

HS-GC-MS 法分析比较十二种西藏红景天样品的挥发性成分*

谢惜媚¹, 陈彬², 刘岚³, 彭俊¹, 徐爱国², 蒋思萍², 陆慧宁¹

(1. 中山大学测试中心, 广东 广州 510275;

2. 西藏自治区高原生物研究所, 西藏自治区 拉萨 850001;

3. 中山大学化学与化学工程学院, 广东 广州 510275)

摘要: 该文建立了西藏红景天的挥发性成分分析方法, 比较不同产地、不同品种红景天中挥发性成分和总离子流图的相似性。将 12 种红景天根样品粉碎, 采用静态顶空-气相色谱-质谱联用法(HS-GC-MS)分析挥发性成分。用 NIST 谱库检索鉴定化合物结构。通过加入参照标准物质的方法计算各挥发性成分在样品中的相对峰面积。采用中药色谱指纹图谱相似度评价系统计算图谱的整体相似度。从 12 个红景天样品中共分析鉴定了 30 个化合物。同种属不同产地样品总离子流图相似度在 0.9 以上; 不同种属之间差异较大(5 个种属间相似度在 0.8~0.4 之间)。HS-GC-MS 方法适用于红景天挥发性化学成分分析。结合指纹图谱分析, 该方法还可以为红景天药材种属和产地鉴别提供参考。

关键词: 红景天; 挥发性成分; 顶空-气相色谱-质谱联用

中图分类号: R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2013)05-0097-06

Analysis of Volatile Components from Twelve *Rhodiola* Compounds by HS-GC-MS

XIE Ximei¹, CHEN Bin², LIU Lan¹, PENG Jun¹, XU Aiguo², JIANG Siping², LU Huining¹

(1. Instrumental and Analysis Research Center, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Tibetan Plateau Institute of Biology, Lasa 850001, China;

3. School of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Twelve *Rhodiola* compounds isolated from Tibetan different growing areas were comminuted. Their components were analyzed using headspace-gas chromatography-mass spectrometry (HS-GC-MS). The results showed the homologies and the differences existed in the relative peak area and the amount of peaks between several samples. This work provides the theoretical foundation for product development for *Rhodiola* from Tibetan.

Key words: *Rhodiola*; volatile component; HS-GC-MS

红景天 (*Rhodiola*) 是景天科红景天属多年生草本植物, 在西藏有 32 种, 具有海拔分布特性, 可生长在 3 000~5 600 m 的灌丛、石缝及乱石滩等环境中。该属植物的大多数种的根茎可入药, 其中大花红景天 (*Rhodiola crenulata*)、柴胡红景天

(*Rhodiola bupleuroides*) 和长鞭红景天 (*Rhodiola fastigiata*) 等为藏医用药的主要种属, 均有抗缺氧、抗疲劳的功效, 还有治疗心血管疾病和肺结核的功效^[1]。临床上红景天已开始用于预防高原反应、延缓衰老, 治疗冠心病、心绞痛、心律失常、

* 收稿日期: 2013-08-12

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2012CB722905)

作者简介: 谢惜媚(1962年生), 女; 研究方向: 化学分析; 通讯作者: 蒋思萍, 陆慧宁; E-mail: jiangsiping2003@yahoo.com.cn

抗肿瘤及化疗的辅助用药^[2], 崔艳梅等^[3]对红景天属植物化学成分及药理作用研究进展作了较系统的综述, 红景天活性成分主要为红景天苷、红景天素及红景天多糖等。Yang 等^[4]从大花红景天根醇溶性部分分离鉴定了 37 个化合物, 其中包含在红景天中新发现的 11 个木质素及 1 个苯丙腈化合物, 37 个化合物对 α -葡萄糖苷酶均具有强烈的抑制活性。对西藏红景天挥发油化学成分研究的相关报道主要都采用水蒸汽蒸馏提取、气质联用分析法, 含量较高的挥发性成分有香叶醇、正辛醇和芳樟醇等^[5-7], Lei 等^[8]采用 GC-MS 分析比较了西藏大花红景天与云南大花红景天的挥发油成分, Wang 等^[9]采用 HS-GC-TMS 法分析了高山红景天与圣地红景天的挥发性化合物。Ljuba 等^[10]采用 GC-MS 分析比较了保加利亚、中国和印度的三个蔷薇红景天样品的挥发油成分。保加利亚红景天主要成分是香叶醇其次是桃金娘烯醇; 中国红景天主要成分是香叶醇, 其次是正辛醇; 印度红景天主要成分是苯乙醇, 其次是桃金娘烯醇和正辛醇。

