

# 基于灰色关联度与 TOPSIS 融合模型对 不同产地广西郁金的质量评价

张娜<sup>1,2</sup>, 翁伟锋<sup>3</sup>, 魏坤盛<sup>1</sup>, 黄淳<sup>1</sup>, 王琼<sup>1,2\*</sup>

- (1. 中山火炬职业技术学院, 广东 中山 528436;
2. 国家中药现代化工程技术研究中心, 广东 中山 528436;
3. 吉林大学珠海学院, 广东 珠海 519000)

**[摘要]** 目的: 研究不同产地广西郁金及引种郁金的质量, 旨在筛选广西郁金优良种源, 以提高郁金药材的整体质量评价水平。方法: 选择醇溶性浸出物、吉马酮、莪术二酮、挥发油、总姜黄素和姜黄素为综合评价指标, 测定不同产地的 50 株广西郁金样品中的 5 种主要成分含量, 对不同产地的广西郁金进行聚类分析, 并建立广西郁金的灰色关联度与 TOPSIS 融合模型。结果: 聚类分析结果表明 50 株不同产地广西郁金样品可分为四类; 基于灰色关联度与 TOPSIS 融合模型以相对贴近度  $\gamma_i$  为指标综合评价广西郁金质量, 编号为 YL-2, YL-5, YL-1, YL-4 的样品质量最优; 不同产地广西郁金样品的平均相对贴近度  $\gamma_i$  排序为玉林 > 平南 > 横县 > 兴业 > 肇庆 > 青塘 > 中山 > 钦州 > 贵港 > 灵山。结论: 多指标决策分析灰色关联度与 TOPSIS 融合模型用于广西郁金质量评价, 方法简单客观全面, 可推广使用, 为优质种源的筛选提供了参考依据。

**[关键词]** 广西郁金; 聚类分析; 质量评价; 灰色关联度与 TOPSIS 融合模型

**[中图分类号]** R284.2; R289; R22; R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2020)03-0137-09

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20200215

**[网络出版地址]** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20191012.1028.002.html>

**[网络出版时间]** 2019-10-12 11:06

## Quality Evaluation of Curcumae Radix from Different Areas Based on Grey Correlation Degree and TOPSIS Fusion Model

ZHANG Na<sup>1,2</sup>, WENG Wei-feng<sup>3</sup>, WEI Kun-sheng<sup>1</sup>, HUANG Chun<sup>1</sup>, WANG Qiong<sup>1,2\*</sup>

- (1. Zhongshan Torch Polytechnic, Zhongshan 528436, China;
2. National Engineering Research Center for Modernization of Traditional Chinese Medicine, Zhongshan 528436, China;
3. Zhuhai College of Jilin University, Zhuhai 519000, China)

**[Abstract]** **Objective:** To study the quality of Curcumae Radix from different areas, in order to screen out excellent provenances to improve the overall quality and stability of Curcumae Radix. **Method:** The volatile oil, alcohol extract, germacrone, germacr-1 (10)-ene-5, 8-dione and curcumin were selected as comprehensive evaluation indicators to determine the content of five main components in 50 samples of Curcumae Radix from different areas. Cluster analysis was made for Curcumae Radix from different areas of Guangxi, and the fusion models of GRA (grey correlation degree) and TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution) of Curcumae Radix were established. **Result:** The results of cluster analysis indicated that 50 samples from different areas could be divided into four categories. The fusion models of GRA and TOPSIS were based on

**[收稿日期]** 20190612(011)

**[基金项目]** 2017 年广东省普通高校青年创新人才(自然科学)项目(2017GKQNCX083); 2018 年中山市社会公益科技研究专项(2018B1128)

**[第一作者]** 张娜, 硕士, 讲师, 从事中药成分检测和分析、中药规范化种养殖等工作, Tel: 0760-88291713, E-mail: 594905680@qq.com

**[通信作者]** \*王琼, 硕士, 副教授, 从事中药药理药效工作, E-mail: 119570645@qq.com

relative closeness  $\gamma_i$  as the index to comprehensively evaluated the quality of *Curcumae Radix*. Samples No. YL-2, YL-5, YL-1, YL-4 were screened out as excellent samples. The average relative closeness  $\gamma_i$  was ranked as follows: Yulin > Pingnan > Hengxian > Xingye > Zhaoqing > Qingtang > Zhongshan > Qinzhou > Guigang > Lingshan. **Conclusion:** The multiple attribute decision making analysis gray correlation degree and TOPSIS fusion models are used to optimize the quality evaluation of *Curcumae Radix*. The method is simple, objective and comprehensive, which can be promoted and provide a reference for the screening of high-quality provenance.

**[Key words]** *Curcumae Radix*; cluster analysis; quality evaluation; the fusion model of grey correlation degree and TOPSIS

郁金是常用的大宗药材,2015 年版《中国药典》(一部)郁金项下记载有温郁金 *Curcuma wenyujin*, 姜黄 *C. longa*, 广西莪术 *C. kwangsiensis* 或蓬莪术 *C. phaeocalis* 4 种来源<sup>[1]</sup>。郁金具有行气解郁、活血止痛、利胆退黄、清心凉血之功,临床常用于治疗痛经闭经、黄疸尿赤、乳房胀痛、胸胁刺痛等证<sup>[2]</sup>。目前由于生态环境的破坏,经过长期自然选择和物种进化形成的适于特定环境的种质资源正在迅速减少乃至逐步消失,导致市面上郁金药材质量参差不齐,而且不同品种郁金在性状、显微、化学成分、药理药效等方面自身存在较大的差异。然而 2015 年版《中国药典》(一部)郁金项下仅记载了总灰分和水分检查,使郁金药材的质量难以量化评价。鉴于中药化学成分复杂多样,多组分协同是中药发挥多通道、多靶点药理作用的重要途径,因此以多个指标对中药进行整体质量控制,可以弥补以单一指标评价的不足,更符合中药的整体性概念;也有利于优质种源的筛选,从源头上控制中药的质量,确保中药质量的稳定<sup>[3]</sup>。

