

基于灰色关联度分析与 TOPSIS 模型的不同产地锁阳综合质量评价

马转霞¹, 孙岚萍¹, 顾志荣^{2*}, 吴国泰³, 马天翔¹, 祁梅², 许爱霞², 葛斌^{2*}
(1. 甘肃中医药大学药学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省人民医院药剂科, 甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃省中药药理与毒理学重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: **目的** 基于灰色关联度分析与 TOPSIS 模型, 综合评价不同产地锁阳的质量。 **方法** 测定 4 个市级产地的 30 批锁阳中没食子酸、原儿茶酸、儿茶素、总多糖、总黄酮的含有量, 采用灰色关联度分析与 TOPSIS 模型评价综合质量。 **结果** 灰色关联度分析与 TOPSIS 模型的综合评价结果基本一致, 在排名前 15 的锁阳样品中, 酒泉市金塔县、敦煌市所产的锁阳样品均占样本总数的 13.33%, 高于其他产地。 **结论** 不同产地锁阳药材存在质量差异, 酒泉市金塔县、敦煌市所产锁阳药材质量较好。所建方法可用于锁阳药材的综合质量评价。
关键词: 锁阳; 产地; 综合评价; 灰色关联度分析; TOPSIS 模型
中图分类号: R282 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1528(2020)10-2680-07
doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2020.10.027

Comprehensive quality evaluation of *Cynomorium songaricum* from different growing areas based on grey correlation analysis and TOPSIS model

MA Zhuan-xia¹, SUN Lan-ping¹, GU Zhi-rong^{2*}, WU Guo-tai³, MA Tian-xiang¹, QI Mei², XU Ai-xia², GE Bin^{2*}
(1. College of Pharmacy, Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China; 2. Department of Pharmacy, Gansu Provincial People's Hospital, Lanzhou 730000, China; 3. Gansu Provincial Key Laboratory for Pharmacology and Toxicology of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China)

KEY WORDS: *Cynomorium songaricum* Rupr.; growing areas; comprehensive evaluation; grey correlation analysis; TOPSIS model

锁阳为中、蒙医的常用药, 来源于锁阳科植物锁阳 *Cynomorium songaricum* Rupr. 的干燥肉质茎, 在《本草原始》《中华本草·蒙药卷》等本草著作中均有记载^[1-2], 主要分布于内蒙古、新疆、青海、甘肃等半荒漠或荒漠地带, 具有补肾益精、润肠通便之功效, 中医常用于治疗阳痿、遗精、腰膝酸软、肠燥便秘等^[3], 具有调节肾功能、提高机体免疫力、抗氧化、抑制人体免疫缺陷病毒、抑制血小板聚集等广泛的药理作用^[4-5]。近年来, 市场上流通的锁阳存在掺杂、混用、乱用等现象, 且 2015 年版《中国药典》未制定其含有量测定标准,

难以全面反映其内在质量。因此, 建立一种全面可靠的锁阳质量评价体系, 是目前亟需解决的问题。灰色关联度分析和逼近理想解排序法(TOPSIS)是目前应用较为广泛的决策评判手段, 前言已在郁金^[6]、木香^[7]、黄柏^[8]等大宗使用的中药质量评价中得到了广泛的应用; 后者是近年引入中药研究领域的新型多指标决策方法^[9], 目前在中药质量评价^[10]、活性部位筛选^[11]、制剂工艺研究^[12]、中药市场分析^[13]等方面均得到了广泛应用。本研究采集甘肃省内 13 个产地 30 批锁阳, 测定没食子酸、原儿茶酸、儿茶素、总多糖、总黄酮

收稿日期: 2019-10-29
基金项目: 甘肃省中药质量与标准研究重点实验室基金项目(ZYZL18-004); 甘肃省中药药理与毒理学重点实验室基金项目(ZDSYS-KJ-2018-010); 甘肃省中医药管理局科研项目(GZK-2019-41); 甘肃省人民医院研发攻关项目(18GSSY2-3)
作者简介: 马转霞(1995—), 女, 硕士生, 从事中药质量控制与制剂开发研究。Tel: 18419378208, E-mail: mxz224112@163.com
*通信作者: 顾志荣(1988—), 男, 硕士, 主管药师, 从事中药质量控制与制剂开发研究。Tel: (0931) 8281933, E-mail: guzr8817@163.com
葛斌(1965—), 男, 主任药师, 从事中药质量控制与制剂开发研究。Tel: (0931) 8281345, E-mail: gjy0630@163.com

