

基于 OPLS 结合熵权 TOPSIS 法对不同产地锁阳的鉴别与综合质量评价

马天翔¹, 顾志荣^{2*}, 许爱霞², 祁梅², 吕鑫¹, 孙岚萍¹, 马转霞¹, 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

摘要: 目的 对不同产地的锁阳 *Cynomorium songaricum* 药材进行产地鉴别与综合评价, 为锁阳药材质量评价与产地适宜性的确定提供参考。方法 收集全国 5 省(区)的 40 批样品, 测定锁阳中没食子酸、原儿茶酸、儿茶素、总多糖、总黄酮、Na、K、Ca、Mg、Fe、Zn、Mn、Co、Sr、Ni、Ag、Ba、Ti、Cu、Pb、Cr、Cd、As、Hg 含量, 运用正交偏最小二乘判别分析法(OPLS-DA)和熵权 TOPSIS 法对反映药材质量的数据进行分析。结果 锁阳中儿茶素、原儿茶酸、总黄酮、Mn、Zn、Co、Pb、Cr、Ca、Ti、Mg 和 Cu 的含量差异可用于不同产地的区分; 5 个省(区)中内蒙古地区的锁阳药材质量最优, 其次为甘肃、宁夏、新疆、青海。结论 OPLS-DA 结合熵权 TOPSIS 分析法结果合理、客观、有效, 可应用于锁阳药材质量的多指标综合评价。

关键词: 锁阳; 正交偏最小二乘判别分析法; 熵权 TOPSIS 法; 产地鉴别; 综合评价; 没食子酸; 原儿茶酸; 儿茶素

中图分类号: R282.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2020)12-3284-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2020.12.021

Identification and comprehensive quality evaluation of *Cynomorium songaricum* in different producing areas based on OPLS combined with entropy weight TOPSIS method

MA Tian-xiang¹, GU Zhi-rong², XU Ai-xia², QI Mei², LV Xin¹, SUN Lan-ping¹, MA Zhuan-xia¹, GE Bin²

1. College of Pharmacy, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China

2. Gansu Provincial Hospital, Lanzhou 730000, China

Abstract: Objective To identify and comprehensively evaluate *Cynomorium songaricum* from different producing areas in order to provide reference for the quality evaluation of *C. songaricum* and the determination of the suitability of the origin. **Methods** A total of 40 samples from five provinces (regions) were collected to measure the content of gallic acid, protocatechuic acid, catechins, total polysaccharides, total flavonoids, Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Co, Sr, Ni, Ag, Ba, Ti, Cu, Pb, Cr, Cd, As, and Hg. The data reflecting the quality of *C. songaricum* were analyzed by orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA) and entropy weight TOPSIS analysis. **Results** The contents of Mn, Zn, Co, catechin, Pb, Cr, Ca, Ti, total flavonoids, protocatechuic acid, Mg and Cu in *C. songaricum* are important for distinguishing different producing areas. The quality of *C. songaricum* in Inner Mongolia was the best in all provinces (regions), followed by Gansu, Ningxia, Xinjiang, and Qinghai Provinces. **Conclusion** The results of OPLS-DA combined with entropy weight TOPSIS analysis are reasonable, objective and effective, and can be applied to the comprehensive evaluation of multiple indicators of *C. songaricum*.

Key words: *Cynomorium songaricum* Rupr.; orthogonal partial least squares discriminant analysis; entropy TOPSIS method; producing areas identification; comprehensive evaluation; gallic acid; protocatechuic acid; catechin

锁阳为锁阳科植物锁阳 *Cynomorium songaricum* Rupr. 的干燥肉质茎, 具有补肾阳、益精、润肠通便之功效^[1]。现代研究证实, 锁阳具有增强免疫、益智^[2]、抗衰老^[3]、抗癌^[4]及抗前列腺增生^[5]等广泛的药理作用。近年来, 随着人们养生保健意识的增强, 锁阳需求量也随之增大, 而对于

收稿日期: 2019-11-05

基金项目: 甘肃省中药药理与毒理学重点实验室基金项目(ZDSYS-KJ-2018-010); 甘肃省中药质量与标准研究重点实验室基金项目(ZYZL18-004)

作者简介: 马天翔(1994—), 男, 在读硕士, 研究方向为中药质量标准研究、中药制剂工艺研究。Tel: 18709449007 E-mail: matx0117@163.com

*通信作者 顾志荣(1988—), 男, 硕士, 主管药师, 从事中药药理学研究、中药质量标准研究。Tel: (0931)8281933 E-mail: guzr8817@163.com

葛斌(1965—), 男, 硕士生导师, 主任药师, 从事中药制剂工艺研究。Tel: (0931)8281745 E-mail: gjy0630@163.com

不同产地的锁阳药材的质量评价分析却鲜有报道。因此,建立一种科学、操作性强的锁阳质量综合评价体系,对市场上流通的锁阳药材进行质量评价,保证锁阳药用价值,是目前亟需解决的问题。

TOPSIS 法是一种多目标决策算法,近年来多用于矿产^[6]、电力^[7]、机械^[8]等行业,其通过计算各指标对最优方案的的贴近度,实现多目标决策分析。中药多指标质量综合评价思路与 TOPSIS 法分析理论恰好相符合。本研究采集甘肃、新疆、内蒙古、青海、宁夏 5 个省(区)共 10 个代表性产地的锁阳药材,测定锁阳中 24 种成分,首次通过 OPLS 结合熵权 TOPSIS 法对不同产地的锁阳进行综合质量评价。以期为锁阳的质量控制、产地鉴别及适宜生长环境的确定提供科学实验数据,为锁阳资源合理开发与利用提供参考。

1 仪器与试药

1.1 仪器

iCAP RQ 型电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)仪(美国 Thermo Fisher 公司);岛津 LC-16 型高效液相色谱仪(岛津仪器有限公司,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);ETHOS 900 微波消解系统(Milestone 公司,意大利);UV8100A 型紫外-可见分光光度计(北京莱伯泰科仪器有限公司);Sartorius BT 125D 万分之一电子天平(Sartorius 集团,德国);Milli-Q 超纯水装置(Millipore 公司,法国);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);DZF-6090 型真空干燥箱(上

海一恒科学仪器有限公司);DD-5M 型低速大容量离心机(湘仪离心机仪器有限公司)。

1.2 试药

药材采自甘肃(GS)、内蒙古(NM)、新疆(XJ)、青海(QH)、宁夏(NX)5 省(区),包括酒泉、张掖、阿拉善右旗、阿拉善左旗、喀什、和田、阿勒泰、海西、海南、石嘴山 10 个市(区/州/旗)的 40 批锁阳样品。所有样品均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。将样品自然阴干,粉碎后过 80 目筛,冷藏备用。样品信息见表 1。