近年来,已有学者专家对中药多指标成分质量综合评价方法做了研究,并取得一定成果。逼近理想排序法(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)是根据评价目标与理想化目标的接近程度进行优选的一种多指标决策分析方法<sup>[4]</sup>。熵权 TOPSIS 分析方法已在三七、当归、菝葜子等药材品质研究上得到广泛应用<sup>[3,5-6]</sup>。灰色关联度法(gray relational method, GRA)是灰色理论的基本内容,是根据数据数列曲线形状的相似程度分析因子间的关联程度的灰色系统<sup>[7-8]</sup>。具有所需样本量少、方法简单、运算方便、易于挖掘数据规律等优点。灰度关联度法也被引入中药领域作为一种新型质量评价方法,用于构建防风<sup>[9]</sup>、白党参<sup>[10]</sup>、红芪<sup>[11]</sup>、牡丹皮<sup>[12]</sup>、滇龙胆<sup>[13]</sup>、木香<sup>[14]</sup>等质量评价模型,取得了很好的分析结果。

广西是广西郁金的道地产区,尤其以玉林、

灵山、贵港、钦州一带为广西郁金的主产区,种质资源十分丰富,广西郁金作为郁金的主流品种,占全国郁金总产量的 60%<sup>[15]</sup>,具有重要的医药和经济价值;但广西郁金的种质存在较大的差异,遗传多样性丰富<sup>[16]</sup>。为了发掘优良郁金种质资源,扩大郁金基地种植面积,笔者收集了广西 8 地、广东 2 地栽培群居的 50 份广西郁金样品进行综合质量比较分析。鉴于郁金类药材中挥发油和姜黄素为质量标志物(Q-marker)<sup>[17]</sup>,选择醇溶性浸出物、吉马酮、莪术二酮、挥发油、总姜黄素和姜黄素为综合评价指标,本文采用聚类分析对不同产地的广西郁金进行分类,构建灰色关联度与 TOPSIS 融合模型对广西郁金样品进行筛选和综合评价,以期对广西郁金优质种源的筛选和栽培提供参考和借鉴,并建立一种新型中药质量综合评价方法。

## 1 材料

LC-20A 型高效液相色谱仪(日本岛津), TU-1810 型紫外-可见分光光度计(北京普析通用仪器有限公司), 101-2AB 电热鼓风干燥箱(天津市泰斯特仪器有限公司), BSA224S 型电子分析天平(赛多利斯科学仪器北京有限公司), DFY-200D 型摇摆式高速粉碎机(厦门佰伦斯电子科技有限公司), SFY-60 型(红外线)快速水分测定仪(冠亚), DZKW-S-4 型电热恒温水浴锅(北京市永光明医疗仪器有限公司);吉马酮、莪术二酮、姜黄素对照品(上海市安谱实验科技股份有限公司,批号 B3470010, H0910010, G162304, 纯度均 > 98%), 乙腈、甲醇(色谱纯, Tedia), 乙醇、冰乙酸、甲醇等其他试剂为分析纯(天津市大茂化学试剂厂), 纯净水(怡宝饮用纯净水)。广西郁金样品于 2017 年 10 月至 2018 年 2 月分别采自广西 8 地广东 2 地,经中山火炬职业技术学院王琼副教授鉴定为姜科植物广西莪术 *C. kwangsiensis* 的干燥块根,为正品广西郁金。优选 50 株样品产量 > 140 g,样品干燥后粉碎成细粉,密封保存待用,样品信息见表 1,样品收集路线

为中山、肇庆、平南、玉林、兴业、贵港、横县、灵山、青塘、钦州。

表 1 广西郁金样品编号及来源

Table 1 Numbers and sources of samples of *Curcuma kwangsiensis* radix

No.	产地	地理位置(经纬度)	土壤条件	采收时间
YL-1 ~ YL-5	广西玉林市	110. 14, 22. 64	红色土壤	2018-01
LS-1 ~ LS-5	广西灵山县	109. 29, 22. 44	紫色土壤	2018-02
GG-1 ~ GG-5	广西贵港市	109. 60, 23. 11	紫色土壤	2018-01
PL-1 ~ PL-5	广西平南县	110. 40, 23. 55	红色土壤	2018-01
HX-1 ~ HX-5	广西横县县	109. 40, 22. 69	红色土壤	2018-02
QT-1 ~ QT-5	广西青塘镇	108. 82, 22. 26	紫色土壤	2018-02
QZ-1 ~ QZ-5	广西钦州市	108. 61, 21. 96	紫色土壤	2018-02
XY-1 ~ XY-5	广西兴业县	109. 82, 22. 74	红色土壤	2018-01
ZQ-1 ~ ZQ-5	广东肇庆市	112. 47, 23. 05	黄色土壤	2017-12
ZS-1 ~ ZS-5	广东中山市	113. 38, 22. 52	黄色土壤	2017-10

## 2 方法与结果

### 2.1 含量测定方法

**2.1.1 醇溶性浸出物含量测定** 以乙醇为溶剂,参照 2015 年版《中国药典》中醇溶性浸出物测定法(通则 2201)热浸法测定<sup>[1]</sup>。

**2.1.2 挥发油含量测定** 采用水蒸气蒸馏法,按 2015 年版《中国药典》(附录 X D)方法提取挥发油(不加二甲苯),进行挥发油提取<sup>[1]</sup>。

**2.1.3 吉马酮和莪术二酮含量测定**<sup>[18]</sup> 经前期研究确定 HPLC 色谱条件为,采用 Komasil ODS-1 色谱柱(4.6 mm × 250 mm, 5 μm);流动相乙腈-水(75:25);流速 0.8 mL·min<sup>-1</sup>;进样量 10 μL;检测波长 244 nm;柱温 35 ℃;吉马酮、莪术二酮与其他组分的色谱峰达到基线分离,与其邻近色谱峰的分度度 ≥ 1.5,分离度良好,理论板数按吉马酮峰计 ≥ 4 000。

**2.1.4 姜黄素含量测定**<sup>[19]</sup> 经由前期研究确定 HPLC 色谱条件为,采用 Komasil ODS-1 色谱柱(4.6 mm × 250 mm, 5 μm);流动相甲醇-冰乙酸-水(50:1:50);流速 0.8 mL·min<sup>-1</sup>;进样量 10 μL;检测波长 244 nm;柱温 35 ℃;姜黄素与其他组分的色谱峰达到基线分离,与其邻近色谱峰的分度度 ≥ 1.5,分离度良好,理论板数按姜黄素峰计 ≥ 4 000。