目前开发应用最为成熟的是大花红景天, 已有多种药品和功能性饮品。青藏高原独特气候造成大多数植物生长缓慢, 某些红景天种属的大量采掘导致这些品种逐渐面临濒危的境地, 寻找其他替代品种成为了迫切的工作。本文采集到了西藏不同地区红景天的 5 个种属 12 个样品, 采用 HS-GC-MS 的方法对所采集的红景天样品进行挥发性化学成分及相对含量进行分析, 比较了它们成分上的异同以及总离子流图的相似度。结合指纹图谱分析, 该方法还可以为红景天药材种属和产地鉴别提供参考。

1 实验部分

1.1 仪器及条件

美国 Thermo Fisher Scientific TSQ Quantum XLS 串联四级杆气-质联用仪, 带 TriPlus RSH 三合一自动进样器 (采用自动顶空进样功能)。色谱柱 TG-5SILMS (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m), 载气 He, 流量 1 mL/min; 进样针保温 100 $^{\circ}$ C, 进样口温度 250 $^{\circ}$ C, 进样量 1 mL, 分流进样, 分流比 20:1; 柱起始温度 50 $^{\circ}$ C, 保持 3 min, 以 5 $^{\circ}$ C/min 升至 100 $^{\circ}$ C, 然后以 10 $^{\circ}$ C/min 升至 200 $^{\circ}$ C, 再以 20 $^{\circ}$ C/min 升至 250 $^{\circ}$ C 保持 1 min; 电离方式 EI; 接口温度 250 $^{\circ}$ C, 离子源温度 250 $^{\circ}$ C; 电离能 70 eV; 倍增器电压 800 V; 采用 Q3MS 全扫描模式, 扫描质量范围 29 ~ 500 amu。标准谱库为美国 NIST 11 谱库。

1.2 样品采集、鉴定与处理

样品采自西藏拉萨、山南、林芝和那曲等地区 9 县。样品经西藏高原生物研究所李晖研究员鉴定, 6 个为大花红景天, 2 个为小丛红景天 (*Rhodiola dumulosa*), 2 个为长鞭红景天, 1 个为喜马红景天, 1 个为柴胡红景天 (见表 1)。样品切片、阴干, 用粉碎机粉碎, 过 50 目筛, 玻璃瓶储存备用。

表 1 红景天样品

Table 1 The *Rhodiola* amples

种属	样品编号	采集地点	采集季节
大花红景天 (<i>Rhodiola crenulata</i>)	1	墨竹工卡县米拉山	秋季(10月)
	2	林芝县色季拉山	秋季(10月)
	3	朗县	秋季(10月)
	4	米林县	秋季(10月)
	5	那曲县	秋季(10月)
	6	桑日县	秋季(10月)
长鞭红景天 (<i>Rhodiola fastigiata</i>)	7	工布江达县(一)	春季(3月)
	8	工布江达县(二)	秋季(10月)
小丛红景天 (<i>Rhodiola dumulosa</i>)	9	当雄县	春季(3月)
	10	那曲县	秋季(10月)
喜马红景天 (<i>Rhodiola himalensis</i>)	11	墨竹工卡财神湖	春季(3月)
柴胡红景天 (<i>Rhodiola bupleuriodes</i>)	12	林周县恰拉山	春季(3月)

1.3 实验条件的选择

1.3.1 取样量的选择 分别称取样品 (准确至 1 mg) 0.50、1.00、1.50 g 于 20 mL 顶空瓶中, 100 $^{\circ}$ C 恒温 30 min, 间歇自动震荡 10 s, 停止 10 s。各取 1.0 mL 顶空气体进样实验, 结果显示取样量 1.00 g 的总离子流图各峰形强度及对称性为最佳。