对照品芦丁(批号 CHB170303,质量分数≥98%)、D-无水葡萄糖(批号 CHB180115,质量分数≥98%)、没食子酸(批号 CHB171107,质量分数≥98%)、原儿茶酸(批号 CHB170822,质量分数≥98%)、儿茶素(批号 CHB170313,质量分数≥98%)均购于成都克洛玛生物科技有限公司;钠(Na)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)、锌(Zn)、锰(Mn)、钴(Co)、锶(Sr)、镍(Ni)、银(Ag)、钡(Ba)、钛(Ti)、铅(Pb)、铬(Cr)、镉(Cd)、砷(As)、汞(Hg)、铜(Cu)等单元素标准溶液,均为 1 000 μg/mL,均购自国家有色金属及电子材料分析测试中心;甲醇、甲酸为色谱纯(天津大茂化学试剂厂);HNO₃、H₂O₂等试剂均为优级纯;水为去离子水。

2 方法

2.1 HPLC 法测定锁阳中指标成分

2.1.1 色谱条件 WondaSil C₁₈-WR 色谱柱(150 mm×4.6 mm, 5 μm);流动相为甲醇-水-甲酸(9:91:0.1);体积流量 0.8 mL/min;柱温 30 ℃;检

表 1 锁阳样品信息

Table 1 Sample information of *C. songaricum*

产地	批次	编号	海拔/m	年降雨量/mm	全年日照时数/h	年平均气温/℃	气候类型
甘肃省酒泉市瓜州县	4	JQ1~JQ4	1 063~1 590	45.7~75.3	3 230~3 360	8~9.7	温带大陆性气候
甘肃省张掖市肃南	4	ZY1~ZY4	1 475~3 154	87.0~300.0	2 683~3 085	2~3.6	温带大陆性气候
内蒙古阿拉善盟阿拉善左旗	4	AZ1~AZ4	789~1 541	90.0	3 100	7.2	中温带大陆性气候
内蒙古阿拉善盟阿拉善右旗	4	AY1~AY4	1 299~1 503	75.0	2 880	8.4	温带大陆性气候
宁夏石嘴山市平罗县	4	NX1~NX4	1 103~1 247	173.2	3 008.6	8.8	温带大陆性气候
新疆和田地区和田县	4	HT1~HT4	2 875~3 436	50.0	2 735	8.0	温带极端干旱荒漠气候
新疆喀什地区喀什市疏附县	4	KS1~KS4	1 229~1 312	72.2	2 923.7	12.0	暖温带大陆性干旱气候
新疆阿勒泰地区阿勒泰市	4	AL1~AL4	813~1 003	199.0	2 881	4.5	温带大陆性气候
青海省海南藏族自治州同德县	4	HN1~HN4	2 926~3 266	440.0	2 655	0.5	高原大陆性气候
青海省海西蒙古族藏族自治州格尔木戈壁滩	4	HX1~HX4	2 815~2 833	41.50	3 358	4.0	荒漠、半荒漠大陆性气候

测波长 258 nm; 进样体积 10 μ L。

2.1.2 混合对照品溶液制备 分别精密称取没食子酸、原儿茶酸、儿茶素对照品适量, 以纯化水超声使完全溶解, 制成没食子酸、原儿茶酸、儿茶素质量浓度分别为 0.11、0.01、0.4 mg/mL 的混合对照品溶液, 于 4 $^{\circ}$ C 保存备用。

2.1.3 供试品溶液制备 取锁阳粉末 2.0 g, 精密加入纯化水 10 mL, 称定质量, 超声提取(功率 500 W, 频率 40 kHz) 60 min, 放冷, 补足减失质量, 离心取上清液, 滤过, 取续滤液, 于 4 $^{\circ}$ C 保存备用。

2.1.4 方法学考察 按照《中国药典》2015 年版^[1]方法考察稳定性、重复性、精密度、加样回收率试验, RSD 值均小于 2.3%。

2.2 ICP-MS 对 19 种无机元素的测定

2.2.1 ICP-MS 工作条件 等离子体射频功率为 1 300 W; 雾化气体体积流量(氩气)为 1.1 L/min; 辅助气体体积流量 1.0 L/min; 等离子流为 15 L/min; 雾化室为石英双通道, 雾化室温度 2 $^{\circ}$ C; 采样锥孔径 1.1 mm; 截取锥孔径 0.4 mm; 采样深度 7.0 mm; 脉冲电压为 1 050 V; 蠕动泵转数为 40 r/min; 炬管为石英一体化, 2.5 mm 中心通道; 驻留时间 30 ms; 动能歧视(KED)电压 3 V。重复 3 次取平均值。

2.2.2 标准品溶液的制备 精密量取各单元素标准溶液适量, 以 2% HNO₃ 溶液稀释制成 Na、K、Ca、Mg、Fe 元素质量浓度分别为 0.5、1.0、2.0、5.0、10.0、20.0、50.0、100.0、200.0 μ g/L 的混合标准品工作溶液, Zn、Mn、Co、Sr、Ni、Ba、Ti、Pb、Cu 元素质量浓度分别为 0.1、0.2、0.4、1.0、2.0、5.0、10.0、20.0、50.0 μ g/L 的混合系列标准工作溶液, As、Ag、Cr、Cd、Hg 元素质量浓度分别为 0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、2.0、5.0、10.0、20.0 μ g/L 的混合系列标准工作溶液。

2.2.3 样品溶液制备 取本品粉末约 0.5 g, 精密称定后置于聚四氟乙烯消解罐中, 精密加入 8 mL HNO₃ 和 2 mL H₂O₂, 摇匀, 静置至气泡散尽, 置微波消解系统内消解。微波功率为 1 000 W, 在 20 min 内温度由室温升至 200 $^{\circ}$ C, 200 $^{\circ}$ C 维持 20 min, 待消解完全后冷却至室温。取出消解罐, 在通风橱中将酸挥尽, 将消解液转移至 50 mL 量瓶中, 以去离子水洗涤消解罐与盖子 3 次, 洗液合并于量瓶中, 以去离子水稀释至刻度即得。同时同法制备空白溶液和标准参照物溶液。

2.2.4 方法学考察 按照《中国药典》2015 年版^[1]

方法考察稳定性、重复性、精密度、加样回收率, RSD 值均小于 3.0%。

2.3 总多糖的测定

2.3.1 对照品溶液的制备 精密称取 D-无水葡萄糖对照品 5.0 mg, 置于 50 mL 量瓶中, 加纯化水溶解并定容至刻度, 摇匀, 得到每 1 mL 含 D-无水葡萄糖 0.1 mg 的对照品溶液, 于 4 $^{\circ}$ C 保存备用。

