

基于熵权法和灰色关联度法的铁皮石斛质量评价

王柳璿, 郭焕佳, 姬生国*
(广东药科大学中药学院, 广东 广州 510000)

摘要: **目的** 通过熵权法结合灰色关联度法对铁皮石斛药材进行质量评价。**方法** 测定 20 批铁皮石斛水分、总灰分、醇溶性浸出物、多糖和甘露糖含量, 通过熵权法进行灰色关联度法分析, 构建多指标综合质量评价模型。**结果** 20 批铁皮石斛的相对关联度为 0.228 2~0.496 0。不同批次的药材质量之间存在差异, 其中湖南崑山的铁皮石斛相对关联度最大, 质量排序高, 说明该地药材质量最佳。**结论** 基于熵权法结合灰色关联度法所建立的质量评价体系能用于铁皮石斛的质量评价。

关键词: 铁皮石斛; 熵权法; 灰色关联度法; 质量评价

中图分类号: R282

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2023)02-0483-05

doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2023.02.024

Quality evaluation of *Dendrobium officinale* based on entropy weight method and grey correlation degree method

WANG Liu-ying, GUO Huan-jia, Ji Sheng-guo*
(College of Chinese Materia Medica, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510000, China)

KEY WORDS: *Dendrobium officinale* Kimura et Migo.; entropy weight method; grey correlation degree method; quality evaluation

铁皮石斛来源于兰科石斛属铁皮石斛 *Dendrobium officinale* Kimura et Migo. 的干燥茎, 具有益胃生津、滋阴清热作用^[1], 分布于我国安徽、浙江、云南等地^[2]。2020 年版《中国药典》规定铁皮石斛的质量评价指标为多糖和甘露糖, 其中多糖含量不得少于 25%, 甘露糖含量为 13%~38%。铁皮石斛多糖具有抗肿瘤^[3-4]、降血压^[5]、降血糖^[6]、降血脂^[7]作用, 而甘露糖是铁皮石斛多糖组成的主要单糖, 对肿瘤、糖尿病、肥胖病都具有治疗作用^[8-9]。随着人工栽培技术的成熟, 铁皮石斛的种植面积开始扩大, 不同产区栽培的铁皮石斛质量存在差异。目前采用传统经验鉴别或建立药材指纹图谱等方法对铁皮石斛质量进行评价, 不够全面^[10]。灰色关联分析是多种因素统计分析的一类方法, 它是以各因素的样本数据为依

据, 用灰色关联度来衡量各因素间关联性大小^[11]。本研究采用熵权法和灰色关联度法相结合的质量评价模型, 以铁皮石斛多糖、甘露糖的含量、水分、总灰分和醇溶性浸出物作为评价指标进行研究。

1 材料

1120 型高效液相色谱仪、BIY211b 万分之一电子天平、AY120 十万分之一电子天平 (日本岛津公司); UV1102 型紫外可见分光光度计 (上海天美股份有限公司); DELTA D150 型超声清洗器 (上海旦鼎国际贸易有限公司)。

20 批铁皮石斛样品为 2020 年 7 月至 8 月期间采自广东省、湖南省、四川省等栽培基地, 详见表 1, 经广东农科院环艺所王再花副研究员鉴定为兰科石斛属植物铁皮石斛 *Dendrobium officinale* Kimura

收稿日期: 2022-06-26

基金项目: 广州市科技计划项目 (202002020071); 广东药科大学大学生创新创业训练计划项目 (201910573012X); 广东省科技计划项目 (2019A141405024)

作者简介: 王柳璿 (1998—), 女, 硕士生, 从事生药学研究。Tel: 15361922333, E-mail: 543946514@qq.com

* 通信作者: 姬生国 (1967—), 男, 博士, 从事中药资源、质量标准及新药研究。Tel: (020) 39353425, E-mail: shengguo_ji@gdpu.edu.cn

et Migo。除去铁皮石斛叶，茎经 105 ℃ 杀青 15 min，60 ℃ 干燥后粉碎，过 50 目筛，保存在自封袋中，置于干燥器中备用。

无水葡萄糖（批号 110833-202005）购于中国

食品药品检定研究院；甘露糖（批号 140651-202002）购于中国药品生物制品检定所。甲酸、乙腈、乙酸铵为色谱纯；其他试剂均为分析纯；水为重蒸水。

表 1 样品信息

Tab. 1 Information of samples

编号	产地	采集时间	编号	产地	采集时间
S1~S10	广东省广州市	2020 年 7 月	S17	广东省阳山市	2020 年 8 月
S11~S12	广东省新丰市	2020 年 7 月	S18	广东省韶关市	2020 年 7 月
S13~S14	广东省茂名市	2020 年 7 月	S19	四川省成都市	2020 年 7 月
S15~S16	湖南省崑山镇	2020 年 7 月	S20	广东省惠州市	2020 年 8 月