5 个成分 50 株广西郁金样品样品的含量测定结果见表 2。

**2.2 方差分析** 应用 SPSS 24.0 软件,对 50 株不同产地的广西郁金样品中指标性成分(挥发油、吉马酮、莪术二酮、姜黄素、浸出物)按照广西玉林、

灵山、贵港、平南、横县、青塘、钦州、兴业、广东肇庆、中山 10 个不同产地进行比较分析。分析结果见表 3。由表 3 可以看出,不同产地广西郁金样品均含有挥发油、吉马酮、莪术二酮、姜黄素、浸出物 5 种指标性成分。其中,挥发油质量分数为 0.606 0% ~ 2.094%,吉马酮质量分数为 0.039 92% ~ 0.091 82%,莪术二酮质量分数为 0.325 9% ~ 1.498%,姜黄素质量分数为 0.012 0% ~ 0.028 0%,浸出物质量为 1.158% ~ 4.362%。在不同产地广西郁金中,5 种指标性成分方差分析及含量平均结果显示,除了吉马酮含量外,广西玉林产样品的成分含量均显著高于其他产地( $P < 0.05$ )。广西灵山、贵港、钦州三地产的广西郁金含量最低,3 个产地广西郁金质量无显著性差异。

**2.3 聚类分析** 应用 SPSS 24.0 软件,对 50 株不同产地的广西郁金样品中指标性成分(挥发油、吉马酮、莪术二酮、姜黄素、浸出物)进行聚类分析。以成分含量作为聚类变量,采用平方欧式距离作为测度,样品间进行组间连接,聚类结果见图 1。

通过聚类分析树状图表明,当临界值  $\lambda = 10$  时,50 批不同产地的广西郁金分为两类,产于玉林的 YL1 ~ YL5 号样品,产于横县 HX1, HX5 号样品为一类,其他样品聚为一类。当临界值  $\lambda = 5$  时,50 批不同产地的广西郁金分为四类,产于玉林 YL1, YL2, YL4 号样品为一类,产于玉林 YL3, YL5 样品和产于横县的 HX1, HX5 号样品为一类;产于贵港、灵山、钦州的 GG1 ~ GG5, LS1 ~ LS5, QZ1 ~ QZ5 号样品、产于中山的 ZS1, ZS2 号样品为一类,其他

表 2 广西郁金 5 种成分的含量测定

Table 2 Content of 5 ingredients of samples of *Curcuma kwangsiensis* radix

No.	挥发油	吉马酮	莪术二酮	姜黄素	浸出物	No.	挥发油	吉马酮	莪术二酮	姜黄素	浸出物
YL-1	2.11	0.099 1	1.976 0	0.025	4.87	QT-1	1.23	0.091 6	1.118 0	0.023	1.84
YL-2	2.08	0.101 8	1.671 0	0.038	4.71	QT-2	1.41	0.084 3	1.013 0	0.022	1.97
YL-3	1.95	0.085 2	1.072 0	0.026	3.98	QT-3	1.17	0.071 1	1.071 0	0.021	1.71
YL-4	2.54	0.081 8	1.054 0	0.024	4.82	QT-4	0.98	0.087 9	1.024 0	0.017	1.58
YL-5	1.79	0.091 2	1.715 0	0.027	3.43	QT-5	1.04	0.085 3	0.912 6	0.022	1.69
LS-1	0.86	0.041 2	0.472 1	0.012	1.57	QZ-1	0.62	0.053 9	0.381 2	0.015	1.22
LS-2	0.57	0.031 7	0.306 5	0.011	1.04	QZ-2	0.53	0.051 5	0.417 1	0.017	1.06
LS-3	0.63	0.044 3	0.364 3	0.011	1.31	QZ-3	0.69	0.039 7	0.332 7	0.015	1.21
LS-4	0.71	0.040 1	0.392 7	0.012	1.26	QZ-4	0.71	0.042 8	0.354 1	0.012	1.25
LS-5	0.55	0.042 3	0.315 2	0.014	1.08	QZ-5	0.48	0.047 9	0.411 1	0.014	1.05
GG-1	0.75	0.050 9	0.321 8	0.012	1.17	XY-1	1.16	0.094 3	0.932 7	0.011	1.68
GG-2	0.65	0.041 5	0.379 1	0.011	1.11	XY-2	1.57	0.081 8	0.843 1	0.018	2.15
GG-3	0.81	0.047 8	0.438 3	0.017	1.34	XY-3	1.62	0.074 1	0.987 4	0.018	2.57
GG-4	0.59	0.032 4	0.314 6	0.012	1.06	XY-4	1.25	0.083 3	1.024 0	0.026	2.64
GG-5	0.72	0.048 2	0.175 5	0.011	1.28	XY-5	1.33	0.099 1	1.148 0	0.017	2.33
PL-1	1.47	0.084 1	1.001 0	0.021	2.51	ZQ-1	1.08	0.074 6	0.811 8	0.019	1.87
PL-2	1.02	0.089 1	1.172 0	0.023	1.97	ZQ-2	1.21	0.081 5	1.085 0	0.021	2.01
PL-3	1.71	0.083 6	1.098 0	0.025	1.47	ZQ-3	1.17	0.077 4	1.274 0	0.018	1.98
PL-4	1.69	0.092 9	1.202 0	0.023	2.11	ZQ-4	0.96	0.081 2	0.927 1	0.022	1.72
PL-5	1.51	0.097 2	1.075 0	0.021	1.09	ZQ-5	1.71	0.090 8	1.184 0	0.022	2.02
HX-1	1.82	0.091 2	1.413 0	0.023	3.21	ZS-1	1.12	0.096 1	0.053 4	0.022	2.37
HX-2	1.65	0.074 1	0.692 1	0.021	1.02	ZS-2	0.94	0.071 8	0.063 2	0.029	1.86
HX-3	1.71	0.063 1	0.912 0	0.022	2.43	ZS-3	1.23	0.080 9	1.182 0	0.021	1.93
HX-4	1.56	0.084 9	0.816 7	0.017	1.54	ZS-4	0.92	0.074 6	1.031 0	0.023	1.81
HX-5	1.27	0.071 5	0.940 1	0.023	3.21	ZS-5	1.47	0.089 3	1.215 0	0.024	2.32