2.3.2 供试品溶液的制备 精密称取锁阳干燥粉末 2 g, 加入纯化水 30 mL, 煎煮 2 次, 每次 90 min, 合并 2 次滤液, 浓缩至 20 mL, 置于锥形瓶中, 加入无水乙醇, 边加边搅拌, 使乙醇体积分数达 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, 以纯化水定容, 于 4 $^{\circ}$ C 保存备用。

2.3.3 检测方法 精密吸取对照品与供试品溶液各 1 mL, 分别置于 2 个 20 mL 具塞试管中, 加入 5% 苯酚溶液 1 mL, 混匀, 再精密加入浓硫酸 5 mL, 迅速放入沸水浴中加热 15 min, 迅速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, 同法制备得空白对照溶液。在波长 486 nm 处测定吸光度(A)值。

2.3.4 方法学考察 按照《中国药典》2015 年版^[1]方法考察稳定性、重复性、精密度、加样回收率, RSD 值均小于 2.4%。

2.4 总黄酮的测定

2.4.1 对照品溶液的制备 精密称取芦丁对照品 10 mg, 置于 50 mL 量瓶中, 加 60% 乙醇完全溶解并定容至刻度, 摇匀, 得到含芦丁 0.206 mg/mL 的对照品溶液, 于 4 $^{\circ}$ C 保存备用。

2.4.2 供试品溶液的制备 精密称取锁阳干燥粉末 2 g, 加入 60% 乙醇 30 mL, 回流提取 3 h, 4 000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 定容于 500 mL 量瓶中, 于 4 $^{\circ}$ C 保存备用。

2.4.3 检测方法 精密吸取对照品与供试品溶液各 1 mL, 分别置于 2 个 25 mL 量瓶中, 加纯化水至 9 mL, 加入 5% 亚硝酸钠(NaNO₂)溶液 1 mL, 混匀, 放置 6 min, 加入 10% 硝酸铝[Al(NO₃)₃]溶液 1 mL, 混匀, 放置 6 min, 加入 10% 氢氧化钠(NaOH)溶液 10 mL, 混匀, 放置 15 min。另精密吸取 1 mL 纯化水于 25 mL 量瓶中, 同法制备得空白对照溶液, 在波长 510 nm 处测定 A 值。

2.4.4 方法学考察 按照《中国药典》2015 年版^[1]方法考察稳定性、重复性、精密度、加样回收率,

RSD 值均小于 2.7%。

3 结果与分析

3.1 多成分测定结果

按照上述方法,对 40 批锁阳药材中没食子酸、

原儿茶酸、儿茶素、总多糖、总黄酮、Na、K、Ca、Mg、Fe、Zn、Mn、Co、Sr、Ni、Ag、Ba、Ti、Cu、Pb、Cr、Cd、As、Hg 含量进行测定,测定结果见表 2。

表 2 锁阳药材中各成分含量测定结果 ($n=3$)

Table 2 Results of determination of each component in 40 batches of *C. songaricum* ($n=3$)

编号	没食子酸/(mg·g ⁻¹)	原儿茶酸/(mg·g ⁻¹)	儿茶素/(mg·g ⁻¹)	总多糖/(mg·g ⁻¹)	总黄酮/(mg·g ⁻¹)	Na/(μg·g ⁻¹)	K/(μg·g ⁻¹)	Ca/(μg·g ⁻¹)	Mg/(μg·g ⁻¹)	Fe/(μg·g ⁻¹)	Zn/(μg·g ⁻¹)	Mn/(μg·g ⁻¹)
JQ1	0.96	0.16	22.38	61.03	5.77	70 203.641	13 285.259	684.225	822.664	292.229	20.160	14.623
JQ2	0.48	0.09	42.87	47.34	15.24	10 055.410	12 814.317	587.661	1 239.652	496.226	9.028	19.602
JQ3	1.33	0.10	41.71	63.51	8.27	8 119.782	12 462.831	769.073	716.600	316.808	14.286	19.778
JQ4	1.42	0.14	25.48	69.41	7.77	9 842.260	14 690.645	955.686	785.536	528.351	14.686	13.025
ZY1	0.64	0.07	50.01	20.52	9.02	9 922.852	14 876.873	794.872	2 015.186	633.258	14.085	21.121
ZY2	1.63	0.05	23.22	50.26	8.64	12 243.396	13 843.693	1 087.444	610.696	370.643	10.867	20.223
ZY3	1.18	0.05	34.10	49.94	8.19	11 589.633	14 742.785	848.584	798.116	327.997	16.743	15.299
ZY4	1.73	0.12	24.44	64.15	6.53	8 925.225	12 973.595	982.135	460.376	289.059	12.522	17.987
AZ1	1.73	0.12	34.44	64.15	10.53	9 985.222	13 085.285	579.957	335.217	299.768	23.588	12.417
AZ2	0.48	0.06	40.81	63.66	9.92	10 395.411	14 596.333	613.868	405.965	145.484	32.994	10.898
AZ3	0.62	0.08	34.36	63.82	13.55	12 025.232	13 388.228	547.779	369.945	138.205	35.103	9.380
AZ4	1.29	0.04	40.31	69.81	11.12	10 611.965	13 272.213	629.362	543.863	100.142	38.14	14.861
AY1	0.49	0.07	20.72	47.48	9.12	10 285.247	14 156.848	690.668	314.219	887.024	24.215	12.824
AY2	0.78	0.07	23.46	52.71	8.87	9 686.888	15 124.84	721.321	262.789	793.601	37.252	13.306
AY3	0.71	0.06	21.90	68.74	8.57	9 388.528	13 792.832	551.974	339.797	1 080.177	30.289	11.787
AY4	0.96	0.07	20.30	80.75	8.96	9 990.169	12 060.824	682.627	266.805	1 006.754	28.327	12.268
SZ1	0.39	0.11	4.59	45.71	3.63	10 205.203	12 335.823	713.28	693.813	463.331	27.364	23.959
SZ2	0.55	0.09	4.34	41.19	5.92	13 324.777	14 252.895	743.933	720.821	519.908	29.401	23.631
SZ3	0.60	0.10	6.84	42.49	4.42	11 025.822	15 578.259	674.586	747.829	626.485	32.439	26.313
SZ4	0.41	0.09	5.28	42.21	5.63	12 079.220	12 631.428	505.239	474.837	533.061	25.904	23.994
HT1	3.83	0.18	17.21	37.16	8.97	7 873.234	14 977.167	535.892	836.852	239.638	21.763	11.676
HT2	3.92	0.19	19.37	30.28	8.86	8 915.520	11 769.216	566.545	903.252	155.555	22.622	9.357
HT3	4.43	0.11	14.04	43.56	9.27	7 982.123	9 869.265	697.198	753.486	206.619	24.481	10.039
HT4	3.93	0.11	12.67	37.92	9.68	9 902.226	13 653.314	592.470	795.170	301.481	24.527	12.720
KS1	0.73	0.33	5.63	72.58	8.95	11 036.696	13 852.585	442.696	839.143	496.513	27.198	16.402
KS2	0.51	0.23	5.97	99.47	6.21	8 380.049	14 514.582	453.857	903.116	771.864	25.57	15.083
KS3	0.46	0.19	5.41	67.09	7.34	7 161.412	12 032.902	476.606	807.090	341.433	19.916	11.764
KS4	0.47	0.19	6.66	80.86	7.89	11 942.775	9 739.842	388.626	1 231.063	770.201	36.774	16.646
AL1	0.32	0.15	5.57	77.29	9.25	8 974.138	8 963.781	405.647	415.036	444.233	26.326	17.209
AL2	0.79	0.14	4.81	54.86	5.92	11 305.501	11 991.221	272.667	519.009	418.266	18.492	13.773
AL3	0.57	0.13	7.70	69.34	6.68	9 286.864	12 049.579	124.687	822.982	412.298	19.258	22.336
AL4	0.68	0.09	4.46	66.66	2.53	11 068.227	10 492.485	356.708	421.634	466.331	32.659	10.899
HN1	0.59	0.09	23.40	60.82	10.20	10 012.522	14 602.89	851.272	695.231	440.363	9.149	20.538
HN2	0.56	0.08	24.25	63.10	9.93	9 911.869	12 902.702	839.252	715.255	394.396	10.320	19.974
HN3	0.55	0.11	21.74	71.15	10.88	9 986.112	10 862.514	827.231	901.386	488.428	11.302	23.411
HN4	0.59	0.08	22.74	52.46	8.87	9 927.858	14 402.327	915.211	657.579	262.461	19.283	14.848
HX1	1.31	0.10	30.35	38.72	7.56	11 144.653	10 582.139	603.191	866.537	336.493	14.264	20.285
HX2	1.41	0.05	23.02	40.36	8.39	9 912.678	13 852.962	591.171	715.495	410.526	25.245	17.721
HX3	1.21	0.03	22.87	43.26	10.77	9 880.703	14 699.742	579.151	794.454	484.558	13.227	19.158
HX4	1.15	0.11	20.43	42.63	8.89	11 148.728	12 052.587	667.136	673.412	358.591	17.208	20.595

