, 1994, 49(94): 347-349. DOI:10.1016/0308-8146(94)90003-5.
- ZHENG B L, HE K, KIM C H, et al. Effect of a lipidic extract from *lepidium meyenii* on sexual behavior in mice and rats[J]. Urology, 2000, 55(4): 598-602. DOI:10.1016/S0090-4295(99)00549-X.
- 孙晓东, 杜萍, 单云, 等. 丽江玛咖片和秘鲁玛咖片营养成分对比分析和评价[J]. 食品科学, 2011, 32(19): 214-216.
- 高大方, 张泽生. 新资源食品玛咖中功能成分的UPLC-MS/MS研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(2): 830-832; 912. DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2013.02.132.
- 艾中, 程爱芳, 孟际勇, 等. 国产玛咖芥子油苷的组分分析和含量测定[J]. 食品科技, 2012, 37(4): 182-186. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2012.04.011.
- 甘瑾, 冯颖, 张弘, 等. 三种色型玛咖芥子油苷组分及含量分析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(7): 1365-1371. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2012.07.014.
- 甘瑾, 冯颖, 张弘, 等. 三种色型玛咖甾醇组分及含量分析[J]. 林业科学研究, 2013, 26(1): 129-132. DOI:10.3969/j.issn.1001-1498.2013.01.022.
- 杜广香. 玛咖生物碱的分离纯化及抗氧化活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- 王义强, 陈章靖, 王启业, 等. 玛咖药用价值与引种培育研究进展[J]. 经济林研究, 2014, 32(2): 167-172.
- 甘瑾. 玛咖(*Lepidium meyenii* Walp)抗氧化活性及活性物质基础的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2013.
- 金文闻. 药食两用植物玛咖(*Lepidium meyenii*)的功效物质研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- 余龙江, 金文闻. 玛咖(*Lepidium meyenii*)干粉的营养成分及抗疲劳作用研究[J]. 食品科学, 2004, 25(2): 164-166. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2004.02.038.
- GONZALES G F, CORDOVA A, VEGA K, et al. Effect of *Lepidium meyenii* (maca), a root with aphrodisiac and fertility-enhancing properties, on serum reproductive hormone levels in adult healthy men[J]. Journal of Endocrinology, 2003, 176(1): 163-168. DOI:10.1677/joe.0.1760163.
- GONZALES G F, RUIZ A, GONZALES C, et al. Effect of *Lepidium meyenii* (maca) roots on spermatogenesis of male rats[J]. Asian Journal of Andrology, 2001, 3(3): 231-233.
- GONZALES G F, GASCO M, CORDOVA A, et al. Effect of *Lepidium meyenii* (maca) on spermatogenesis in male rats acutely exposed to high altitude (4 340 m)[J]. Journal of Endocrinology, 2004, 180(1): 87-95. DOI:10.1677/joe.0.1800087.
- 张永忠. 玛咖对更年期综合征及骨质疏松的实验研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
- 肖培根, 刘勇, 肖伟. 玛咖: 全球瞩目的保健食品[J]. 国外医药(植物药分册), 2001, 16(6): 236-237. DOI:10.3969/j.issn.1674-5515.2001.06.002.
- 冷蕾, 于淼, 刘金平, 等. 吉林产玛咖根茎挥发油的GC-MS分析[J]. 中国医药指南, 2012, 10(24): 43-45. DOI:10.15912/j.cnki.gocm.2012.24.082.
- 金文闻, 王晴芳, 李硕, 等. 新疆产玛咖的挥发油成分研究[J]. 食品科学, 2009, 30(12): 241-245. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2009.12.055.