2 方法与结果

2.1 多糖含量测定 精密称取无水葡萄糖 0.100 0 g，用水溶解并定容至 100 mL。取 10 mL 溶液至 100 mL 量瓶，用水稀释至刻度，制成质量浓度为 100 μg/mL 的对照品溶液。

精密称取样品 0.300 0 g，加入 200 mL 水，加热回流提取 2 h，放冷，提取液转移至 250 mL 量瓶中，加水至刻度，摇匀，滤过。精密量取 2 mL 续滤液，置于 15 mL 离心管中，精密加入无水乙醇 10 mL，充分摇匀，置于 4 ℃ 冰箱中冷藏 1 h，离心 20 min，弃去上清液，沉淀物用 80% 乙醇洗涤 2 次，每次 8 mL，离心，沉淀物加水溶解后转移至 10 mL 量瓶中，加水至刻度，摇匀，即得供试品溶液。

精密量取多糖对照品溶液 0.1、0.2、0.4、0.6、0.8 mL，置于 10.0 mL 具塞试管中，加蒸馏水至 1.0 mL，精密加入 1 mL 5% 苯酚溶液，摇匀，加入浓硫酸 5.0 mL，于 95 ℃ 水浴加热 20 min。以 1.0 mL 蒸馏水作为空白对照，于 488 nm 波长处测定，以质量浓度为横坐标（X），吸光度为纵坐标（Y）进行回归，得回归方程为 $Y = 0.008\,737X + 0.005\,2$ ， $r = 0.999\,6$ 。结果表明多糖在 10~80 μg/mL 范围内线性关系良好。

精密量取供试品溶液 0.4 mL 置于 10 mL 具塞玻璃试管中，加水至 1.0 mL 后测定。

2.2 甘露糖含量测定 色谱条件为 ODS-C₁₈ 色谱柱（4.6 mm×250 mm，5 μm）；流动相乙腈-0.02 mol/L 乙酸铵（20：80），等度洗脱；检测波长 250 nm；体积流量 1 mL/min；柱温 40 ℃；进样量 5 μL。

精密称取 10 mg 甘露糖，置于 100 mL 量瓶中，用水溶解并定容，制成质量浓度为 100 μg/mL 的甘露糖对照品溶液。

精密称取样品粉末 0.120 0 g，置于索氏提取

器中，加入 25 mL 80% 乙醇，加热回流提取 4 h，弃去乙醇，将粉末取出挥干溶剂，置于具塞锥形瓶中，加入 100 mL 水，加热煎煮 1 h，放冷，用水补足至 100 mL，离心，吸取上清液 1 mL 置于具塞玻璃管中，加入 0.5 mL 3.0 mol/L 盐酸，封口，混匀，置于沸水浴中水解 1 h，放冷，用 3.0 mol/L 氢氧化钠调节 pH 至中性。吸取 400 μL，加入 0.5 mol/L 1-苯基-3-甲基-5 吡唑啉酮甲醇溶液和 0.3 mol/L 氢氧化钠溶液各 400 μL，充分混匀，70 ℃ 水浴反应 100 min，放冷，加入 500 μL 0.3 mol/L 盐酸，混匀。用三氯甲烷洗涤 3 次，弃去三氯甲烷层，水层离心后吸取其上清液，0.45 μm 微孔滤膜过滤，即得供试品溶液。

精密吸取对照品溶液 25.000、10.000、2.500、1.250、0.625、0.500、0.250、0.150 mL，分别置于 100 mL 量瓶中定容，测定甘露糖的峰面积，以对照品溶液质量浓度为纵坐标（X），峰面积为横坐标（Y）进行回归，得回归方程为 $Y = 9\,798.398\,9X + 1.105\,1$ ， $r = 0.999\,9$ ，在 0.15~25 μg/mL 范围内线性关系良好，色谱图见图 1，结果见表 2。