续表 2

编号	Co/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Sr/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Ni/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Ag/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Ba/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Ti/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Cu/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Pb/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Cr/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Cd/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	As/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Hg/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
JQ1	4.566	11.990	2.248	0.622	3.269	6.237	7.256	2.133	1.013	0.285	0.582	0.006
JQ2	2.922	15.283	3.289	0.818	2.735	6.112	4.249	2.176	0.729	0.116	0.972	0.006
JQ3	6.786	9.080	1.232	0.440	2.916	6.680	8.366	2.100	2.119	0.034	0.741	0.003
JQ4	11.148	15.659	3.265	0.931	3.084	6.154	8.952	1.124	0.952	0.276	—	—
ZY1	2.058	12.887	1.183	0.799	1.872	6.439	6.652	2.354	0.922	0.001	0.660	0.002
ZY2	6.586	14.867	1.955	0.803	1.469	6.122	15.742	2.361	0.904	—	0.233	—
ZY3	6.026	8.263	2.063	—	2.776	5.245	9.748	2.236	1.018	0.211	0.213	0.011
ZY4	7.146	8.450	3.976	0.169	1.227	8.107	13.158	3.112	0.225	0.004	0.485	0.002
AZ1	2.289	10.671	1.169	0.307	2.422	6.729	3.260	2.253	0.608	0.088	0.421	—
AZ2	3.479	9.531	1.169	0.236	2.462	8.329	2.756	3.109	0.436	0.105	0.467	0.006
AZ3	3.225	8.392	0.968	0.442	2.027	10.205	2.963	3.761	0.437	0.096	0.527	0.002
AZ4	5.159	13.252	1.067	0.263	2.543	6.949	2.922	2.489	0.398	0.107	0.326	0.001
AY1	0.336	10.972	2.166	1.101	2.624	5.253	5.556	1.661	0.514	0.145	0.622	0.001
AY2	0.423	13.167	2.165	0.819	2.264	10.355	6.566	2.632	1.016	0.108	0.785	—
AY3	0.562	11.307	3.035	1.375	2.704	7.092	7.237	2.335	0.999	0.211	0.649	—
AY4	1.026	12.447	2.236	0.946	2.745	6.228	5.336	1.979	0.796	0.102	0.712	0.003
SZ1	4.158	13.587	0.736	0.196	2.379	7.765	1.026	1.206	0.552	0.011	0.545	0.014
SZ2	7.021	13.726	1.637	0.207	2.183	10.101	0.289	1.229	1.339	0.127	0.414	0.001
SZ3	—	12.745	0.838	0.217	2.286	6.407	7.560	0.979	0.411	0.104	0.386	—
SZ4	3.851	12.940	1.038	—	2.621	4.736	2.369	1.954	1.026	0.094	0.344	0.002
HT1	1.423	11.134	1.391	0.339	—	6.116	1.225	1.465	2.125	0.085	0.459	—
HT2	3.477	10.329	1.524	0.449	2.187	4.446	1.355	0.987	1.322	0.036	0.392	0.002
HT3	2.149	9.524	1.033	0.244	2.273	2.283	1.267	1.317	1.452	0.066	—	0.001
HT4	1.358	8.718	1.140	0.374	2.068	5.119	2.185	2.391	2.153	0.018	0.311	0.005
KS1	1.336	11.913	2.052	0.623	2.108	3.477	4.263	2.170	1.334	0.159	0.305	0.004
KS2	1.159	15.108	1.244	0.253	2.678	5.814	5.625	1.497	2.302	0.377	0.311	—
KS3	1.545	10.303	1.358	0.422	2.536	4.158	3.864	1.902	2.755	0.224	0.372	0.005
KS4	1.449	14.231	1.628	0.371	2.329	5.002	6.116	1.498	2.206	0.188	0.423	0.004
AL1	1.434	12.650	—	0.063	2.005	2.846	2.710	1.622	1.126	0.032	0.329	0.005
AL2	3.218	14.849	3.012	—	1.981	3.097	2.452	1.803	1.357	0.018	0.466	0.012
AL3	1.322	13.158	2.204	0.005	2.565	7.534	4.650	1.967	0.711	—	0.405	0.006
AL4	1.594	11.467	2.396	0.059	1.232	2.878	7.215	2.008	0.822	—	0.640	—
HN1	1.388	12.776	1.587	0.352	1.979	8.122	9.139	2.973	1.141	0.215	0.215	0.005
HN2	1.782	13.085	1.779	0.349	1.764	6.166	9.349	2.091	0.661	0.143	0.359	0.008
HN3	1.132	14.394	1.971	0.322	1.109	5.301	5.270	1.133	0.784	0.172	0.499	0.009
HN4	1.005	12.703	2.163	0.394	1.835	4.254	9.549	2.174	0.257	0.166	0.316	—