1.3.2 平衡时间及平衡温度的选择 各取样品 1.00 g (准确至 1 mg) 分别进行平衡温度 80、100、120 $^{\circ}$ C 平衡时间 10、20、30、40 min 的正交实验, 得出平衡时间 30 min、平衡温度 100 $^{\circ}$ C 为最佳实验条件。

1.3.3 参照物及加入量的选择 首先考虑所选参照物是所测样品中不含该成分, 且该化合物与所测挥发性成分性质接近, 同时能够基线分离。初步实验结果显示, 所有检测的红景天样品中均不含薄荷脑成分, 因此选择了薄荷脑作为参照物。各取 1.00 g (准确至 1 mg) 样品分别加入浓度为 12.58 mg/mL 的薄荷脑/甲醇溶液 3.0、5.0、10.0 μ L 在上述条件下进行实验, 结果显示在此范围内薄荷脑的加入量与峰面积之间线性关系良好, $R^2 = 0.998$ 。

选择 1.00 g 样品加入 3.0 μL 上述参照物溶液进行测试，能使参照物峰强度落在样品中各挥发性成分峰的强度之间。

1.3.4 样品测试条件 取红景天样品约 1.00 g 置 20 mL 顶空瓶中，加入浓度为 12.58 mg/mL 的薄荷脑/甲醇溶液 3.0 μL ，在 100 $^{\circ}\text{C}$ 震荡加热 30 min，进样针 100 $^{\circ}\text{C}$ 预热，抽取 1.0 mL 上层气体，按

“1.2.1 仪器及条件”进样。

1.4 重复性实验

取同一种大花红景天样品 1.00 g（准确至 1 mg）6 份，每份加入浓度为 12.58 mg/mL 的薄荷脑/甲醇溶液 5.0 μL ，分别进行测试分析，计算该样品中检测到的 21 个挥发性成分与参照物的相对峰面积，结果见表 2。

表 2 大花红景天样品的重复性实验结果

Table 2 Relative peak areas of different volatile components

编号	t_{R}/min	相对峰面积						平均值	RSD%
		1	2	3	4	5	6		
1	6.09	0.106	0.103	0.108	0.107	0.098	0.094	0.103	5.24
2	7.31	0.106	0.108	0.103	0.110	0.107	0.093	0.104	5.83
3	7.56	0.177	0.174	0.173	0.180	0.167	0.155	0.171	5.22
4	9.07	0.118	0.115	0.113	0.117	0.114	0.101	0.113	5.34
5	9.36	0.189	0.168	0.170	0.180	0.172	0.160	0.173	5.79
6	9.49	0.417	0.399	0.419	0.413	0.393	0.360	0.400	5.53
7	9.65	0.421	0.421	0.401	0.429	0.401	0.366	0.406	5.63
8	9.75	0.480	0.493	0.479	0.506	0.465	0.473	0.483	3.03
9	10.16	0.200	0.181	0.180	0.189	0.167	0.168	0.181	6.92
10	10.50	0.081	0.081	0.072	0.078	0.084	0.067	0.077	8.29
11	10.73	0.220	0.213	0.209	0.218	0.205	0.187	0.209	5.72
12	10.89	0.336	0.333	0.319	0.351	0.330	0.293	0.327	5.99
13	11.09	0.204	0.187	0.175	0.190	0.188	0.161	0.184	7.87
14	11.42	0.238	0.242	0.231	0.242	0.243	0.211	0.234	5.24
15	12.17	1.534	1.575	1.661	1.597	1.576	1.555	1.583	2.78
16	12.66	0.297	0.355	0.360	0.343	0.334	0.325	0.336	6.90
17	13.06	1.062	1.034	1.049	1.063	1.085	1.009	1.051	2.51
18	14.21	0.052	0.047	0.052	0.053	0.054	0.053	0.052	4.58
19	15.09	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
20	15.76	0.119	0.109	0.109	0.128	0.117	0.102	0.114	8.03
21	16.56	0.666	0.609	0.741	0.683	0.653	0.702	0.676	6.63
22	18.69	0.130	0.113	0.122	0.119	0.129	0.129	0.124	5.50