样品为一类。

由聚类分析可以看出,玉林产的广西郁金在指标性成分上显著区别于其他地区产的广西郁金;贵港、灵山、钦州产的广西郁金在指标性成分方面比较接近。

**2.4 基于灰色关联度与 TOPSIS 融合模型的广西郁金质量评价** 本文建立基于灰色关联度与 TOPSIS 融合模型综合评价广西郁金样品质量,首先利用熵权法确定广西郁金综合评价指标权重,并确定理想样本和负理想样本,其次计算得到各样本与正负理想样本的欧氏距离、各样本与正负理想样本的灰色关联度,进行无量纲化后,最后计算相对贴近度,实现样品的排序优选。建模流程见图 2。

构建基于灰色关联度与 TOPSIS 融合模型<sup>[20-22]</sup>。①建立初始决策矩阵,设有  $n$  个样本,每

个样本有  $m$  个评价指标,则样本在评价指标下的测量值为  $X_{ij}$  ( $i = 1, 2, 3 \dots n; j = 1, 2, 3 \dots m$ ), 则形成的初始决策矩阵  $X$  为公式(1)。

$$X = \begin{matrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & X_{14} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & X_{24} & \dots & X_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{i1} & X_{i2} & X_{i3} & X_{i4} & X_{il} & X_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n1} & X_{nn} & X_{n3} & X_{n4} & \dots & X_{nm} \end{matrix} \quad (1)$$

②数据归一化处理,由于多个评价指标分析中各指标量纲不一致,对初始决策矩阵的数据进行归一化处理,得到无量纲化指标。对于越大越优型指标及越小越优型指标按公式(2),(3)计算。

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

表 3 不同产地广西郁金 5 种成分的方差分析

Table 3 Variance analysis results of 5 ingredients in *Curcuma kwangsiensis* radix from different areas

产地	挥发油	吉马酮	莪术二酮	姜黄素	浸出物
广西玉林	2.094 0 ± 0.279 5 <sup>a</sup>	0.091 82 ± 0.008 620 <sup>a</sup>	1.498 ± 0.413 6 <sup>a</sup>	0.028 0 ± 0.005 710 <sup>a</sup>	4.362 ± 0.633 1 <sup>a</sup>
广西灵山	0.664 0 ± 0.071 88 <sup>f</sup>	0.039 92 ± 0.005 539 <sup>d</sup>	0.370 2 ± 0.040 90 <sup>e</sup>	0.012 0 ± 0.001 414 <sup>d</sup>	1.252 ± 0.132 5 <sup>cd</sup>
广西贵港	0.704 0 ± 0.085 9 <sup>f</sup>	0.044 16 ± 0.007 422 <sup>d</sup>	0.325 9 ± 0.097 76 <sup>e</sup>	0.012 60 ± 0.002 51 <sup>d</sup>	1.192 ± 0.116 5 <sup>cd</sup>
广西平南	1.480 0 ± 0.278 2 <sup>bed</sup>	0.089 38 ± 0.005 807 <sup>ab</sup>	1.110 ± 0.079 93 <sup>bc</sup>	0.022 60 ± 0.001 67 <sup>b</sup>	1.830 ± 0.556 2 <sup>b</sup>
广西横县	1.602 0 ± 0.208 3 <sup>b</sup>	0.076 96 ± 0.111 4 <sup>bc</sup>	0.954 8 ± 0.273 9 <sup>cd</sup>	0.021 20 ± 0.002 490 <sup>bc</sup>	2.282 ± 0.985 8 <sup>b</sup>
广西青塘	1.166 0 ± 0.168 9 <sup>cde</sup>	0.084 04 ± 0.007 765 <sup>abc</sup>	1.028 ± 0.766 6 <sup>bed</sup>	0.021 00 ± 0.002 345 <sup>bc</sup>	1.758 ± 0.150 2 <sup>bc</sup>
广西钦州	0.606 0 ± 0.099 65 <sup>f</sup>	0.047 16 ± 0.005 905 <sup>d</sup>	0.379 2 ± 0.036 23 <sup>de</sup>	0.146 0 ± 0.001 817 <sup>cd</sup>	1.158 ± 0.095 24 <sup>d</sup>
广西兴业	1.386 0 ± 0.200 8 <sup>bcde</sup>	0.086 52 ± 0.010 01 <sup>abc</sup>	0.098 70 ± 0.112 9 <sup>bed</sup>	0.017 92 ± 0.005 471 <sup>c</sup>	2.274 0 ± 0.385 0 <sup>b</sup>
广东肇庆	1.226 0 ± 0.287 1 <sup>cde</sup>	0.081 1 ± 0.006 128 <sup>bc</sup>	1.056 ± 0.187 7 <sup>bc</sup>	0.020 40 ± 0.001 817 <sup>bc</sup>	1.920 ± 0.126 7 <sup>b</sup>
广东中山	1.136 0 ± 0.226 8 <sup>cde</sup>	0.082 54 ± 0.010 13 <sup>abc</sup>	0.708 9 ± 0.598 0 <sup>d</sup>	0.024 50 ± 0.003 109 <sup>b</sup>	2.058 0 ± 0.266 0 <sup>b</sup>

注:同列不同字母表示有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

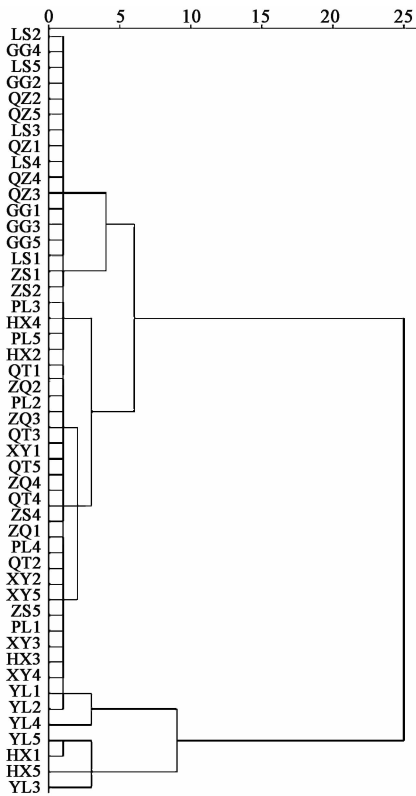


图 1 50 株样品聚类分析

Fig. 1 Clustering analysis chart of 50 samples

$$y_{ij} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (3)$$

广西郁金质量评价属于高优指标,采用公式(2)对表 3 的数据进行归一化处理。

③计算评价各指标的熵值和权重,评价指标的权重对评价结果的科学和合理性影响很大,因此,需要对各评价指标进行合理赋权。如果指标的信息熵越小,能提供的有效信息就越大,对综合评价的影响