“—”表示含量低于检出限，计算时以“0”计

“—” indicates that the content is below the detection limit, calculated as “0”

3.2 不同产地锁阳多成分的 OPLS-DA

将 5 个省（区）锁阳药材中测得的 24 个化学成分含量作为变量，采用 SIMCA-P 13.0 软件对 40 批锁阳药材进行 OPLS-DA，得分图见图 1。OPLS-DA 模型 R^2_Y （表示 OPLS-DA 模型拟合程度）达到 0.859， Q^2 （表示该模型预测能力）达到 0.702。5 个省（区）的锁阳药材在 OPLS-DA 模型中分类聚集明显。

对 OPLS-DA 模型中 24 个变量的变量投影重要度（Variable Importance for the Projection, VIP）进行分析，结果见图 2。对区分 5 个省（区）锁阳药材的 24 个化学成分的 VIP 值大小进行排列，选择 VIP 值大于 1 的化学成分作为区分 5 个产地锁阳的

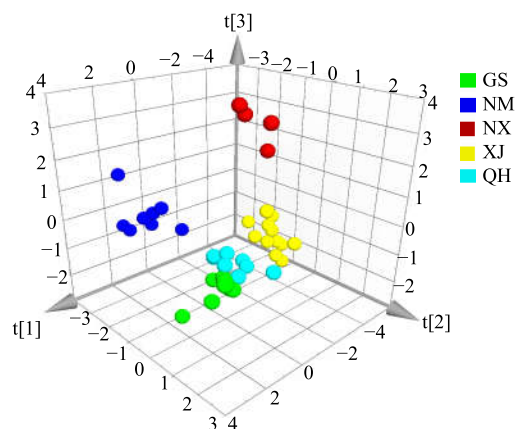


图 1 OPLS-DA

Fig. 1 Results of OPLS-DA

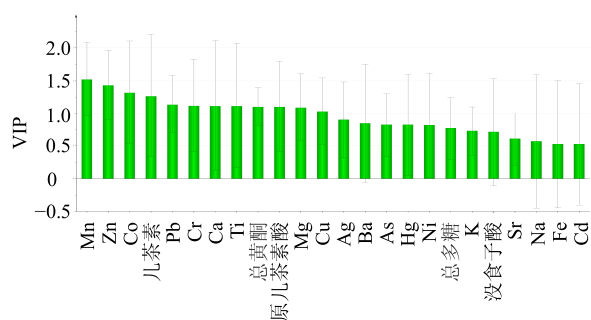


图 2 VIP 分析

Fig. 2 Results of VIP analysis

主要差异性物质, 显示 Mn (VIP 值 1.522 3)、Zn (VIP 值 1.435 3)、Co (VIP 值 1.322 0)、儿茶素 (VIP 值 1.270 6)、Pb (VIP 值 1.140 3)、Cr (VIP 值 1.123 1)、Ca (VIP 值 1.119 6)、Ti (VIP 值 1.119 2)、总黄酮 (VIP 值 1.108 8)、原儿茶酸 (VIP 值 1.108 2)、Mg (VIP 值 1.097 1) 和 Cu (VIP 值 1.036 4) 均大于 1, 说明以上化学成分对不同产区锁阳样品分类有显著影响。其他成分则对锁阳产地的区分影响较小。

3.3 熵权 TOPSIS 法分析^[9]

3.3.1 归一化处理 锁阳药材中的 24 种化学成分, 其中没食子酸、原儿茶酸、儿茶素等 18 种化学成分为越大越优型指标。根据我国外贸部制定的《中华人民共和国药用植物及制剂进出口绿色行业标准》与《中国药典》2015 年版对中药材中重金属元素的限度规定^[1], Cu、Pb、Cr、Cd、As 和 Hg 无机元素属于越小越优型指标。根据公式 (1) 和公式 (2) 对原始实验数据进行归一化处理, 计算指标越大越优型 (x_{ij}^*) 和指标越小越优型 (x_{xj}^*)。

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (1)$$

$$x_{xj}^* = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (2)$$

3.3.2 构建加权决策矩阵 权重决定着各指标在样品评价过程中的重要性, 熵权法基于评价指标的信息熵大小与差异程度, 可以客观反映样品评价指标的重要性。各指标权重 (W_j) = [0.041 6、0.041 7、0.041 6、0.041 7、0.041 7、0.041 7、0.041 7、0.041 7、0.041 7、0.041 7、0.041 7、0.041 8、0.041 7、0.041 1、0.041 7、0.041 7、0.041 7、0.041 7、0.041 7、0.041 7、0.041 7、0.041 7、0.041 7]

将形成的归一化后数据与各指标的 W_j 相乘 (公式 3), 得加权决策矩阵, 见表 3。

3.3.3 最优与最劣方案的确定 根据加权决策矩阵得到最优方案 $Z^+ = \max(Z_1, Z_2, \dots, Z_m)$ 和最劣方案 $Z^- = \min(Z_1, Z_2, \dots, Z_m)$ 。

3.3.4 贴近度的计算及评价 根据最优与最劣方案, 计算各批锁阳样品与正理想解距离 (D_i^+), 与负理想解的距离 (D_i^-), 以及根据公式 3 计算最优解的欧氏贴近度 (C_i)。样品 D_i^+ 越小, D_i^- 越大, C_i 越大则被评价样品越优, 反之, 越差。40 批锁阳药材根据 C_i 的大小排序, 结果见表 4。

