

基于“辨状论质”与 CRITIC-TOPSIS 模型的不同产地枸杞子多指标综合质量评价

罗 群^{1,2}, 刘芑汐¹, 王丹丹¹, 金红宇¹, 李 巍^{2*}, 王 莹^{1*}, 林永强¹

1. 中国药品检定研究院, 北京 102629

2. 沈阳药科大学 功能食品与葡萄酒学院, 辽宁 沈阳 117004

摘要: 目的 探究枸杞子传统“辨状论质”经验与现代多指标综合质量评价的内在关联, 建立枸杞子客观质量评价方法。方法 收集宁夏、甘肃、青海 3 个主产区共计 32 批枸杞子样品, 对百粒重、色度值 L^* (亮度)、 a^* (红绿色度)、 b^* (黄蓝色度) 等外观性状进行量化检测; 同步测定水溶性浸出物、甜菜碱、枸杞多糖、总糖、蛋白质, 以及 3 种类胡萝卜素 (玉米黄素、 β -胡萝卜素、玉米黄素双棕榈酸酯) 和 3 种黄酮类成分 (芦丁、茨菲醇-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷), 合计 11 项化学质控指标。采用指标相关性的指标权重法 (CRITIC) 确定各指标客观权重, 结合逼近理想解排序法 (TOPSIS) 计算各样品的相对贴近度 (C_i), 以此表征样品综合质量; 采用 Pearson 相关性分析揭示外观性状、化学成分及 C_i 的关联。**结果** CRITIC-TOPSIS 综合评价结果显示, 宁夏、甘肃、青海产区样品 C_i 均值分别为 0.44、0.37、0.36, 综合质量排名前 3 的样品均来自宁夏; 各产区内部样品质量存在显著差异。相关性分析结果表明, 色度 a^* 与玉米黄素双棕榈酸酯、 β -胡萝卜素呈显著正相关, 百粒重与总糖、蛋白质呈显著正相关。**结论** 本研究为枸杞子传统“辨状论质”提供了量化科学依据, 证实传统经验中“色红”“个大”可作为枸杞子指标性成分的快速辅助鉴别依据。所建立的多指标定量测定结合 CRITIC-TOPSIS 化学计量学综合评价方法, 科学性强、可操作性良好, 可为枸杞子质量评价提供参考。

关键词: 枸杞子; 辨状论质; 外观形状; CRITIC-TOPSIS; 相对贴近度; 质量评价

中图分类号: R285.5; R284

文献标志码: A

文章编号: 1674-6376(2026)09-3132-11

DOI:10.7501/j.issn.1674-6376.2026.09.014

Quality difference evaluation of *Lycii Fructus* from different producing area based on “quality evaluation through morphological identification” combined with CRITIC-TOPSIS model

LUO Qun^{1,2}, LIU Yanxi¹, WANG Dandan¹, JIN Hongyu¹, LI Wei², WANG Ying¹, LIN Yongqiang¹

1. National Institutes for Drug Control, Beijing 102629, China

2. College of Functional Food and Wine, Shenyang Pharmaceutical University, Shenyang 117004, China

Abstract: Objective To explore the intrinsic relationship between traditional “quality evaluation through morphological identification” practices for *Lycii Fructus* and modern multi-index comprehensive quality evaluation, and to establish an objective method for assessing *Lycii Fructus* quality. **Methods** A total of 32 batches of *Lycii Fructus* samples from three major producing regions—Ningxia, Gansu, and Qinghai—were collected. Quantitative measurements were performed on external characteristics including hundred-grain weight, color values (L^* for brightness, a^* for red-green hue, b^* for yellow-blue hue). Simultaneously, 11 chemical quality control indicators were determined: water-soluble extractives, betaine, *Lycium barbarum* polysaccharides, total sugar, protein, three carotenoids (zeaxanthin, β -carotene, zeaxanthin dipalmitate), and three flavonoids (rutin, kaempferol-3-*O*-rutinoside, narcissoside). The objective weights of each indicator were determined using the correlation-based CRITIC method, and the relative closeness (C_i) of each sample was calculated using the TOPSIS approach to represent its overall quality. Pearson correlation analysis was used to reveal relationships among external traits, chemical components, and relative closeness (C_i). **Results** The CRITIC-