从表 2 结果可以看出，同一样品进行 6 个平行样测试，21 个挥发性成分与参照物的相对峰面积的 RSD < 8.5% ($n = 6$)，由此可见本方法用于红景天样品中微量的挥发性成分测定是可行的。

2 样品测试与结果讨论

2.1 样品测试

按照取样品 1.00 g（准确至 1 mg）于 20 mL 顶空瓶中，加入浓度为 12.58 mg/mL 的薄荷脑/甲醇溶液 3.0 μL ，100 $^{\circ}\text{C}$ 平衡 30 min，抽取上层气体 1.0 mL 顶空进样的测试条件，分别对 12 种红景天样品进行测试，每个样品各进行 2 次平行试验，各种红景天典型的总离子流图见图 1；12 种样品共检出 30 个组分（表 3 中序号为 27 的成分是内标物），检索结果见表 3；计算样品中各组分与参照物薄荷

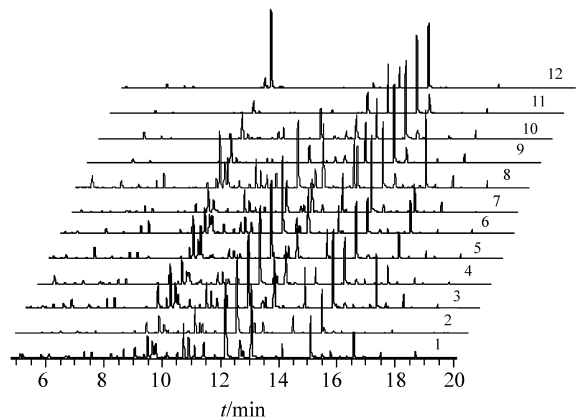


图 1 12 种红景天挥发性成分的总离子流色谱图
Fig. 1 Total ion chromatograms of volatile composition from twelve *Rhodiola*

1~6、*Rhodiola crenulata*；7~8、*Rhodiola fastigiata*；9~10、*Rhodiola dumulosa*；11、*Rhodiola himalensis*；12、*Rhodiola bupleuriodes*

脑的相对峰面积, 2 次平行测试结果取平均值见表 4; 用中药色谱指纹图谱相似度评价系统 (2004A 版) 计算各样品与 6 号样品谱图的相似度见表 5。

2.2 结果讨论

2.2.1 成分定性和相对量比较 表 3 列出了 12 个样品所含共 30 个挥发性成分的定性鉴定结果。大花红景天含其中的 25 个成分, 含量较高的成分是正辛醇、芳樟醇、甲基庚烯酮和伞花烃等。据文献报道, 用水蒸汽蒸馏法提取的西藏大花红景天主要挥发性成分为香叶醇、正辛醇和芳樟醇等。本实验采用直接顶空法测定的大花红景天主要成分为正辛醇及芳樟醇, 与文献报道基本一致。由于顶空平衡温度相对较低, 高沸点的香叶醇测定结果比水蒸汽

蒸馏法偏低。长鞭红景天含其中 24 个成分, 含量较高的成分是正辛醇、芳樟醇、甲基庚烯酮、伞花烃和香叶醇等, 与大花红景天比较接近, 不同的是该品种含有反式-松香芹醇。小从红景天含有 13 个挥发性成分, 含量较高的成分是正辛醇和甲基庚烯酮, 还含有大花红景天所没有的苯乙醇。喜马拉雅红景天含有其中 12 个成分, 含量较高的成分是苯乙醇 (相对峰面积 0.35, 占该样品挥发性成分相对含量 31.4%), 大花红景天及长鞭红景天均不含有该成分。柴胡红景天仅含 6 个挥发性成分, 主要挥发性成分则是 β -蒎烯 (相对峰面积 1.39, 占该样品挥发性成分相对含量 75.4%)。