的含有量，并采用灰色关联度分析与 TOPSIS 模型首次综合评价该药材质量，以期为全面控制其质量提供依据。

1 材料

1.1 仪器 岛津 LC-16 型高效液相色谱仪（日本岛津公司，配置 SIL-16 型自动进样器、SPD-16 型紫外-可见检测器、CTO-16 型柱温箱、LabSoLutions 化学工作站）；UV8100A 型紫外-可见分光光度计（北京莱伯泰科仪器有限公司）；BT125D 电子天平（十万分之一）、BSA4202S-CW 型电子天平（百分之一）（德国赛多利斯公司）；Milli-Q 超纯水装置（法国 Millipore 公司）；SB25-12DTD 型超声波清洗机（宁波新芝生物科技股份有限公司）；HH-6 型数显恒温水浴锅（西安超杰仪器有限公司）；DD-5M

型低速大容量离心机（湘仪离心机仪器有限公司）。

1.2 试剂与药物 没食子酸（批号 CHB171107，纯度≥98%）、原儿茶酸（批号 CHB170822，纯度≥98%）、儿茶素（批号 CHB170313，纯度≥98%）、D-无水葡萄糖（批号 CHB180115，纯度≥98%）、芦丁（批号 CHB170303，纯度≥98%）对照品均购于成都克洛玛生物科技有限公司。甲醇、甲酸为色谱纯（天津大茂化学试剂厂）；其余试剂均为分析纯（天津大茂化学试剂厂）；水为纯化水。

锁阳采自甘肃武威、敦煌、酒泉、张掖，经甘肃中医药大学中药鉴定教研室李硕副教授鉴定为 *Cynomorium songaricum* Rupr. 的干燥肉质茎，自然阴干、粉碎后过 80 目筛，冷藏备用，具体信息见表 1。

表 1 样品信息
Tab. 1 Information of samples

编号	产地	海拔/m	气候类型	年降雨量/mm	全年日照时数/h	年平均蒸发量/mm
1	酒泉市金塔县西坝乡西红村五队	1 270	温带干旱气候	60	3 193. 2	2 623
2~6	酒泉市金塔县生地湾三队	1 260	温带干旱气候	60	3 193. 2	2 567
7	酒泉市瓜州县锁阳城镇张家沙疙瘩	1 319	温带大陆性气候	61	3 359	1 989
8~9	酒泉市瓜州县三道沟镇	1 132~1 543	中温带干旱气候	75. 3	3 362	1 988
10~12	酒泉市瓜州县七墩乡	1 150~1 600	大陆性气候	45. 3	3 362	3 140. 6
13~14	酒泉市瓜州县东巴兔乡三队	1 060~1 300	寒带气候	45. 3	3 362	3 140. 6
15	武威市民勤县昌宁镇沙岗墩	1 060~1 300	寒带气候	45. 3	3 362	3 140. 6
16~18	武威市民勤县薛家湾沙窝	1 400	大陆性干旱气候-	127. 7	3 127	2 623
19~20	武威市民勤县南湖乡	1 367	温带大陆性干旱气候	156	3 073. 5	2 623
21~22	敦煌市西湖自然保护区	960	大陆性暖温带极干旱气候区	39. 9	3 246. 7	2 486
23~26	敦煌市北山	1 200	暖温带干旱性气候	39. 9	3 246. 7	2 486
27~28	张掖肃南县康乐镇榆木庄村	2 625	高寒山地半干旱气候	250~350	2 683	1 800
29~ 30	张掖肃南县单沙窝头	1 600	高寒山地半干旱气候	300	2 690	2 000

2 方法

2.1 3 种成分含有量测定

2.1.1 色谱条件 参考文献[14]。WondaSil C₁₈-WR 色谱柱（4.6 mm×150 mm，5 μm）；流动相甲醇-水-甲酸（9：91：0.1）；体积流量 0.8 mL/min；柱温 30℃；检测波长 258 nm；进样量 10 μL。色谱图见图 1。

2.1.2 对照品溶液制备 精密称取没食子酸、原儿茶酸、儿茶素对照品适量，置于 10 mL 量瓶中，纯化水溶解并定容至刻度，即得（三者质量浓度分别为 0.11、0.01、0.40 mg/mL）。