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \times 100\% \quad (3)$$

排名在前 20 名的锁阳样本, 甘肃酒泉产有 3 批, 甘肃张掖产有 3 批, 内蒙古阿拉善左旗产有 4 批, 内蒙古阿拉善右旗产有 4 批, 宁夏石嘴山产有 3 批, 新疆喀什产有 2 批, 新疆和田产有 1 批, 新疆阿勒泰、青海海南藏族自治州和青海海西蒙古族藏族自治州产均为 0 批。可见, 内蒙古阿拉善左旗、内蒙古阿拉善左旗、甘肃酒泉、甘肃张掖、宁夏石嘴山所产锁阳排名较前, 样本靠近正理想解的同时远离负理想解。这些产区所产的锁阳。按 5 个省(区)划分, 内蒙古、甘肃更适合锁阳的生长, 这 2 个省(区)锁阳总体质量较好。

4 讨论

中药质量评价多基于传统经验、多指标成分、指纹图谱及谱效关系等评价模式来对其质量进行综合评价。但以上评价方法多存在主观因素影响、实验繁琐复杂及重现性较差等缺点, 目前多指标综合评价仍是中药质量评价的主要研究方向。TOPSIS 分析法在药材三七^[10]、当归^[11]、玄参^[12]、番荔枝子^[13]等质量评价方面得到了良好的运用。本研究对不同产地锁样进行 OPLS 分析, 发现各产地锁阳存在一定的差异, 采用 TOPSIS 法结合熵权法对各指标综合评价, 排除主观赋权对结果的影响, 使分析更为科学合理。

中药作用的整体性、组成成分的多样性、作用靶点的复杂性以及成分间相互作用的难以预测性, 使得检测单一活性成分的西药质量评价方法在中药中行不通^[14]。为了能够全面反映锁阳药材的质量, 选择指标成分时需要将各类含量统筹考虑, 才能使得评价结果具有代表性。没食子酸、原儿茶酸、儿茶素为锁阳有效成分, 总黄酮、总多糖有效部位群可反映锁阳总体质量, 19 种无机元素可反映锁阳中一些有害重金属的含量。评价指标从单一成分,