也越大。熵值的计算方法为公式(4),第  $j$  个指标的权重计算方法为公式(5)。

$$H_j = \left(-\frac{1}{\ln n}\right) * \left(\sum_{i=1}^n y_{ij} \ln y_{ij}\right)$$

(当  $y_{ij} = 0$  时,规定  $y_{ij} (\ln y_{ij}) = 0$ )

$$\omega_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^n (1 - H_j)} \quad (5)$$

得到  $\omega_j = (0.219 5, 0.153 9, 0.231 0, 0.224 2, 0.171 4)$ 。

④建立加权决策矩阵,将归一化数据与各指标权重  $\omega_j$  相乘,得到加权决策矩阵  $Z$ 。

$$Z = (\omega_j \cdot R_{ij})_{n \times m} \quad (6)$$

⑤确定理想样本  $Z^+$  和负理想样本  $Z^-$ ,按照公式(7),(8)计算各评价指标的理想样本  $Z^+$  和负理想样本  $Z^-$ 。

$$Z^+ = (Z_1^+, Z_2^+, Z_3^+, \dots, Z_n^+) \quad (7)$$

$$\text{其中 } Z_j^+ = \max(Z_{1j}, Z_{2j}, Z_{3j}, \dots, Z_{nj})。$$

$$Z^- = (Z_1^-, Z_2^-, Z_3^-, \dots, Z_n^-) \quad (8)$$

$$\text{其中 } Z_j^- = \min(Z_{1j}, Z_{2j}, Z_{3j}, \dots, Z_{nj})。$$

⑥计算各样品到理想样本和负理想样本的欧氏距离,计算各样品与正理想样本和负理想样本的距离,一般采用欧氏距离,正理想样本的欧氏距离和负理想样本的欧氏距离为计算公式(9),(10)。

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^+)^2} \quad (9)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^-)^2} \quad (10)$$

⑦计算各样品与正、负理想样本的灰色关联系数,确定第  $i$  个样品关于正理想样本的第  $j$  个指标的灰色关联系数按照公式(11)计算。

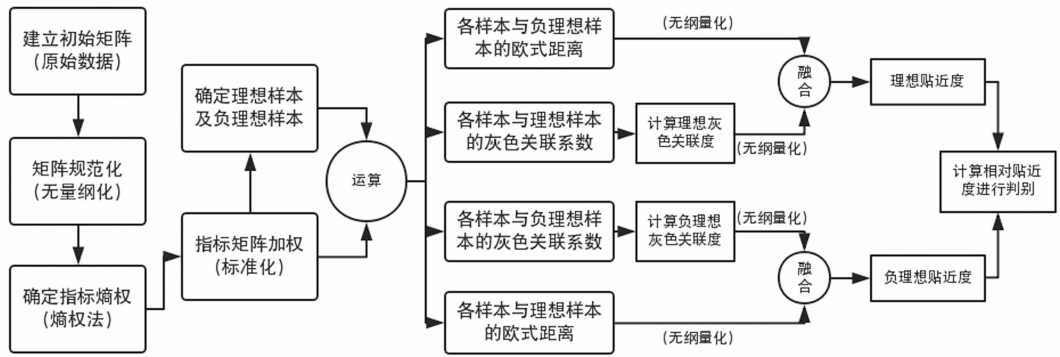


图 2 建模流程  
Fig. 2 Flow chart of building model

$$\xi_{ij}^+ = \frac{\Delta_{\min} |z_j^+ - z_{ij}| + \rho \Delta_{\max} |z_j^+ - z_{ij}|}{|z_j^+ - z_{ij}| + \rho \Delta_{\max} |z_j^+ - z_{ij}|} \quad (11)$$

确定第  $i$  个样品关于负理想样本的第  $j$  个指标的灰色关联系数  $\xi_{ij}^-$  按照公式 (12) 计算。公式中  $\Delta_{\min} |Z_j^+ - Z_{ij}| = \min |Z_j^+ - Z_{ij}|$ ,  $\xi_{ij}^-$  按照公式 (12) 计算。公式中  $\Delta_{\max} |Z_j^+ - Z_{ij}| = \max |Z_j^+ - Z_{ij}|$ , ( $i = 1, 2, 3, \dots, m; k = 1, 2, 3, \dots, n$ )。得到灰色关联系数矩阵为:

$$R^+ = \begin{matrix} R_{11}^+ & R_{12}^+ & R_{13}^+ & R_{14}^+ & \cdots & R_{1m}^+ \\ R_{21}^+ & R_{22}^+ & R_{23}^+ & R_{24}^+ & \cdots & R_{2m}^+ \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{1l}^- & R_{2l}^- & R_{3l}^- & R_{4l}^- & R_{il}^- & R_{im}^- \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{n1}^- & R_{n2}^- & R_{n3}^- & R_{n4}^- & \cdots & R_{nm}^- \end{matrix}$$

$$\xi_{ij}^- = \frac{\Delta'_{\min} |z_j^- - z_{ij}| + \rho \Delta'_{\max} |z_j^- - z_{ij}|}{|z_j^- - z_{ij}| + \rho \Delta'_{\max} |z_j^- - z_{ij}|} \quad (12)$$

公式中  $\Delta'_{\min} |Z_j^- - Z_{ij}| = \min |Z_j^- - Z_{ij}|$ ,  $\Delta'_{\max} |Z_j^- - Z_{ij}| = \max |Z_j^- - Z_{ij}|$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, m; k = 1, 2, 3, \dots, n$ ),  $\rho$  ( $0 < \rho < 1$ ) 为分辨系数, 一般取  $\rho = 0.5$ 。

得到灰色关联系数矩阵为:

$$R^- = \begin{matrix} R_{11}^- & R_{12}^- & R_{13}^- & R_{14}^- & \cdots & R_{1m}^- \\ R_{21}^- & R_{22}^- & R_{23}^- & R_{24}^- & \cdots & R_{2m}^- \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{1l}^- & R_{2l}^- & R_{3l}^- & R_{4l}^- & R_{il}^- & R_{im}^- \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{n1}^- & R_{n2}^- & R_{n3}^- & R_{n4}^- & \cdots & R_{nm}^- \end{matrix}$$