2.1.3 供试品溶液制备 参考文献 [15]。精密称取药材粉末约 2.0 g，加纯化水 10 mL，称定质量，超声（500 W、40 kHz）提取 60 min，放冷，

纯化水补足减失质量，离心，取上清液，滤过，取续滤液，即得，于 4℃保存备用。

2.1.4 方法学考察 按 2015 年版《中国药典》第四部指导原则中的方法，考察精密度、重复性、稳定性、加样回收率试验，结果 RSD 均小于 2.3%，表明仪器精密度、方法重复性、24 h 内稳定性良好，平均加样回收率为 100.69%。

2.2 多糖含有量测定

2.2.1 对照品溶液制备 精密称取 D-无水葡萄糖对照品 5.00 mg，置于 50 mL 量瓶中，纯化水溶解并定容至刻度，即得 0.10 mg/mL 对照品溶液。

2.2.2 供试品溶液制备 精密称取药材粉末约 2.0 g，加 30 mL 纯化水煎煮 2 次，每次 90 min，合并滤液，浓缩至 20 mL，置于锥形瓶中，加无水

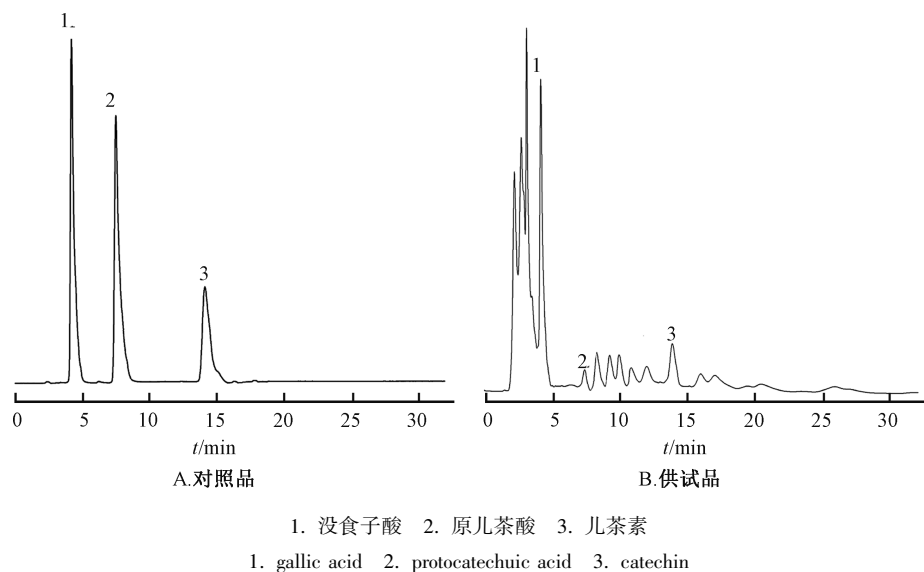


图 1 各成分 HPLC 色谱图

Fig. 1 HPLC chromatograms of various constituents

乙醇，边加边搅拌，使其体积分数达 80%，静置过夜，4 000 r/min 离心 10 min，残渣用热水溶解，置于 250 mL 量瓶中，定容，即得。

2.2.3 检测方法 参考文献 [16]。精密吸取对照品、供试品溶液各 1 mL，置于 2 个 20 mL 具塞试管中，加 1 mL 5% 苯酚溶液，混匀，加 5 mL 浓硫酸，迅速放入沸水浴中加热 15 min，取出后于冰水混合液中冷却 5 min，停止反应；另精密吸取 1 mL 纯化水于 20 mL 具塞试管中，同法制备空白对照溶液，均在 486 nm 波长处测定吸光度。

2.2.4 方法学考察 按 2015 年版《中国药典》第四部指导原则中的方法，考察精密度、重复性、稳定性、加样回收率试验，结果 RSD 均小于 2.4%，表明仪器精密度、方法重复性、24 h 内稳定性良好，平均加样回收率为 101.02%。

2.3 黄酮含量测定

2.3.1 对照品溶液制备 精密称取芦丁对照品 10.00 mg，置于 50 mL 量瓶中，60% 乙醇溶解并定容至刻度，即得 0.20 mg/mL 对照品溶液。