表 3 加权矩阵
Table 3 Weighting matrix

编号	加权值																								
	没食子酸	原儿茶酸	儿茶素	总多糖	总黄酮	Na	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Co	Sr	Ni	Ag	Ba	Ti	Cu	Pb	Cr	Cd	As	Hg	
JQ1	0.006 5	0.018 1	0.016 5	0.021 4	0.010 6	0.041 7	0.027 2	0.024 2	0.013 3	0.008 2	0.015 9	0.012 9	0.017 1	0.024 1	0.023 6	0.018 6	0.041 7	0.020 4	0.022 5	0.030 4	0.028 7	0.010 2	0.016 7	0.025 0	
JQ2	0.001 6	0.008 3	0.035 1	0.014 2	0.041 7	0.001 9	0.024 3	0.020 1	0.023 2	0.016 8	0.000 0	0.025 2	0.010 9	0.039 9	0.034 5	0.024 5	0.034 9	0.019 8	0.030 4	0.029 9	0.033 4	0.028 9	0.000 0	0.025 0	
JQ3	0.010 2	0.009 7	0.034 1	0.022 7	0.018 8	0.000 6	0.022 1	0.027 9	0.010 8	0.009 2	0.007 5	0.025 6	0.025 4	0.010 2	0.012 9	0.013 2	0.037 2	0.022 7	0.019 5	0.030 7	0.010 5	0.037 9	0.009 9	0.033 3	
JQ4	0.011 1	0.015 3	0.019 3	0.025 8	0.017 2	0.001 8	0.036 1	0.036 0	0.012 4	0.018 2	0.008 1	0.009 0	0.041 7	0.041 7	0.034 2	0.027 8	0.039 4	0.020 0	0.018 0	0.040 3	0.029 7	0.011 2	0.041 7	0.041 7	
ZY1	0.003 2	0.005 6	0.041 6	0.000 0	0.021 3	0.001 8	0.037 3	0.029 0	0.041 7	0.022 7	0.007 2	0.028 9	0.007 7	0.028 4	0.012 4	0.023 9	0.023 9	0.021 5	0.024 1	0.028 2	0.030 2	0.041 6	0.013 4	0.036 1	
ZY2	0.013 3	0.002 8	0.017 2	0.015 7	0.020 1	0.003 4	0.030 8	0.041 7	0.008 3	0.011 5	0.002 6	0.026 7	0.024 6	0.037 9	0.020 5	0.024 0	0.018 7	0.019 8	0.000 0	0.028 1	0.030 5	0.041 7	0.031 7	0.041 7	
ZY3	0.008 7	0.002 8	0.027 1	0.015 5	0.018 6	0.002 9	0.036 4	0.031 4	0.012 7	0.009 7	0.011 0	0.014 6	0.022 5	0.006 3	0.021 6	0.000 0	0.035 4	0.015 3	0.015 9	0.029 3	0.028 6	0.018 4	0.032 6	0.011 1	
ZY4	0.014 3	0.012 5	0.018 3	0.023 0	0.013 1	0.001 2	0.025 3	0.037 1	0.004 7	0.008 0	0.005 0	0.021 2	0.026 7	0.007 2	0.041 7	0.005 1	0.015 7	0.030 1	0.006 8	0.020 7	0.041 7	0.041 3	0.020 9	0.036 1	
AZ1	0.014 3	0.012 5	0.027 4	0.023 0	0.026 3	0.001 9	0.026 0	0.019 7	0.001 7	0.008 5	0.020 8	0.007 5	0.008 6	0.017 8	0.012 3	0.009 2	0.030 9	0.023 0	0.033 1	0.029 2	0.035 4	0.032 0	0.023 6	0.041 7	
AZ2	0.001 6	0.004 2	0.033 3	0.022 8	0.024 3	0.002 1	0.035 5	0.021 2	0.003 4	0.001 9	0.034 3	0.003 8	0.013 0	0.012 4	0.012 3	0.007 1	0.031 4	0.031 2	0.034 4	0.020 7	0.038 2	0.030 1	0.021 7	0.025 0	
AZ3	0.003 0	0.006 9	0.027 4	0.022 9	0.036 2	0.003 2	0.027 9	0.018 3	0.002 6	0.001 6	0.037 3	0.000 1	0.012 1	0.006 9	0.010 2	0.013 2	0.025 9	0.040 9	0.033 9	0.014 3	0.038 2	0.031 1	0.019 1	0.036 1	
AZ4	0.009 8	0.001 4	0.032 8	0.026 0	0.028 2	0.002 3	0.027 2	0.021 9	0.006 7	0.000 0	0.041 7	0.013 5	0.019 3	0.030 2	0.011 2	0.007 9	0.032 5	0.024 1	0.034 0	0.026 8	0.038 8	0.029 9	0.027 7	0.038 9	
AY1	0.001 7	0.005 6	0.014 9	0.014 2	0.021 6	0.002 1	0.032 7	0.024 5	0.001 2	0.033 5	0.021 7	0.008 5	0.001 3	0.019 3	0.022 7	0.032 9	0.033 5	0.015 3	0.027 0	0.035 0	0.036 9	0.025 7	0.015 0	0.038 9	
AY2	0.004 7	0.005 6	0.017 4	0.017 0	0.020 8	0.001 7	0.038 8	0.025 8	0.000 0	0.029 5	0.040 4	0.009 7	0.001 6	0.029 8	0.022 7	0.024 5	0.028 9	0.041 7	0.024 3	0.025 4	0.028 7	0.029 7	0.008 0	0.041 7	
AY3	0.004 0	0.004 2	0.016 0	0.025 5	0.019 8	0.001 5	0.030 4	0.018 5	0.001 8	0.041 7	0.030 4	0.006 0	0.002 1	0.020 9	0.031 8	0.041 1	0.034 5	0.024 8	0.022 5	0.028 4	0.028 9	0.018 4	0.013 9	0.041 7	
AY4	0.006 5	0.005 6	0.014 6	0.031 8	0.021 1	0.001 9	0.019 5	0.024 2	0.000 1	0.038 6	0.027 6	0.007 2	0.003 8	0.026 3	0.023 5	0.028 3	0.035 0	0.020 4	0.027 6	0.031 9	0.032 3	0.030 4	0.011 2	0.033 3	
SZ1	0.000 7	0.011 1	0.000 2	0.013 3	0.003 6	0.002 0	0.021 3	0.025 5	0.010 3	0.015 4	0.026 2	0.035 9	0.015 5	0.031 8	0.007 7	0.005 9	0.030 4	0.028 3	0.039 0	0.039 5	0.036 3	0.040 5	0.018 3	0.002 8	
SZ2	0.002 3	0.008 3	0.000 0	0.010 9	0.011 1	0.004 1	0.033 3	0.026 8	0.010 9	0.017 9	0.029 1	0.035 1	0.026 3	0.032 4	0.017 2	0.006 2	0.027 9	0.040 4	0.040 9	0.039 3	0.023 3	0.027 6	0.023 9	0.038 9	
SZ3	0.002 8	0.009 7	0.002 3	0.011 6	0.006 2	0.002 6	0.041 7	0.023 8	0.011 5	0.022 4	0.033 5	0.041 7	0.000 0	0.027 7	0.008 8	0.006 5	0.029 2	0.021 3	0.021 7	0.041 7	0.038 6	0.030 2	0.025 1	0.041 7	
SZ4	0.000 9	0.008 3	0.000 9	0.011 5	0.010 2	0.003 3	0.023 1	0.016 5	0.005 0	0.018 4	0.024 1	0.036 0	0.014 4	0.028 7	0.010 9	0.000 0	0.033 4	0.012 7	0.035 4	0.032 1	0.028 5	0.031 3	0.026 9	0.036 1	
HT1	0.035 6	0.020 8	0.011 7	0.008 8	0.021 1	0.000 5	0.037 9	0.017 8	0.013 7	0.005 9	0.018 2	0.005 7	0.005 3	0.020 0	0.014 6	0.010 1	0.000 0	0.019 8	0.038 5	0.036 9	0.010 4	0.032 3	0.022 0	0.041 7	
HT2	0.036 5	0.022 2	0.013 7	0.005 2	0.020 8	0.001 2	0.017 7	0.019 1	0.015 2	0.002 4	0.019 4	0.000 0	0.013 0	0.016 2	0.016 0	0.013 4	0.027 9	0.011 2	0.038 1	0.041 6	0.023 6	0.037 7	0.024 9	0.036 1	
HT3	0.041 6	0.011 1	0.008 8	0.012 2	0.022 1	0.000 5	0.005 7	0.024 8	0.011 7	0.004 5	0.022 1	0.001 7	0.008 0	0.012 4	0.010 8	0.007 3	0.029 0	0.000 0	0.038 4	0.038 4	0.021 5	0.034 4	0.041 7	0.038 9	
HT4	0.036 6	0.011 1	0.007 6	0.009 2	0.023 5	0.001 8	0.029 6	0.020 3	0.012 7	0.008 6	0.022 2	0.008 3	0.005 1	0.008 5	0.012 0	0.011 2	0.026 4	0.014 6	0.035 9	0.027 8	0.009 9	0.039 7	0.028 4	0.027 8	
KS1	0.004 2	0.041 7	0.001 2	0.027 5	0.021 1	0.002 6	0.030 8	0.013 8	0.013 7	0.016 9	0.026 0	0.017 3	0.005 0	0.023 8	0.021 5	0.018 6	0.026 9	0.006 2	0.030 4	0.030 0	0.023 4	0.024 1	0.028 6	0.030 6	
KS2	0.001 9	0.027 8	0.001 5	0.041 7	0.012 1	0.000 8	0.035 0	0.014 3	0.015 2	0.028 6	0.023 7	0.014 1	0.004 3	0.039 0	0.013 0	0.007 6	0.034 2	0.018 2	0.026 8	0.036 6	0.007 5	0.000 0	0.028 4	0.041 7	
KS3	0.001 4	0.022 2	0.001 0	0.024 6	0.015 8	0.000 0	0.019 3	0.015 2	0.013 0	0.010 3	0.015 6	0.005 9	0.005 8	0.016 1	0.014 2	0.012 6	0.032 4	0.009 7	0.031 5	0.032 6	0.000 0	0.016 9	0.025 7	0.027 8	
KS4	0.001 5	0.022 2	0.002 1	0.031 9	0.017 6	0.003 2	0.004 9	0.011 4	0.023 0	0.028 5	0.039 7	0.017 9	0.005 4	0.034 8	0.017 1	0.011 1	0.029 7	0.014 0	0.025 5	0.036 6	0.009 0	0.020 9	0.023 6	0.030 6	
AL1	0.000 0	0.016 7	0.001 1	0.030 0	0.022 1	0.001 2	0.000 0	0.012 2	0.003 6	0.014 6	0.024 7	0.019 3	0.005 4	0.027 3	0.000 0	0.001 9	0.025 6	0.002 9	0.034 5	0.035 4	0.026 8	0.038 2	0.027 6	0.027 8	
AL2	0.004 8	0.015 3	0.000 4	0.018 1	0.011 1	0.002 7	0.019 1	0.006 4	0.006 1	0.013 5	0.013 5	0.010 8	0.012 0	0.037 8	0.031 6	0.000 0	0.025 3	0.004 2	0.035 2	0.033 6	0.023 0	0.039 7	0.021 7	0.008 3	
AL3	0.002 5	0.013 9	0.003 1	0.025 8	0.013 6	0.001 4	0.019 5	0.000 0	0.013 3	0.013 3	0.014 6	0.031 9	0.004 9	0.029 7	0.023 1	0.000 1	0.032 7	0.027 1	0.029 4	0.032 0	0.033 7	0.041 7	0.024 3	0.025 0	
AL4	0.003 6	0.008 3	0.000 1	0.024 4	0.000 0	0.002 6	0.009 6	0.010 1	0.003 8	0.015 6	0.033 8	0.003 8	0.006 0	0.021 6	0.025 1	0.001 8	0.015 7	0.003 1	0.022 6	0.031 6	0.031 9	0.041 7	0.014 2	0.041 7	
HN1	0.002 7	0.008 3	0.017 4	0.021 3	0.025 2	0.001 9	0.035 5	0.031 5	0.010 3	0.014 5	0.000 2	0.027 5	0.005 2	0.027 9	0.016 6	0.010 5	0.025 3	0.030 2	0.017 5	0.022 1	0.026 6	0.017 9	0.032 5	0.027 8	
HN2	0.002 4	0.006 9	0.018 2	0.022 5	0.024 3	0.001 8	0.024 8	0.031 0	0.010 8	0.012 5	0.001 8	0.026 1	0.006 7	0.029 4	0.018 7	0.010 4	0.022 5	0.020 1	0.016 9	0.030 8	0.034 5	0.025 9	0.026 3	0.019 5	