2.3 指标成分的测定 参照 2020 年版《中国药典》通则 0832 水分测定法中的第二法“烘干法”、通则 2302 灰分测定法中的总灰分测定法及通则 2201 项下醇溶性浸出物测定法中的热浸法对铁皮石斛中水分、总灰分、醇溶性浸出物进行含量测定，结果均符合药典规定，见表 2。

2.4 熵权法计算权重 设有 n 个样品，每个样品有 m 项评价指标，由此组成单元序列 $\{X_{ij}\}$ （ $i = 1、2、3 \cdots n$ ； $j = 1、2、3 \cdots m$ ； n 为 20， m 为 5）^[12-13]。

2.4.1 数据标准化处理 如果指标为正向指标，则 $Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}$ ；如果指标为负向指

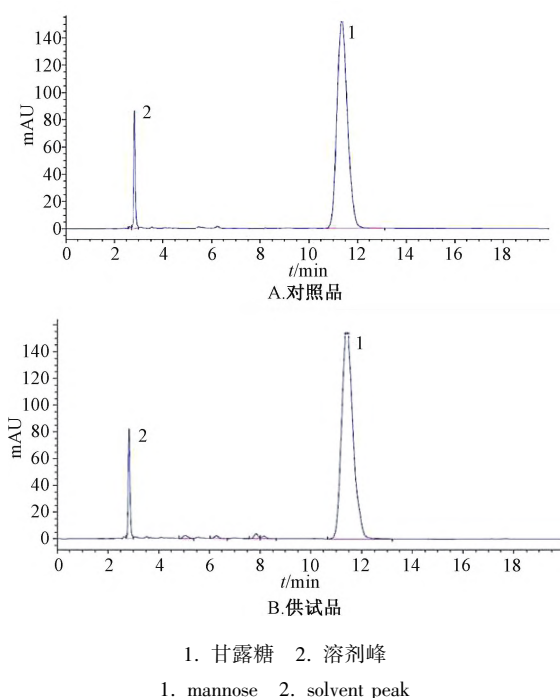


Fig. 1 HPLC chromatograms of various constituents

表2 各成分含量测定结果

Tab. 2 Results of content determination of various constituents

编号	水分/%	总灰分/%	浸出物/%	多糖/%	甘露糖/%
S1	2.43	4.79	8.82	27.14	19.78
S2	2.79	4.59	7.31	43.49	28.59
S3	2.33	5.85	7.14	35.02	34.79
S4	2.68	5.43	7.91	36.25	21.69
S5	2.96	4.01	7.27	32.14	21.37
S6	2.79	4.48	7.06	38.95	16.69
S7	1.97	3.92	6.61	36.45	24.13
S8	1.97	4.54	8.16	28.03	20.54
S9	2.11	3.64	6.57	28.24	13.77
S10	2.07	4.18	7.30	38.89	19.66
S11	2.18	4.84	7.95	25.32	19.27
S12	3.42	3.87	7.30	26.14	16.99
S13	2.82	4.47	6.54	63.98	20.04
S14	2.82	4.93	7.10	38.24	15.23
S15	1.36	3.71	6.51	56.09	15.68
S16	1.17	4.97	11.71	28.51	13.48
S17	2.32	4.39	10.72	31.74	30.06
S18	3.25	3.71	9.49	27.60	26.33
S19	1.84	4.88	6.88	45.36	17.01
S20	2.99	2.86	6.73	34.05	20.62

标, 则 $Y_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}$, 式中 Y_{ij} 为标准
化处理后的数据, X_{ij} 为第 i 个样品第 j 个指标值。

2.4.2 各指标的信息熵 计算各个指标的信息熵

$$E_j, \text{ 公式为 } E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}), P_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n Y_{ij}},$$

式中 E_j 为样品第 j 个指标的信息熵, 若 $P_{ij}=0$, 则
定义 $\ln(P_{ij})=0$ 。

2.4.3 确定各指标权重 确定各指标的信息熵后,
计算各指标的权重 (W_j), 公式为 $W_j =$

$$\frac{1 - E_j}{\sum_{i=1}^n (1 - E_j)}。 \text{ 结果见表 3。}$$

表3 信息熵及权重

Tab. 3 Information entropies and weights

考察指标	E_j	W_j
水分	0.825 9	0.166 7
总灰分	0.842 7	0.150 6
醇溶性浸出物	0.723 7	0.264 6
多糖	0.766 9	0.223 2
甘露糖	0.796 5	0.194 9