2.3.2 供试品溶液制备 精密称取药材粉末约 2.0 g，加乙醇 30 mL 60% 回流提取 3 h，4 000 r/min 离心 10 min，取上清液，置于 500 mL 量瓶中，定容，即得。

2.3.3 检测方法 参考文献 [16]，精密吸取对照品、供试品溶液各 1 mL，置于 2 个 25 mL 量瓶中，加 8 mL 纯化水、1 mL 5% 亚硝酸钠溶液，混匀后放置 6 min，加 1 mL 10% 硝酸铝溶液，混匀后放置 6 min，加 10 mL 10% 氢氧化钠溶液，混匀后

放置 15 min；另精密吸取 1 mL 纯化水于 25 mL 量瓶中，同法制备空白对照溶液，均在 510 nm 波长处测定吸光度。

2.3.4 方法学考察 按 2015 年版《中国药典》第四部指导原则中的方法，考察精密度、重复性、稳定性、加样回收率试验，结果表明 RSD 均小于 2.7%，表明仪器精密度、方法重复性、24 h 内稳定性良好，平均加样回收率为 99.86%。

3 结果与分析

3.1 含量测定 结果见表 2。

3.2 灰色关联度分析

3.2.1 原始数据规格化处理 设有 m 个样品和 n 个评价指标，组成评价单元序列 X_{ik} ($i=1, 2, 3, \cdots, m; k=1, 2, 3, \cdots, n$)，本研究中 $m=30, n=5$ 。按式 (1) 对原始数据进行规格化处理，结果见表 3。

$$Y_{ik} = X_{ik} / Y_k \tag{1}$$

式中 Y_{ik} 为处理后的数据， X_{ik} 为样本数据， Y_k 为第 k 个评价指标的均值。

3.2.2 参考序列选择 用灰色关联度进行评价时，应选择其参考序列。最优参考序列为 $\{X_{sk}\}$ ，是 m 个样品对应指标的最大值；最差参考序列为 $\{X_{lk}\}$ ，是 m 个样品对应指标的最小值 ($k=1, 2, 3, \cdots, n$)。

3.2.3 关联系数计算 按式 (2) ~ (3) 计算各评价单元相对于最优、最差参考序列的关联系数。

$$\xi_{k(s)}^i = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{|Y_{ik} - Y_{sk}| + \rho \Delta_{\max}} \tag{2}$$

表 2 各成分含有量测定结果 (mg/g)

Tab. 2 Results of content determination of various constituents (mg/g)

编号	没食子酸	原儿茶酸	儿茶素	总多糖	总黄酮	编号	没食子酸	原儿茶酸	儿茶素	总多糖	总黄酮
1	0.722	0.207	32.751	89.448	6.858	16	0.242	0.345	21.433	47.337	15.242
2	0.322	0.158	50.997	109.399	15.576	17	0.098	0.037	23.739	58.396	10.514
3	0.676	0.070	79.340	95.289	13.998	18	0.404	0.035	41.472	30.508	14.963
4	0.443	0.075	51.814	41.326	11.237	19	0.589	0.183	33.742	41.061	10.043
5	0.882	0.124	18.247	78.788	5.342	20	0.640	0.072	50.012	20.520	9.019
6	0.988	0.205	15.124	95.484	6.141	21	0.957	0.155	22.381	61.028	5.769
7	0.379	0.179	13.429	77.418	5.937	22	0.919	0.088	25.466	87.975	7.912
8	0.197	0.061	14.689	154.433	7.601	23	1.217	0.190	30.376	61.037	14.352
9	0.314	0.176	14.071	144.337	6.911	24	1.104	0.289	37.985	78.746	7.056
10	0.469	0.093	4.081	28.208	7.330	25	1.609	0.396	44.475	97.469	9.846
11	0.611	0.272	29.799	85.334	8.086	26	1.251	0.123	42.028	47.404	10.594
12	0.268	0.257	3.798	48.134	7.087	27	1.179	0.049	34.098	49.940	8.193
13	0.031	0.087	22.513	72.951	9.731	28	1.417	0.235	25.481	69.410	7.774
14	1.327	0.096	41.713	63.511	8.274	29	1.135	0.086	57.750	77.941	7.857
15	0.121	0.241	5.262	86.169	6.144	30	0.351	0.077	37.324	118.520	7.969