收稿日期: 2026-05-18

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2025YFC3512100); 中检院中药所学科建设项目 (2026XKJS15)

作者简介: 罗 群 (2000—), 女, 硕士研究生, 研究方向为中药质量控制和评价。E-mail: 3038729683@qq.com

*通信作者: 李 巍 (1981—), 女, 博士, 副教授, 研究方向为活性天然产物的研究与开发。E-mail: wei_li1981@163.com

王 莹 (1986—), 女, 博士, 研究员, 从事中药质量与安全管理研究。E-mail: wayi_1986@163.com

TOPSIS integrated evaluation showed that the mean C_i values for samples from Ningxia, Gansu, and Qinghai were 0.44, 0.37, and 0.36, respectively, with the top three highest-quality samples all originating from Ningxia. Significant differences in sample quality were observed within each region. Correlation analysis revealed significant positive correlations between a^* and zeaxanthin dipalmitate and β -carotene, and between hundred-grain weight and total sugar and protein. **Conclusion** This study provides quantitative scientific evidence supporting the traditional “quality evaluation through morphological identification” practice for *Lycii Fructus*, confirming that “bright red color” and “large size” can serve as rapid auxiliary indicators for identifying key chemical constituents. The established multi-index quantitative analysis combined with the CRITIC-TOPSIS chemometric evaluation method is scientifically sound and highly practical, offering valuable reference for *Lycii Fructus* quality assessment.

Key words: *Lycii Fructus*; quality evaluation through morphological identification; appearance and shape; CRITIC-TOPSIS; comprehensive closeness degree; quality evaluation

枸杞子为茄科植物宁夏枸杞 *Lycium barbarum* L. 的干燥成熟果实，是我国传统药食同源中药材，具有滋补肝肾、益精明目的功效^[1]。现代药理学研究表明，枸杞子富含枸杞多糖、甜菜碱、类胡萝卜素、黄酮类等多种活性成分，具有抗氧化、免疫调节、降血糖、保肝护眼等多重药理活性，应用价值广泛^[2-3]。随着国民健康需求持续升级，枸杞子的市场需求量逐年上升，其药材质量与品质评价受到广泛关注。目前，《中国药典》2025 年版以枸杞多糖和甜菜碱作为枸杞子的质控指标^[4]，这 2 类成分与枸杞子的功效密切相关，可在一定程度上反映药材品质。但仅凭 2 个指标难以全面反映枸杞子的整体品质。已有研究证实，枸杞子中含有的类胡萝卜素（玉米黄素双棕榈酸酯、 β -胡萝卜素等）、黄酮类成分（芦丁、水仙苷等）以及总糖、蛋白质等物质，均是支撑其药理活性与保健功能的重要物质基础，与药材品质高度关联^[5-6]。因此，建立多指标综合质量评价体系，对于全面、客观地评价枸杞子质量具有重要意义。

当前中药材多指标综合评价常用方法主要包括主观赋权法、熵权法、指标相关性的指标权重法（CRITIC）等。其中层次分析法等主观赋权法依赖专家经验赋值，主观性较强，容易引入人为偏差；熵权法、CRITIC 法等客观赋权法则基于原始数据的变异特征计算指标权重，规避了人为干预，评价结果更为科学客观^[7]。加权逼近理想解排序（TOPSIS）作为经典的多目标决策分析方法，可通过量化计算各评价对象与理想解的综合贴近度，实现样本品质的精准排序^[8]。CRITIC 法与 TOPSIS 法结合，既可保留客观赋权的精准性，又可实现样本的直观量化排序，已广泛应用于中药质量评价研究^[9-10]。“辨状论质”是中药传统经验鉴别的精髓，由谢宗万先生系统梳理并完善，该理论通过药