2.5 灰色关联度法计算各指标相对关联度 设有
 n 个样品, 每个样品有 m 项评价指标, 由此组成单
元序列 $\{X_{ik}\} (i=1, 2, 3, \dots, n; k=1, 2, 3, \dots, m; n$ 为 20, m 为 5), 从质量评价的角度出
发, 水分和总灰分越低越好, 多糖和甘露糖含量越
高越好, 对水分和总灰分两个指标的数据进行倒数
转换^[14], 评价指标统一后, 将 n 个样品各项对应
指标的最大值 $\{X_{sk}\}$ 计为最优参考序列, n 个样
品各项对应指标的最小值 $\{X_{tk}\}$ 计为最差参考序
列。

2.5.1 数据标准化处理 标准化公式为 $Y_{ik} = \frac{X_{ik}}{X_k}$,

式中 Y_{ik} 为处理后的数据, X_{ik} 为原始数据, X_k 为样
品第 k 个指标的平均值。

2.5.2 关联系数计算 采用相应公式计算相对于
最优参考序列 $\{X_{sk}\}$ 和最差参考序列 $\{X_{tk}\}$ 的

$$\text{关联系数}^{[15]}, \xi_{k(s)}^i = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{|Y_{ik} - Y_{sk}| + \rho \Delta_{\max}}, \xi_{k(t)}^i =$$

$$\frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{|Y_{ik} - Y_{tk}| + \rho \Delta_{\max}}, \text{ 式中 } \Delta_{\min} = \min |Y_{ik} - Y_{sk}|;$$

$\Delta_{\max} = \max |Y_{ik} - Y_{tk}|; i=1, 2, 3, \dots, n; k=$
 $1, 2, 3, \dots, m; \rho$ 称为分辨系数, 此次取值为计
算获得的各项指标的权重。结果见表 4。

2.5.3 关联度计算 分别采用相应公式计算相对
于最优参考序列 $\{X_{sk}\}$ 和最差参考序列 $\{X_{tk}\}$

$$\text{的关联度}, r_{i(s)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{k(s)}^i, r_{i(t)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{k(t)}^i。$$

表 4 各评价单元的关联系数
Tab. 4 Correlation coefficients for each evaluation unit

批次	相对于最优参考序列的关联系数					相对于最差参考序列的关联系数				
	水分	总灰分	浸出物	多糖	甘露糖	水分	总灰分	浸出物	多糖	甘露糖
S1	0.175	0.160	0.190	0.217	0.323	0.440	0.416	0.826	0.397	0.373
S2	0.159	0.170	0.296	0.401	0.238	0.587	0.364	0.322	0.216	0.632
S3	0.181	0.131	0.230	1.000	0.231	0.407	1.000	0.471	0.163	0.686
S4	0.163	0.140	0.237	0.241	0.266	0.537	0.671	0.441	0.336	0.496
S5	0.154	0.212	0.213	0.236	0.237	0.674	0.255	0.559	0.345	0.644
S6	0.159	0.176	0.256	0.187	0.228	0.587	0.340	0.388	0.564	0.714
S7	0.213	0.222	0.239	0.280	0.212	0.303	0.242	0.437	0.281	0.932
S8	0.213	0.172	0.194	0.226	0.279	0.303	0.353	0.761	0.370	0.455
S9	0.198	0.264	0.194	0.165	0.211	0.341	0.206	0.747	0.935	0.958
S10	0.201	0.196	0.256	0.215	0.238	0.330	0.283	0.389	0.402	0.635
S11	0.191	0.158	0.182	0.211	0.268	0.360	0.430	1.000	0.418	0.489
S12	0.143	0.228	0.186	0.189	0.238	1.000	0.235	0.913	0.542	0.635
S13	0.158	0.176	1.000	0.220	0.210	0.601	0.338	0.182	0.388	0.979
S14	0.158	0.155	0.251	0.175	0.230	0.601	0.458	0.400	0.704	0.700
S15	0.440	0.251	0.522	0.179	0.209	0.175	0.214	0.219	0.654	1.000
S16	1.000	0.153	0.196	0.163	1.000	0.143	0.471	0.730	1.000	0.209
S17	0.181	0.181	0.211	0.468	0.582	0.403	0.321	0.573	0.200	0.246
S18	0.146	0.251	0.192	0.329	0.383	0.860	0.214	0.791	0.244	0.316
S19	0.231	0.157	0.317	0.189	0.222	0.272	0.442	0.301	0.541	0.788
S20	0.153	1.000	0.224	0.227	0.216	0.690	0.131	0.497	0.368	0.862