表 3 原始数据规格化处理结果

Tab. 3 Normalization results of original data

编号	没食子酸	原儿茶酸	儿茶素	总多糖	总黄酮	编号	没食子酸	原儿茶酸	儿茶素	总多糖	总黄酮
1	1.039	1.335	1.062	1.210	0.753	16	0.348	2.226	0.695	0.640	1.673
2	0.463	1.019	1.653	1.480	1.709	17	0.141	0.239	0.770	0.790	1.154
3	0.973	0.452	2.572	1.289	1.536	18	0.581	0.226	1.344	0.413	1.642
4	0.637	0.484	1.680	0.559	1.233	19	0.847	1.181	1.094	0.556	1.102
5	1.269	0.800	0.592	1.066	0.586	20	0.921	0.465	1.621	0.278	0.990
6	1.422	1.323	0.490	1.292	0.674	21	1.377	1.000	0.726	0.826	0.633
7	0.545	1.155	0.435	1.047	0.652	22	1.322	0.568	0.826	1.190	0.868
8	0.283	0.394	0.476	2.089	0.834	23	1.751	1.226	0.985	0.826	1.575
9	0.452	1.135	0.456	1.953	0.758	24	1.588	1.865	1.231	1.065	0.774
10	0.675	0.600	0.132	0.382	0.804	25	2.315	2.555	1.442	1.319	1.081
11	0.879	1.755	0.966	1.154	0.887	26	1.800	0.794	1.363	0.641	1.163
12	0.386	1.658	0.123	0.651	0.778	27	1.696	0.316	1.105	0.676	0.899
13	0.045	0.561	0.730	0.987	1.068	28	2.039	1.516	0.826	0.939	0.853
14	1.909	0.619	1.352	0.859	0.908	29	1.633	0.555	1.872	1.054	0.862
15	0.174	1.555	0.171	1.166	0.674	30	0.505	0.497	1.210	1.603	0.875

式中 $\Delta_{\min} = \min |Y_{ik} - Y_{sk}|$, $\Delta_{\max} = \max |Y_{ik} - Y_{sk}|$ ($i = 1, 2, 3, \dots, m$; $k = 1, 2, 3, \dots, n$)。

$$\xi_{k(t)}^i = \frac{\Delta'_{\min} + \rho \Delta'_{\max}}{|Y_{ik} - Y_{tk}| + \rho \Delta'_{\max}} \quad (3)$$

式中 $\Delta_{\min} = \min |Y_{ik} - Y_{tk}|$, $\Delta_{\max} = \max |Y_{ik} - Y_{tk}|$ ($i = 1, 2, 3, \dots, m$; $k = 1, 2, 3, \dots, n$), ρ 为分辨系数, 通常取 0.5。

3.2.4 关联度及相对关联度的计算 按式 (4) ~ (5) 计算各评价单元相对于最优参考序列和最差参考序列的关联度, 结果见表 4。按式 (6) 计算

相对关联度, 并进行排序, 确定甘肃省不同产地锁阳药材质量名次。

$$r_{i(s)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{k(s)}^i \quad (4)$$

$$r_{i(t)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{k(t)}^i \quad (5)$$

$$r_i = \frac{r_{i(s)}}{r_{i(s)} + r_{i(t)}} \quad (6)$$

3.3 TOPSIS 分析

3.3.1 原始数据归一化处理 将 30 批样品中没食

子酸、原儿茶酸、儿茶素、总多糖、总黄酮含有量数据按式（7）进行归一化处理，并建立相应矩阵，结果见表 5。

$$a_{ik}=X_{ik}/\sqrt{\sum_{i=1}^mX_{ik}^2}$$

(7)

表 4 评价单元相对于最优参考序列和最差参考序列的关联度

Tab. 4 Correlation degrees by evaluation unit sequences relative to the best reference sequence and the worst reference sequence