⑧ 计算各样品与正、负理想样本的关联度, 第  $i$  个样品与正理想样本的灰色关联度为公式 (13)。

$$s_i^+ = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_{ij}^+ \quad (i = 1, 2, 3, 4, \dots, n) \quad (13)$$

第  $i$  个样品与负理想样本的灰色关联度为公式 (14)。

$$s_j^- = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_{ij}^- \quad (i = 1, 2, 3, 4, \dots, n) \quad (14)$$

⑨ 对样品的欧氏距离和关联度进行无量纲化处理, 样品的欧氏距离和关联度无量纲化处理计算公式为 (15) ~ (18), 计算结果见表 3。

$$D_i^+ = \frac{d_i^+}{\max d_i^+} \quad (15)$$

$$D_i^- = \frac{d_i^-}{\max d_i^-} \quad (16)$$

$$S_i^+ = \frac{s_i^+}{\max s_i^+} \quad (17)$$

$$S_i^- = \frac{s_i^-}{\max s_i^-} \quad (18)$$

⑩ 计算融合无量纲化后的欧氏距离和灰色关联度 当  $D_i^-$  和  $S_i^+$  值越大, 样品越趋近理想样本; 反之亦然。融合无量纲化后的欧氏距离和灰色关联度  $E_i^+, E_i^-$ , 可由公式 (19), (20) 得到。

$$E_i^+ = \alpha D_i^- + \beta S_i^+ \quad (i = 1, 2, 3, 4, \dots, n) \quad (19)$$

$$E_i^- = \alpha D_i^+ + \beta S_i^- \quad (i = 1, 2, 3, 4, \dots, n) \quad (20)$$

其中,  $\alpha, \beta$  分别反映了决策者对位置和性状的偏好程度, 并且满足  $\alpha + \beta = 1$ , ( $0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1$ )。  $E_i^+$  综合评价了样品与理想样本的逼近程度, 值越大, 样品质量越好;  $E_i^-$  反映了样品与理想样本的远离程度, 值越大, 样品质量越差。取  $\alpha = \beta = 0.5$ , 结果见表 4。

⑪ 计算相对贴近度, 相对贴近度的大小可反映样品与正、负理想样本接近的趋势程度。第  $i$  个样品相对贴近度计算公式为 (21)。

$$\gamma_i = E_i^+ / (E_i^+ + E_i^-) \quad (i = 1, 2, 3, 4, \dots, n) \quad (21)$$

按照公式 (21) 计算相对贴近度, 并根据相对贴近度对样品质量进行排序。相对贴近度  $\gamma_i$  越大, 表明广西郁金样品质量越好。结果见表 4。

表 4 50 个广西郁金样品的  $D_i^-$ ,  $D_i^+$ ,  $S_i^+$ ,  $S_i^-$ ,  $E_i^+$ ,  $E_i^-$ ,  $\gamma_i$

Table 4 Result of  $D_i^-$ ,  $D_i^+$ ,  $S_i^+$ ,  $S_i^-$ ,  $E_i^+$ ,  $E_i^-$ ,  $\gamma_i$  of 50 samples of *Curcuma kwangsiensis* radix

编号	$D_i^+$	$D_i^-$	$S_i^+$	$S_i^-$	$E_i^+$	$E_i^-$	$\gamma_i$	排序
YL-1	0.268 7	0.941 4	0.936 1	0.404 8	0.938 8	0.336 7	0.736 0	2
YL-2	0.142 8	1.000 0	1.000 0	0.381 3	1.000 0	0.262 0	0.792 4	1
YL-3	0.391 2	0.718 3	0.691 4	0.463 7	0.704 8	0.427 5	0.622 5	5
YL-4	0.385 2	0.829 3	0.822 5	0.446 2	0.825 9	0.415 7	0.665 2	3
YL-5	0.329 8	0.794 6	0.737 9	0.446 2	0.766 2	0.388 0	0.663 9	4
LS-1	0.896 3	0.178 3	0.422 7	0.835 7	0.300 5	0.866 0	0.257 6	39
LS-2	1.000 0	0.078 3	0.391 7	1.000 0	0.235 0	1.000 0	0.190 3	50
LS-3	0.952 5	0.124 3	0.408 9	0.901 3	0.266 6	0.926 9	0.223 4	45
LS-4	0.938 3	0.130 3	0.409 7	0.891 4	0.270 0	0.914 8	0.227 9	43
LS-5	0.952 9	0.118 8	0.406 4	0.913 2	0.262 6	0.933 1	0.219 6	47
GG-1	0.929 3	0.150 9	0.417 2	0.869 5	0.284 1	0.899 4	0.240 0	40
GG-2	0.960 9	0.118 3	0.404 7	0.924 5	0.261 5	0.942 7	0.217 2	48
GG-3	0.856 8	0.212 4	0.433 7	0.792 5	0.323 1	0.824 7	0.281 5	36
GG-4	0.984 9	0.086 6	0.395 2	0.975 5	0.240 9	0.980 2	0.197 3	49
GG-5	0.962 9	0.117 7	0.408 8	0.907 1	0.263 3	0.935 0	0.219 7	46
PL-1	0.561 2	0.540 2	0.577 4	0.546 8	0.558 8	0.554 0	0.502 2	12
PL-2	0.603 9	0.542 3	0.578 5	0.577 8	0.560 4	0.590 9	0.486 8	18
PL-3	0.542 6	0.599 0	0.591 8	0.566 0	0.595 4	0.554 3	0.517 9	11
PL-4	0.503 9	0.629 0	0.629 2	0.524 6	0.629 1	0.514 2	0.550 2	7
PL-5	0.618 1	0.572 8	0.602 9	0.615 2	0.587 9	0.616 7	0.488 0	17
HX-1	0.411 8	0.707 3	0.678 8	0.475 2	0.693 1	0.443 5	0.609 8	6
HX-2	0.676 7	0.471 8	0.523 7	0.663 1	0.497 7	0.669 9	0.426 3	30
HX-3	0.571 5	0.519 1	0.548 6	0.565 7	0.533 8	0.568 6	0.484 2	19
HX-4	0.667 7	0.479 5	0.543 9	0.624 9	0.511 7	0.646 3	0.441 9	26
HX-5	0.563 2	0.522 9	0.564 5	0.547 0	0.543 7	0.555 1	0.494 8	15
QT-1	0.584 8	0.555 0	0.588 9	0.568 5	0.571 9	0.576 7	0.497 9	14
QT-2	0.582 4	0.528 9	0.567 5	0.567 0	0.548 2	0.574 7	0.488 2	16
QT-3	0.643 1	0.463 4	0.524 0	0.613 9	0.493 7	0.628 5	0.439 9	27
QT-4	0.704 1	0.456 9	0.538 1	0.646 2	0.497 5	0.675 1	0.424 3	31
QT-5	0.656 3	0.473 8	0.543 5	0.613 6	0.508 6	0.634 9	0.444 8	25
QZ-1	0.902 0	0.181 5	0.425 9	0.836 6	0.303 7	0.869 3	0.258 9	38
QZ-2	0.902 2	0.197 9	0.424 9	0.853 4	0.311 4	0.877 8	0.261 9	37
QZ-3	0.923 3	0.140 3	0.412 6	0.875 7	0.276 5	0.899 5	0.235 1	41
QZ-4	0.939 1	0.127 7	0.410 6	0.887 2	0.269 1	0.913 2	0.227 6	44
QZ-5	0.941 7	0.152 2	0.412 5	0.900 1	0.282 4	0.920 9	0.234 7	42
XY-1	0.759 7	0.464 3	0.549 0	0.692 6	0.506 7	0.726 1	0.411 0	33
XY-2	0.624 2	0.493 1	0.551 6	0.585 2	0.522 4	0.604 7	0.463 5	23
XY-3	0.590 3	0.514 7	0.555 5	0.566 3	0.535 1	0.578 3	0.480 6	20
XY-4	0.534 5	0.568 6	0.589 1	0.534 3	0.578 9	0.534 4	0.520 0	10
XY-5	0.606 3	0.564 9	0.617 0	0.565 4	0.591 0	0.585 9	0.502 2	13
ZQ-1	0.692 7	0.404 3	0.509 0	0.634 1	0.456 6	0.663 4	0.407 7	34
ZQ-2	0.609 1	0.503 6	0.553 0	0.581 7	0.528 3	0.595 4	0.470 1	22