2.5.4 相对关联度的计算 按公式计算各评价单元的相对关联度, $r_i = \frac{r_{i(s)}}{r_{i(s)} + r_{i(t)}}$, 式中 $i = 1, 2, \dots, n$ 。

根据相对关联度的大小对评价单元序列进行排序, 最终得到优劣评价结果。结合熵权法结果, 各样品的相对关联度结果见表 5。

表 5 不同批次铁皮石斛相对关联度

Tab. 5 Relative correlation degrees of different batches of *D. officinale*

批次	最优关联度	最差关联度	相对关联度
S1	0.053 2	0.122 6	0.302 6
S2	0.063 2	0.106 1	0.373 4
S3	0.088 6	0.136 3	0.394 0
S4	0.052 3	0.124 0	0.296 7
S5	0.052 6	0.123 8	0.298 0
S6	0.050 3	0.129 6	0.279 5
S7	0.058 3	0.109 8	0.346 8
S8	0.054 2	0.112 1	0.325 7
S9	0.051 6	0.159 3	0.244 7
S10	0.055 3	0.101 9	0.351 9
S11	0.050 6	0.134 8	0.272 7
S12	0.049 2	0.166 3	0.228 2
S13	0.088 2	0.124 4	0.414 9
S14	0.048 4	0.143 1	0.252 9
S15	0.080 1	0.113 1	0.414 5
S16	0.125 6	0.127 6	0.496 0
S17	0.081 1	0.087 2	0.481 8
S18	0.065 1	0.121 3	0.349 2
S19	0.055 8	0.117 2	0.322 6
S20	0.091 0	0.127 4	0.416 6

2.5.5 铁皮石斛的质量排序 对铁皮石斛多糖、甘露糖含量、水分、总灰分及醇溶性浸出物结果进行排序^[16], 并使用灰色关联度法及熵权法结合灰色关联度法对 20 批不同产地铁皮石斛进行质量排序, 结果见表 6。

表 6 不同批次铁皮石斛质量排序

Tab. 6 Quality ranking for different batches of *D. officinale*

批次	水分含量	总灰分含量	浸出物含量	多糖含量	甘露糖含量	灰色关联度	综合评价
S1	10	7	4	18	11	14	13
S2	7	8	8	4	3	7	7
S3	11	1	12	10	1	6	6
S4	9	2	7	9	6	15	15
S5	4	14	11	12	7	13	14
S6	8	10	14	5	16	17	16
S7	16	15	17	8	5	9	10
S8	17	9	5	16	9	11	11
S9	14	19	18	15	19	18	19
S10	15	13	9	6	12	10	8
S11	13	6	6	20	13	16	17
S12	1	16	10	19	15	20	20
S13	5	11	19	1	10	4	4
S14	6	4	13	7	18	19	18
S15	19	17	20	2	17	3	5
S16	20	3	1	14	20	1	1
S17	12	12	2	13	2	2	2
S18	2	18	3	17	4	8	9
S19	18	5	15	3	14	12	12
S20	3	20	16	11	8	5	3

3 讨论

本研究构建熵权法结合灰色关联度法评价铁皮石斛质量模型,结果表明不同批次的铁皮石斛药材样品之间的相对关联度在 0.228 2~0.496 0,说明不同产地之间存在质量差异,其中 S1~S10 样品采集于广东省广州市栽培基地,各样品之间最小相对关联度为 0.244 7,最高相对关联度为 0.373 4。结果表明,样品采集于相同产地,但由于栽培环境、培植方法及养护方法等的不同,对铁皮石斛药材的质量会造成一定影响。