编号	$r_{i(s)}$	$r_{i(t)}$	编号	$r_{i(s)}$	$r_{i(t)}$	编号	$r_{i(s)}$	$r_{i(t)}$	编号	$r_{i(s)}$	$r_{i(t)}$
1	0.457	0.575	9	0.487	0.640	17	0.399	0.740	25	0.707	0.429
2	0.596	0.507	10	0.369	0.802	18	0.495	0.680	26	0.496	0.554
3	0.622	0.513	11	0.473	0.552	19	0.440	0.596	27	0.449	0.646
4	0.451	0.629	12	0.406	0.734	20	0.428	0.685	28	0.516	0.546
5	0.421	0.682	13	0.404	0.709	21	0.427	0.655	29	0.499	0.563
6	0.460	0.615	14	0.490	0.574	22	0.444	0.609	30	0.455	0.624
7	0.404	0.697	15	0.414	0.739	23	0.559	0.502			
8	0.494	0.701	16	0.573	0.579	24	0.512	0.530			

表 5 归一化处理结果

Tab. 5 Results of normalization processing

编号	没食子酸	原儿茶酸	儿茶素	总多糖	总黄酮	编号	没食子酸	原儿茶酸	儿茶素	总多糖	总黄酮
1	0.161	0.209	0.170	0.204	0.131	16	0.054	0.348	0.111	0.108	0.291
2	0.072	0.160	0.264	0.249	0.297	17	0.022	0.037	0.123	0.133	0.200
3	0.151	0.071	0.411	0.217	0.267	18	0.090	0.035	0.215	0.069	0.285
4	0.099	0.076	0.269	0.094	0.214	19	0.131	0.185	0.175	0.093	0.191
5	0.196	0.125	0.095	0.179	0.102	20	0.143	0.073	0.259	0.047	0.172
6	0.220	0.207	0.078	0.217	0.117	21	0.213	0.157	0.116	0.139	0.110
7	0.084	0.181	0.070	0.176	0.113	22	0.205	0.089	0.132	0.200	0.151
8	0.044	0.062	0.076	0.351	0.145	23	0.271	0.192	0.158	0.139	0.274
9	0.070	0.178	0.073	0.328	0.132	24	0.246	0.292	0.197	0.179	0.135
10	0.104	0.094	0.021	0.064	0.140	25	0.358	0.400	0.231	0.222	0.188
11	0.136	0.275	0.155	0.194	0.154	26	0.279	0.124	0.218	0.108	0.202
12	0.060	0.260	0.020	0.110	0.135	27	0.263	0.049	0.177	0.114	0.156
13	0.007	0.088	0.117	0.166	0.186	28	0.316	0.237	0.132	0.158	0.148
14	0.295	0.097	0.216	0.144	0.158	29	0.253	0.087	0.299	0.177	0.150
15	0.027	0.243	0.027	0.196	0.117	30	0.078	0.078	0.194	0.270	0.152

3.3.2 最优、最劣方案选择 根据归一化矩阵结果，选出最优方案和最劣方案。最优方案 A^+ 为 n 个评价指标对应样品的最大值， A^+ 最优方案 = (0.358, 0.400, 0.411, 0.351, 0.297)；最劣方案 A^- 为 n 个评价指标对应样品的最小值， A^- 最劣方案 = (0.007, 0.035, 0.020, 0.047, 0.102)。

3.3.3 D_i^+ 、 D_i^- 计算 按式（8）~（9）计算各评价单元与最优方案、最劣方案之间的距离。

式中 a_{ik} 表示第 i 个评价对象在第 k 个指标上归一化处理后的数值， X_{ik} 表示第 i 个评价对象在第 k 个指标上的数值。

$$D_i^+=\sqrt{\sum_{k=1}^n(a_{ik}^+-a_{ik})^2}$$

(8)

$$D_i^-=\sqrt{\sum_{k=1}^n(a_{ik}^--a_{ik})^2}$$

(9)

3.3.4 各评价单元与最优方案接近程度计算 按式（10）计算各评价单元与最优方案的相对接近程度（ C_i ）， $0<C_i<1$ 。

$$C_i=\frac{D_i^-}{D_i^++D_i^-}$$

(10)

3.3.5 排序 按照 C_i 大小将各评价单元排序, C_i 越大, 表明评价单元综合质量越好, 结果见表 6。由此可知, 30 批样品灰色关联度分析与 TOPSIS 分析结果基本一致, 排名在前 15 名的酒泉市金塔县产有 4 批, 敦煌市产有 4 批, 酒泉市瓜州县产有

3 批, 武威市民勤县产有 2 批, 张掖市肃南县产有 2 批, 分别占样本总数 13.33%、13.33%、10.00%、6.67% 及 6.67%, 分别占各自产地样本总数 66.67%、66.67%、37.50%、33.33%、50.00%。