表 3 红景天挥发性成分检索结果

Table 3 Chemical components of volatile composition from *Rhodiolas*

编号	t_R /min	化合物名称	M_w	分子式	相似度
1	5.10	3-Methyl-2-butenyl formate 3-甲基-2-丁烯-1-醇甲酸酯	114	$C_6H_{10}O_2$	872
2	6.06	1-Hexanol 正己醇	102	$C_6H_{14}O$	811
3	7.29	3, 3, 5-Trimethylcyclohexene 3, 3, 5-三甲基环己烯	124	C_9H_{16}	858
4	7.54	Prenyl acetate 乙酸-2-异戊烯酯	128	$C_7H_{12}O_2$	861
5	8.21	2-Carene 2-萜烯	136	$C_{10}H_{16}$	842
6	8.65	D-Limonene D-柠檬烯	136	$C_{10}H_{16}$	878
7	8.79	Benzaldehyde 苯甲醛	106	C_7H_6O	808
8	9.05	2-ethenyltetrahydro-2, 6, 6-trimethyl-2H-Pyran 2-乙炔基-2, 6, 6-三甲基四氢-2H-吡喃	154	$C_{10}H_{18}O$	829
9	9.36	1-Octen-3-ol 1-辛烯-3-醇	128	$C_8H_{16}O$	831
10	9.47	Sulcatone 甲基庚烯酮	126	$C_8H_{14}O$	820
11	9.63	β -Pinene β -蒎烯	136	$C_{10}H_{16}$	870
12	9.74	Sulcatol 甲基庚烯醇	128	$C_8H_{16}O$	830
13	10.15	(E)-2, 6-Dimethyl-1, 3, 5, 7-octatetraene (E)-2, 6-二甲基-1, 3, 5, 7-辛四烯	134	$C_{10}H_{14}$	801
14	10.50	Terpinolene 萜品油烯	136	$C_{10}H_{16}$	875
15	10.73	cymene 伞花烃	134	$C_{10}H_{14}$	890
16	10.88	L-Limonene L-柠檬烯	136	$C_{10}H_{16}$	873
17	10.99	Eucalyptol 桉树脑	154	$C_{10}H_{18}O$	861
18	11.08	trans- β -Ocimene 反式- β -罗勒烯	136	$C_{10}H_{16}$	893
19	11.41	β -Ocimene β -罗勒烯	136	$C_{10}H_{16}$	874
20	12.16	1-Octanol 正辛醇	130	$C_8H_{18}O$	827
21	12.66	cis-Linalool oxide 顺式氧化芳樟醇	170	$C_{10}H_{18}O_2$	845
22	12.77	p-Cymenene 4-异丙烯基甲苯	132	$C_{10}H_{12}$	897
23	13.05	β -Linalool 芳樟醇	154	$C_{10}H_{18}O$	869
24	13.19	Nonanal 壬醛	142	$C_9H_{18}O$	845
25	13.40	Benzeneethanol 苯乙醇	122	$C_8H_{10}O$	814
26	14.21	trans-(-)-Pinocarveol (-)-反式-松香芹醇	152	$C_{10}H_{16}O$	834
27	15.09	Levomenthol 薄荷脑	156	$C_{10}H_{20}O$	890
28	15.52	Myrtenol 桃金娘烯醇	152	$C_{10}H_{16}O$	809
29	15.76	n-Octyl acetate 正辛醇乙酸酯	172	$C_{10}H_{20}O_2$	857
30	16.57	Nerol 香叶醇	154	$C_{10}H_{18}O$	868
31	18.69	Nerol acetate 香叶醇乙酸酯	196	$C_{12}H_{20}O_2$	820

表 4 红景天挥发性成分相对含量（以与内标物的相对峰面积表示）

Table 4 Relative contents of volatile composition from *Rhodiolas* (represent by the relative peak area with internal standard)