续表 4

编号	$D_i^+$	$D_i^-$	$S_i^+$	$S_i^-$	$E_i^+$	$E_i^-$	$\gamma_i$	排序
ZQ-3	0.633 3	0.503 1	0.546 0	0.598 9	0.524 6	0.616 1	0.459 9	24
ZQ-4	0.667 6	0.457 5	0.531 6	0.622 4	0.494 5	0.645 0	0.434 0	29
ZQ-5	0.521 4	0.613 5	0.616 4	0.535 0	0.615 0	0.528 2	0.538 0	9
ZS-1	0.752 1	0.469 3	0.564 0	0.665 8	0.516 6	0.708 9	0.421 6	32
ZS-2	0.767 0	0.451 6	0.513 9	0.701 8	0.482 8	0.734 4	0.396 6	35
ZS-3	0.600 7	0.519 8	0.557 5	0.580 1	0.538 6	0.590 4	0.477 1	21
ZS-4	0.655 3	0.465 8	0.527 4	0.618 2	0.496 6	0.636 8	0.438 2	28
ZS-5	0.508 2	0.607 8	0.613 1	0.524 7	0.610 4	0.516 5	0.541 7	8

由表 4 可以看出,50 份广西郁金样品相对贴近期度在 0.190 3 ~ 0.792 4。样品 YL-2, YL-1, YL-4, YL-5 相对贴近期度值分别为 0.792 4, 0.736 0, 0.665 2, 0.663 9, 排名第 1, 2, 3, 4, 相对贴近期度 > 0.65; 排名前 5 的均为玉林产的广西郁金。13 个样品相对贴近期度值  $\geq 0.500 0$ , 主要为玉林 5 份, 平南 3 份, 兴业 2 份, 横县 1 份, 肇庆 1 份, 中山 1 份, 青塘、钦州、灵山、贵港 0 份, 分别占各产地样品总数的 100%, 60%, 40%, 20%, 20%, 20%, 0, 0, 0, 0。15 个样品相对关联度  $\gamma_i$  值 < 0.300, 主要为灵山、贵港和钦州产广西郁金。由此可见, 不同产地广西郁金样品质量存在显著差异, 与方差分析结果一致。

计算广西郁金样品相对贴近期的平均值及 RSD, 结果见表 5。综合排序表明, 不同产地广西郁金平均贴近期度介于 0.223 8 ~ 0.696 0, 且综合排序为玉林 > 平南 > 横县 > 兴业 > 肇庆 > 青塘 > 中山 > 钦州 > 贵港 > 灵山。广西玉林可作为广西郁金适宜产地进行优良品种选育; 广东产区肇庆和中山均有少量引种, 品种品质均不亚于主产区广西, 可作为广西郁金引种广东试点栽培地进行深入研究; 灵山产广西郁金平均相对贴近期度值较低, 有待于种源优化。

表 5 广西郁金样品相对贴近期的平均值及 RSD

Table 5 Average value and RSD of *Curcuma kwangsiensis* radix

No.	产地	$\gamma_i$	RSD
YL	广西玉林	0.696 0	0.067 59
LS	广西灵山	0.223 8	0.023 99
GG	广西贵港	0.231 1	0.031 95
PL	广西平南	0.509 0	0.026 26
HX	广西横县	0.491 4	0.072 07
QT	广西青塘	0.459 0	0.032 18
QZ	广西钦州	0.243 6	0.015 61
XY	广西兴业	0.475 4	0.041 90
ZQ	广东肇庆	0.461 9	0.048 93
ZS	广东中山	0.455 0	0.056 60