表 6 不同产地样品灰色关联度和 C_i
Tab. 6 Grey correlations and C_i s of samples from different growing areas

编号	灰色关联度分析			TOPSIS 模型			编号	灰色关联度分析			TOPSIS 模型		
	r_i	r_i 排序	r_i 差异/%	C_i	C_i 排序	C_i 差异/%		r_i	r_i 排序	r_i 差异/%	C_i	C_i 排序	C_i 差异/%
1	0.443	12	28.8	0.360	12	39.4	16	0.497	5	20.1	0.435	6	26.8
2	0.541	3	13.0	0.490	3	17.5	17	0.350	29	43.7	0.196	29	67.0
3	0.548	2	11.9	0.518	2	12.8	18	0.421	18	32.3	0.327	17	44.9
4	0.418	19	32.8	0.335	15	43.6	19	0.425	15	31.7	0.320	19	46.1
5	0.382	24	38.6	0.284	24	52.2	20	0.385	23	38.1	0.313	22	47.3
6	0.428	14	31.2	0.352	13	40.7	21	0.395	22	36.5	0.302	23	49.2
7	0.367	25	41.0	0.243	27	59.1	22	0.422	17	32.2	0.319	20	46.3
8	0.413	20	33.6	0.314	21	47.1	23	0.527	4	15.3	0.476	4	19.9
9	0.432	13	30.5	0.338	14	43.1	24	0.492	6	20.9	0.448	5	24.6
10	0.315	30	49.4	0.141	30	76.3	25	0.622	1	0.0	0.594	1	0.0
11	0.461	10	25.9	0.385	11	35.2	26	0.473	8	24.0	0.412	9	30.6
12	0.356	28	42.8	0.258	26	56.6	27	0.410	21	34.1	0.335	16	43.6
13	0.363	26	41.6	0.213	28	64.1	28	0.486	7	21.9	0.428	7	27.9
14	0.461	11	25.9	0.398	10	33.0	29	0.470	9	24.4	0.423	8	28.8
15	0.359	27	42.3	0.270	25	54.5	30	0.422	16	32.2	0.326	18	45.1

注:差异是指各评价单元与最优评价单元的距离,差异=[(关联度或 C_i 最大值-各评价单元关联度或 C_i)/最大值]×100%。

4 讨论

近年来, 锁阳的药用价值及保健价值均受到广泛重视, 有较大的开发潜力, 它含有黄酮、有机酸、萜类、多糖等成分, 具有抗凋亡、抗疲劳、抗骨质疏松、抗衰老、抗糖尿病、促生育等多种生物活性^[17-18], 其中儿茶素是重要成员之一, 具有良好的抑菌效果, 抗菌谱广^[19]; 没食子酸、原儿茶酸具有抗菌、抗病毒、抗肿瘤的作用。因此, 本研究测定没食子酸、原儿茶酸、儿茶素含有量, 结合有效部位总多糖、总黄酮含有量来评价甘肃不同产地锁阳的质量, 从而保证评价结果的科学性。

灰色关联度分析与 TOPSIS 模型非常适合用于化学成分复杂的中药材质量评价, 在一定程度上解决了中药质量评价中多指标评价标准不统一及评价困难的问题。灰色关联度模型对数据容量和概率分布没有严格要求, 它可充分利用较少的原始数据寻找体系中的规律性; TOPSIS 法具有易理解、易计算、评估结果合理、应用灵活等优点^[20]。另一方面, 灰色关联模型可以较好地反应序列间的非线性变化关系, 弥补 TOPSIS 法的不足, 且其“灰色思

维”的思想与中医药理论特点相契合^[21]。本研究采用这 2 种方法对甘肃不同产地锁阳质量进行综合评价, 发现所得结果基本一致, 能为该药材的综合质量评价与控制提供一定依据。

受不同产地海拔、气候、年降雨量、日照时数等环境因素的影响, 锁阳中化学成分含有量有较大差异。本研究发现, 酒泉市金塔县、敦煌市所产药材质量最好, 两地海拔为 960~1 270 m, 气候类型为温度干旱气候, 降雨量为 39.9~60.0 mm, 全年日照时数为 3 193.2~3 246.7 h, 年平均蒸发量 2 486~2 623 mm。今后, 课题组将深入开展产地气候、环境因子与锁阳多指标成分、质量形成的相关性研究。

参考文献:

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2015 年版一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 346.
[2] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 1746.
[3] Chen J H, Leong P K, Leung H Y, et al. Biochemical mechanisms of the anti-obesity effect of a triterpenoid-enriched extract

of *Cynomorium songaricum* in mice with high-fat-diet-induced obesity[J]. *Phytomedicine*, 2019, 2019: 1-9.