编号	t_R /min	挥发性成分相对峰面积											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	5.10				0.22				0.25				
2	6.06		0.10	0.16	0.12	0.22	0.21		0.15	0.08	0.12	0.05	0.10
3	7.29	0.16	0.07	0.14	0.11	0.10	0.25	0.09	0.13				
4	7.54	0.15		0.16	0.13	0.10	0.44	0.05	0.25				
5	8.21	0.13											
6	8.65	0.24											
7	8.79											0.02	
8	9.05	0.30	0.26	0.37	0.23		0.23	0.12	0.11	0.04	0.09	0.03	
9	9.36		0.04	0.14	0.08	0.18	0.26	0.04	0.19				
10	9.47	0.61	0.49	0.69	0.58	0.76	0.97	0.32	1.07	0.37	0.36	0.21	0.23
11	9.63	0.50	0.23	0.48	0.36	0.33	0.77	0.25	0.56	0.09	0.08	0.05	1.39
12	9.74	0.41		0.26	0.31	0.48	0.76		0.64			0.02	
13	10.15	0.18	0.07	0.17	0.15	0.08	0.40	0.08	0.23				
14	10.5	0.12	0.06	0.05			0.15						
15	10.73	0.85	0.58	0.37	0.24	0.17	0.38	0.32	0.49	0.07	0.10		
16	10.88	0.59	0.22	0.27	0.28	0.14	0.60	0.18	0.33	0.05	0.18	0.02	
17	10.99		0.22										
18	11.08	0.33	0.06	0.14	0.11	0.07	0.35	0.07	0.23				
19	11.41	0.39	0.07	0.16	0.11	0.10	0.44	0.07	0.25				
20	12.16	2.36	2.51	1.21	1.98	1.60	3.01	0.51	1.38	0.28	0.46	0.06	0.02
21	12.66	0.62	0.80	0.17	0.51	0.17	0.74	0.12	0.21				
22	12.77					0.20		0.11	0.33	0.04			
23	13.05	2.10	0.26	0.84	0.88	0.52	1.51	0.47	1.17	0.08	0.11	0.03	
24	13.19											0.02	0.09
25	13.40									0.11	0.28	0.35	0.02
26	14.21							0.16	0.74				
27	15.09	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
28	15.52					0.10		0.14	0.29	0.22	0.16	0.26	
29	15.76	0.14	0.05			0.05	0.13		0.05				
30	16.57	0.59	0.04	0.64	0.35	0.47	0.88	0.32	1.15	0.05	0.03		
31	18.69	0.13	0.02	0.04	0.03	0.08	0.11		0.09				

在表 4 中，用添加的参照物薄荷脑（保留时间 15.09 min）的峰面积校准各成分在不同样品中的相对含量，使表 4 的数据间具备可比性。

统计表 4 数据，样品 1 至 12 的挥发物总量（相对峰面积总和）依次为：10.9，6.1，6.5，6.8，5.9，12.6，3.4，10.3，1.5，2.0，1.1、1.8。可以看出，样品 9、10、11、12 的总挥发物含量与其他样品相比偏少。

以上定性和定量结果表明，长鞭红景天挥发性成分及含量与大花红景天较接近，而小丛红景天、喜马拉雅红景天和柴胡红景天与大花红景天相比差异较大。

2.2.2 TIC 谱图的相似度比较 采用中药色谱指纹图谱相似度评价系统，以峰较多的 6 号大花红景天样品为参照，对其它 11 种红景天样品的 TIC 图

进行比较分析，结果列于表 5。由表 5 可见：采自不同地区的大花红景天样品相似度较高，基本都在 0.9 以上（其中 2 号样品的相似度偏低，样品中氧化芳樟醇含量比芳樟醇高，这可能与样品处理过和保存过程的偶然因素有关，原因有待考证）。样品 7、8 是同地区不同季节采集的两个长鞭红景天样品，它们与 6 号大花红景天谱图相似度分别是 0.831 和 0.870，在所分析的 5 个红景天品种中，长鞭红景天与大花红景天的相似度最高。将两个长鞭红景天进行对比，相似度为 0.856，显示由于采集季节不同，挥发性成分存在一定差异。样品 9、10 是不同季节采自不同地区的小丛红景天，与 6 号大花红景天谱图相似度分别是 0.623 和 0.655，差异比较大，同样对两个小丛红景天样品的 TIC 谱图比较，相似度为 0.710，显示由于采集季节和地