### 3 讨论

现代药理和药化研究表明, 挥发油类和姜黄素类物质是郁金的主要活性成分, 含量高, 具有镇痛抗炎、抗血栓、抗肿瘤等显著的生理活性, 如挥发油中莪术二酮和吉马酮, 能有效改善血脂黏稠度, 促进血液循环, 对应郁金的“行气解郁”“活血止痛”这一传统功效, 是郁金药材质量评价的重要指标; 姜黄素具有抗肿瘤的作用, 其抗炎作用可以预防心律失常、有效保护肝肾功能, 与郁金的“清心凉血”和“利胆退黄”功效相一致<sup>[17, 23-24]</sup>。因此, 选择吉马酮、莪术二酮、挥发油、姜黄素、醇浸出物 5 个指标为不同产地广西郁金质量的综合评价指标与刘睿等<sup>[17]</sup> 预测分析郁金类药材以挥发油和姜黄素为质量标志物 (Q-marker) 的理念相符。

首先, 采用聚类分析对广西郁金进行分类, 通过聚类分析结果可知不同产地的广西郁金样品化学成分具有不同程度的差异, 相同产地的广西郁金样品基本可归为同一类, 因此广西郁金样品质量存在地域性差异。其次, 为了进一步研究广西郁金样品质量的地域性差异, 对不同产地广西郁金质量进行综合评价通过构建灰色关联度与 TOPSIS 融合模型对 50 个广西郁金样品进行相对贴近期度评价。评价结果表明, 样品 YL-2, YL-1, YL-4, YL-5 质量最佳, 可作为优良种源进行进一步深入研究。最后, 利用相对贴近期的平均值对不同产地广西郁金进行综合排序以期更客观地评价广西郁金的地域性。玉林产的广西郁金排名第一, 郁金样品质量总体较好。符合广西郁金药材的道地性, 也与市场上广西郁金主流产品的产区一致。灵山、贵港、钦州产广西郁金质量较差, 郁金样品的质量差异, 可能与药材的土壤特性、生长环境和地理位置有关。本次样品采集的广西郁金主产地玉林、贵港、钦州等地均有红色和紫色两种不同的土质, 据农户介绍红色土壤的广西郁金产量大, 紫色的产量稍低, 不同土质对产量有巨大

影响,对样品质量的影响与否则有待于进一步研究。

本文尝试将灰色关联度分析法与 TOPSIS 法两种评价方法结合,产生一种新的相对贴近度对不同产地广西郁金样品进行排序,以期从纵横两个维度对广西郁金样品进行综合评价,通过比较指标数据列的曲线形状相似度判断其内在联系是否紧密,从而确定指标样品间的关联程度,结合 TOPSIS 分析法,确定各指标的正、负理想值,得到各样品与最优样品的位置接近程度,得出各样品的排序,可对样品多指标综合评价分析,确定各指标的重要程度及样品质量的整体综合评价结果<sup>[20]</sup>。除了 HX-5, ZS-1, ZS-2 号 3 个样品与聚类分析的结果不符,其他结果均吻合,相符率达到 94%。综上所述,将该方法引入不同产地广西郁金的质量评价,方法简单客观全面,为资源的合理开发和利用及优质种源的筛选和栽培提供参考和借鉴。

#### [参考文献]

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:208.

[2] 肖长坤. 姜黄属植物的化学成分研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志,2012,18(21):339-347.

[3] 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.

[4] 朱卫东,杜承勇,吴勇,等. 一种基于相关系数矩阵的 TOPSIS 决策方法[J]. 数学的实践与认识,2014,44(4):33-38.

[5] 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.

[6] 周苏娟,麦小梅,赵斌,等. TOPSIS 与灰色关联分析在不同产地炒茺蔚子质量评价中的应用[J]. 中国实验方剂学杂志,2015,21(15):40-43.

[7] 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.

[8] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002:122.

[9] 李硕,王文全,侯俊玲,等. 基于灰色关联度法评价商品防风药材质量[J]. 北京中医药大学学报,2015,38(4):247-252.

[10] 李成义,刘书斌,李硕,等. 甘肃商品白条党参质量的灰色关联度评价[J]. 中国实验方剂学杂志,2015,21

(21):33-39.

[11] 李成义,强正泽,王岩,等. 基于灰色关联度法分析法评价甘肃产红芪质量[J]. 中国实验方剂学杂志,2016,22(12):60-65.

[12] 刘威,王振中,胡军华,等. 不同产地牡丹皮中微量元素与多指标成分灰色关联度评价及相关性分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2017,23(1):34-41.

[13] 吕伟奇,张霁,左智天,等. 基于灰色关联度分析法的滇龙胆质量评价[J]. 中国实验方剂学杂志,2017,23(13):66-73.

[14] 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.

[15] 靳雅惠,苏伟敏,杨妮,等. 桂郁金 EST 资源的 SSR 信息分析及 EST-SSR 标记开发[J]. 中国实验方剂学杂志,2016,22(24):37-42.

[16] 靳雅惠. 桂郁金种质资源的 SSR 分析[J]. 中华中医药学刊,2017,35(9):2296-2298.

[17] 刘睿,高丹丹,崔涛,等. 郁金及其近缘药材的研究进展及质量标志物(Q-maker)的预测分析[J]. 中草药,2019,50(2):273-280.

[18] 李敏,张娜,林琪宇. HPLC 测定郁金类药材中的吉马酮和莪术二酮[J]. 华西药学杂志,2008,23(1):105-106.

[19] 李敏,张娜,林琪宇,等. 黄丝郁金的质量标准研究[J]. 成都中医药大学学报,2008,31(1):55-59.

[20] 付忠广,刘炳含,刘璐,等. 融合熵权 TOPSIS 法与灰色关联度法的火电机组综合评价方法[J]. 华北电力大学学报:自然科学版,2018,45(6):68-75,83.

[21] 孙晓东,焦玥,胡劲松. 基于灰色关联度和理想解法的决策方法研究[J]. 中国管理科学,2005,13(4):63-68.

[22] 李彦斌,于心怡,王致杰. 基采用灰色关联度与 TOPSIS 法的光伏发电项目风险评价研究[J]. 电网技术,2013,37(6):1514-1519.

[23] Phrommintikul A, Chattipakon N. Roles of cardiacryanodine receptor in heart failure and sudden cardiacdeath[J]. In J Cardiol,2006,112(2):142-152.

[24] Priyanka A, Anusree S S, Nisha V M, et al. Curcumin improve hypoxia induced dysfunctions in 3T3-L1 adipocytes by protectingmitochondria and down regulating inflammation[J]. Biofactors, 2014, 40(5):513-523.

[责任编辑 顾雪竹]