[4] Tao R, Miao L, Yu X, *et al.* *Cynomorium songaricum* Rupr demonstrates phytoestrogenic or phytoandrogenic like activities that attenuates benign prostatic hyperplasia via regulating steroid 5- α -reductase[J]. *J Ethnopharmacol*, 2019, 235: 65-74.

[5] 顾志荣, 马天翔, 孙岚萍, 等. 基于傅里叶变换红外光谱及化学计量学方法的不同产地锁阳药材分类鉴别[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(22): 159-165.

[6] 张 娜, 翁伟锋, 黄 淳, 等. 基于灰色关联度模型的引种郁金质量评价[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(15): 174-184.

[7] 徐珍珍, 史星星, 樊旭蕾, 等. 基于灰色关联度法和 FCM 算法的木香质量评价研究[J]. 中草药, 2018, 49(24): 5916-5922.

[8] 关树光, 韩曦英, 宋美薇, 等. 吉林省不同产地关黄柏药材质量的灰色关联度法综合评价[J]. 药物分析杂志, 2018, 38(7): 1275-1279.

[9] 顾志荣, 王亚丽, 孙宇靖, 等. 熵权 TOPSIS 模型在甘肃产当归药材综合质量评价中的应用[J]. 中药材, 2014, 37(9): 1549-1553.

[10] 李 运, 张 霁, 徐福荣, 等. 多指标决策分析 TOPSIS 对三七的质量评价研究[J]. 中草药, 2017, 48(22): 4764-4771.

[11] 王 芯, 邓立萍, 谢孟君, 等. 基于 TOPSIS 法综合评价补肾活血方不同极性部位治疗 DR 的效果[J]. 中药药理与临床, 2019, 35(4): 154-160.

[12] 王 璐, 文 敏, 肖瑞飞, 等. 逼近于理想值的排序法综合评价法应用于小儿健脾温通贴的制剂工艺研究[J]. 中国药学杂志, 2017, 52(5): 398-403.

[13] 杨 雪, 何玉成. 我国中药上市公司成长性评价研究—基于因子分析法的 Topsis 评价法[J]. 中草药, 2018, 49(21): 5220-5228.

[14] 杨瀚春, 王 荣, 夏鹏霄, 等. 用 HPLC 法同时测定锁阳中的多种有效成分[J]. 药学服务与研究, 2014, 14(2): 122-124.

[15] 王 红. 正交试验优化锁阳中 3 种有效成分的提取工艺[J]. 中国药业, 2014, 23(18): 62-65.

[16] 裴 栋, 张 莉, 张君菡, 等. 同步提取锁阳总黄酮和多糖的工艺研究[J]. 时珍国医国药, 2015, 26(8): 1851-1853.

[17] Ding J J, Gu C M, Huang L F, *et al.* Discrimination and geographical origin prediction of *Cynomorium songaricum* Rupr. from different growing areas in China by an electronic tongue [J]. *J Anal Methods Chem*, 2018, 2018(1): 1-6.

[18] Zhang H Y, Luo G H, Hao J Y, *et al.* Optimization of ultrasonic-assisted enzymatic extraction of polysaccharides from *Cynomorium songaricum* and their antitumor activity[J]. *Food Sci*, 2016, 37(12): 59-64.

[19] 周泽斌, 刘素君, 王应红. 锁阳中儿茶素的提取工艺优化[J]. 中国现代应用药学, 2010, 27(3): 213-215.

[20] 于江泳, 黄绮韵, 周苏娟, 等. 基于灰色关联-TOPSIS 法的干姜质量评价[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(18): 56-59.

[21] 魏 航, 林 励, 张 元, 等. 灰色系统理论在中药色谱指纹图谱模式识别中的应用研究[J]. 色谱, 2013, 31(2): 127-132.