区不同, 样品间差异较大。样品 11 是喜马红景天, 样品 12 是柴胡红景天。它们与 6 号大花红景天相比, 其相似度分别为 0.483 和 0.433, 存在很大差异。

表 5 各样品与 6 号样品 TIC 谱图的相似度

Table 5 The TIC similarity between 6 and other samples

种属	样品编号	相似度
大花红景天 (<i>Rhodiola crenulata</i>)	1	0.931
	2	0.794
	3	0.923
	4	0.943
	5	0.900
	6	1.000
长鞭红景天 (<i>Rhodiola fastigiata</i>)	7	0.831
	8	0.870
小丛红景天 (<i>Rhodiola dumulosa</i>)	9	0.623
	10	0.655
喜马红景天 (<i>Rhodiola himalensis</i>)	11	0.483
柴胡红景天 (<i>Rhodiola bupleuriodes</i>)	12	0.433

以上分析得到初步结论: 红景天的 TIC 谱图相似度与品种、采样季节和产地相关。其中相同品种、相同采样季节、不同产地间差异较小(如 5 个大花红景天间相似度在 0.9 以上)。品种间差异较大(5 个种属相似度在 0.8 ~ 0.4 之间); 同品种、同产地不同采样季节也存在一定差异(如 7、8 的相似度约为 0.85); 同品种、不同产地不同采样季节的差异进一步扩大(如 9、10 间的相似度约为 0.7, 基本符合产地和季节两个因素的叠加)。由此得到结论: 相似度受品种、采样季节和产地三个因素的影响程度依次降低。

成分定性和相对量分析与色谱指纹图谱相似度评价结果相当一致。前者从化学结构的角度解析每个挥发性成分, 作为基础研究是必不可少的。

后者从统计学的角度评价样品之间的相似程度更为系统和科学。两者相结合, 更有利于对不同种属、采集季节和产地的红景天进行全面地鉴别和评估。

参考文献:

- [1] 倪志诚. 西藏经济植物志[M]. 北京: 科学技术出版社, 1990: 250 - 262.
- [2] 郑虹, 马军杰. 红景天适应原样作用的研究进展[J]. 高原医学杂志, 2005, 15(3): 62 - 64.
- [3] 崔艳梅, 娄安如, 赵长琦. 红景天属植物化学成分及药理作用研究进展[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2008, 44(3): 328 - 333.
- [4] YANG Yanan, LIU Zhaozhen, FENG Ziming, et al. Lignans from the root of *Rhodiola crenulata* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60: 964 - 972.
- [5] 黄荣清, 吴德雨, 骆传环, 等. 气相色谱 - 质谱法分析西藏红景天挥发油成分[J]. 中国中药杂志, 2006, 31(8): 693 - 694.
- [6] 韩泳平, 陈胡兰, 宋学伟, 等. 藏药大花红景天挥发油化学成分的气相色谱 - 质谱分析[J]. 华西药学期刊, 2005, 20(2): 104 - 106.
- [7] 韩泳平, 宋学伟, 李远森, 等. 大花红景天挥发性提取物制备方法比较研究[J]. 中国药学期刊, 2005, 40(13): 973 - 974.
- [8] LEI Yidong, NAN Peng, TSERING Tashi, et al. Inter-population variability of rhizome essential oils in *Rhodiola crenulata* from Tibet and Yunnan, China [J]. Biochemical Systematics Ecology, 2004, 32(6): 611 - 614.
- [9] WANG Haoyang, GUO Yinlong. Rapid analysis of the volatile compounds in the rhizomes of *Rhodiola sachalinensis* and *Rhodiola sacra* by static headspace-gas chromatography - tandem mass spectrometry [J]. Analytical Letters, 2004, 37(10): 2151 - 2161.
- [10] LJUBA Evstatiyeva, MILKA Todorova, DANIELA Antonova, et al. Chemical composition of the essential oils of *Rhodiola rosea* L. of three different origins [J]. Pharmacognosy Magazine, 2010, 6(24): 256 - 258.