对样品排序及以灰色关联度法和以熵权结合灰色关联度法进行分析,样品 S3 中总灰分及甘露糖含量均排第一,其在灰色关联度分析及综合分析评价中均排在第六;样品 S12 中水分含量排第一,其在灰色关联度分析及综合分析评价中均排在第二十;样品 S13 中多糖含量排第一,其在灰色关联度分析及综合分析评价中均排在第四;样品 S16 在灰色关联度分析及综合分析评价中均排第一。水分和总灰分的含量越高其质量越差,相反醇溶性浸出物、多糖和甘露糖含量越高其质量越优。但是灰色关联度法分析结果和熵权结合灰色关联度法分析的综合评价排序不一致,是因为灰色关联度法中各指标的 ρ 一直采用的是经验值 0.5,即各指标权重相同,无法体现各个指标对整体质量的影响程度,在质量评价上并不能做到客观全面^[17-18]。结合熵权法以后,以熵值来判断某个指标的离散程度,信息熵值越小,指标的离散程度就越大,则该指标对综合评价的影响(即权重)就越大^[19]。经熵权法获得铁皮石斛中水分、灰分、浸出物、多糖、甘露糖含量的熵值分别为 0.825 9、0.842 7、0.723 7、0.766 9、0.796 5。多糖及甘露糖含量的熵值较小,说明这 2 种指标的含量对药材质量影响的权重最大。

本研究以水分、灰分、浸出物、多糖、甘露糖含量为指标,通过熵权结合灰色关联度法对铁皮石斛药材质量进行综合评价分析,相对于单一指标的评价较为科学,为建立科学、可靠的铁皮石斛药材质量评价体系提供了参考。

参考文献:

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2020 年版一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 295.

- [2] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 117.
- [3] 张小凤. 铁皮石斛多糖联合顺铂对骨肉瘤细胞增殖和凋亡的影响[D]. 广州: 广州中医药大学, 2020.
- [4] 黄俊彬, 丁 婕, 朱海媚, 等. 三个不同种源的铁皮石斛多糖比较及其初步的药理活性评价[J]. 食品工业科技, 2022, 43(5): 71-78.
- [5] 王再花, 叶庆生, 李 杰, 等. 4 种石斛的多糖对高血压大鼠降血压的影响[J]. 热带作物学报, 2017, 38(9): 1764-1767.
- [6] Fang J Y, Lin Y, Xie H L, et al. *Dendrobium officinale* leaf polysaccharides ameliorated hyperglycemia and promoted gut bacterial associated SCFAs to alleviate type 2 diabetes in adult mice[J]. *Food Chemistry X*, 2022, 13: 100207.
- [7] 寇战利, 陈社论, 刘冰林, 等. 铁皮石斛多糖对糖尿病大鼠脂代谢异常的改善作用及机制[J]. 广州中医药大学学报, 2021, 38(11): 2462-2468.
- [8] 蔡 琳, 彭 鹏. 名贵中药铁皮石斛化学成分及其药理作用浅述[J]. 安徽化工, 2021, 47(1): 24-25.
- [9] 周丽群. 铁皮石斛有效成分及药理作用的研究[J]. 中阿科技论坛, 2020(8): 27-29.
- [10] 奚航献, 刘 晨, 刘京晶, 等. 铁皮石斛化学成分、药理作用及其质量标志物(Q-marker)的预测分析[J]. 中草药, 2020, 51(11): 3097-3109.
- [11] 刘付松, 李尧尧, 聂绪强, 等. 基于感官特征结合灰色关联度法评价积雪草质量[J]. 中国新药杂志, 2021, 30(20): 1881-1889.
- [12] 朱喜安, 魏国栋. 熵值法中无量纲化方法优良标准的探讨[J]. 统计与决策, 2015(2): 12-15.
- [13] 冯治国, 赵 祺, 朱 强, 等. 基于熵权法和灰色关联分析法评价安徽省不同产地黄精药材质量[J]. 中草药, 2021, 52(12): 3689-3695.
- [14] 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.
- [15] 孙振阳, 张景珍, 王思雨, 等. 基于灰色关联度法评价西红花饮片质量[J]. 中成药, 2019, 41(10): 2430-2434.
- [16] 崔曰新, 张景珍, 王思雨, 等. 基于熵权法和灰色关联度法的羌活饮片质量评价研究[J]. 中草药, 2019, 50(23): 5724-5730.
- [17] 李 珍, 乔向东, 杨 洋, 等. 熵权法结合灰色关联度法评价白芷饮片质量[J]. 中国现代应用药学, 2022, 39(1): 61-67.
- [18] 肖日传, 匡艳辉, 张传平, 等. 基于熵权法和灰色关联度法的人参质量综合评价[J]. 中华中医药杂志, 2021, 36(7): 4243-4248.
- [19] 张伟宏. 大型桥梁项目社会稳定风险评估理论方法与实践[M]. 北京: 知识产权出版社, 2018: 40.