表 4 锁阳药材质量评价排序

Table 4 Relative ordering of quality evaluation of *C. songaricum*

编号	D_i^+	D_i^-	C_i	排序	编号	D_i^+	D_i^-	C_i	排序
JQ1	0.023 1	0.022 5	49.30	11	HT1	0.025 6	0.022 4	46.66	25
JQ2	0.022 8	0.025 2	52.47	3	HT2	0.025 1	0.022 9	47.72	17
JQ3	0.024 4	0.021 9	47.26	21	HT3	0.027 0	0.023 2	46.25	28
JQ4	0.022 1	0.027 9	55.81	1	HT4	0.025 8	0.021 2	45.18	32
ZY1	0.022 6	0.025 6	53.14	2	KS1	0.023 8	0.022 8	48.82	14
ZY2	0.023 9	0.024 8	50.90	8	KS2	0.025 7	0.024 0	48.29	15
ZY3	0.025 9	0.020 7	44.47	33	KS3	0.028 1	0.018 4	39.51	40
ZY4	0.025 8	0.023 6	47.70	18	KS4	0.025 1	0.022 3	47.11	22
AZ1	0.023 7	0.022 9	49.19	12	AL1	0.027 8	0.021 0	43.06	35
AZ2	0.025 5	0.023 0	47.46	20	AL2	0.028 2	0.020 3	41.85	36
AZ3	0.025 5	0.023 7	48.12	16	AL3	0.025 6	0.022 6	46.88	24
AZ4	0.024 1	0.025 4	51.38	4	AL4	0.029 2	0.020 3	40.98	38
AY1	0.024 6	0.023 5	48.94	13	HN1	0.024 8	0.021 6	46.59	27
AY2	0.023 8	0.025 1	51.36	5	HN2	0.025 2	0.020 9	45.32	31
AY3	0.024 0	0.024 7	50.72	10	HN3	0.025 1	0.021 9	46.63	26
AY4	0.023 0	0.023 9	50.89	9	HN4	0.025 1	0.022 3	47.08	23
SZ1	0.025 8	0.023 4	47.65	19	HX1	0.027 6	0.019 7	41.61	37
SZ2	0.024 5	0.025 6	51.15	6	HX2	0.027 8	0.018 9	40.38	39
SZ3	0.024 2	0.025 2	51.04	7	HX3	0.025 9	0.022 1	45.96	29
SZ4	0.026 4	0.022 3	45.77	30	HX4	0.025 5	0.019 6	43.50	34

有效部位群和无机元素含量方面全方位的的对锁阳药材进行质量评价。

通过国家气象信息中心的中国气象数据网 (<http://data.cma.cn/>) 查询各产地气候因子数据与 OPLS-DA 分析、TOPSIS 分析相结合,发现锁阳最佳生长环境为海拔 1 000~1 500 m, 年降雨量 50~100 mm, 全年日照时间为 3 000 h 的温带大陆性气候地区。这为锁阳资源保护及人工培育提供了科学数据。

参考文献

[1] 中国药典 [S]. 四部. 2015.
 [2] Wang F, Zhang J, Liu Q, *et al.* polysaccharide isolated from *Cynomorium songaricum* Rupr. protects PC12 cells against H₂O₂-induced injury [J]. *Int J Biol Macromol*, 2016, 87(6): 222-228.
 [3] 尚 林, 李建菊, 尚 军. 锁阳多糖的抗衰老作用 [J]. 中国老年学杂志, 2018, 38(6): 1458-1460.
 [4] 杨 帆, 赵鹏伟, 孙 鹏, 等. 锁阳多糖对肺癌细胞端粒的影响 [J]. 中国中药杂志, 2016, 41(5): 917-921.
 [5] Tao R, Miao L, Yu X A, *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(7): 65-74.

[6] 刘志祥, 刘 进. 基于变权重理论和 TOPSIS 法的采矿方法优选 [J]. 有色金属工程, 2019, 9(3): 76-81.
 [7] 朱天瞳, 丁坚勇, 郑 旭. 基于改进 TOPSIS 法和德尔菲——熵权综合权重法的电网规划方案综合决策方法 [J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(12): 91-99.
 [8] 王先芝, 芮执元, 任丽娜. 基于三角模糊数 TOPSIS 法的数控机床危害性分析 [J]. 机械设计, 2017, 34(3): 48-53.
 [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] 张亚亚, 王亚丽, 顾志荣, 等. 熵权 TOPSIS 法综合评价直播与移栽当归药材的质量 [J]. 时珍国医国药, 2016, 27(11): 2741-2743.
 [12] 王胜男, 华愉教, 邹立思, 等. 不同加工玄参核苷类成分的含量测定及 TOPSIS 分析 [J]. 中国药学杂志, 2016, 51(4): 274-279.
 [13] 李 月, 胡 鹏, 张园娇, 等. QTRAP-UFLC-MS/MS 同时测定不同产地番荔枝子中氨基酸和核苷类成分的含量及 PCA 和 TOPSIS 分析 [J]. 中草药, 2018, 49(11): 2671-2677.
 [14] 姜 华, 高 原, 杨景明, 等. 源于“整体观”思想的中药质量评价方法研究概述 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(6): 1027-1031.