材的外观性状（形状、大小、颜色、气味、质地等）判断中药材的真伪与品质优劣^[11]。这一方法简便、快速，在中药材商品流通和临床应用中长期发挥着重要作用。对于枸杞子，传统鉴别经验以“个大、色红”者为佳^[12]。但传统“辨状论质”依赖个人经验，描述主观、模糊，缺乏客观量化指标，难以实现标准化、规范化推广应用^[13]。

近年来，随着色差仪、电子鼻、电子舌等仿生感官仪器的普及，中药材外观性状的量化研究成为热点。其中，色差仪可将药材颜色转化为 L^* （亮度）、 a^* （红绿色度，正值偏红）、 b^* （黄蓝色度，正值偏黄）数值，实现颜色的客观表征^[14]；百粒重可量化“个大”程度；为传统“辨状论质”的科学阐释提供关键技术支撑。已有研究表明，中药材外观性状与内在化学成分存在显著相关性。例如，厚朴药材的厚度与厚朴酚、 β -桉叶醇含量呈正相关^[15]；金果榄的表面颜色 b^* 值与多种生物碱含量呈极显著相关^[16]；南柴胡的颜色、长度、直径与挥发油和柴胡皂苷含量显著相关^[17]，上述研究均证实了外观性状可间接反映中药材内在品质，为“辨状论质”提供了物质基础证据。但现阶段针对枸杞子的外观性状-内在成分-综合品质的系统性关联研究仍较为薄弱。基于此，本研究以宁夏、甘肃、青海 3 个主产区的 32 批枸杞子样品为研究对象，通过测定百粒重（参照 SN/T 0878《进出口枸杞子检验规程》测得的每 100 粒枸杞子的质量）、色度 L^* 、 a^* 、 b^* 值量化表征枸杞子传统外观性状，同时检测涵盖药典质控指标、营养指标、功效活性指标的 11 项理化成分；结合 CRITIC-TOPSIS 法开展多指标综合评价，完成不同产地枸杞子的质量评价；并通过 Pearson 相关性分析，系统探究枸杞子外观性状、内在化学成分与综合品质的内在关联，为枸杞子质量综合评价体系构建及枸杞子“辨状论质”量化评价指标的筛选提供

依据。

1 材料与仪器

1.1 仪器

MS105DU 十万分之一电子分析天平, 梅特勒-托利多仪器上海有限公司; TR520 分光测色仪, 德国 Lovibond 公司; UV-2700 紫外可见分光光度计、LC-2040C 3D Plus 高效液相色谱仪、ELSD 6000 蒸发光散射检测器, 日本岛津公司; ACQUITY UPLC H-Class 超高效液相色谱仪, 美国 Waters 公司; KQ-500DE 数控超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司; BGZ-70 电热鼓风干燥箱, 上海医疗生物仪器股份有限公司; HH-2 水浴锅, 泰斯特仪器有限公司; Purelab Chorus 1 LS 纯水系统, 默克化工技术有限公司。

1.2 材料

Thermo Scientific™ Pierce™ BCA Protein Assay Kits (赛默飞世尔科技公司, 货号 23227); 甲醇(分析纯), 甲醇(国药质谱纯, 货号 UN1230), 硫酸(优级纯, 货号 20241010), 无水乙醇(货号 20250926)、乙醚(货号 20240103)、正己烷(货号 20240415)、丙酮(货号 20240809)、二丁基羟基甲苯(BHT, 货号 20221013)、碳酸钠(货号 20221201)、亚硝酸钠(货号 20240529)、硝酸铝(货号 20180906)、氢氧化钠(货号 20231127)均为分析纯, 国药集团

化学试剂有限公司; 乙腈(质谱纯, UN1648), 霍尼韦尔(上海)贸易有限公司; 苯酚(分析纯, 货号 20230222), 艾迪生生物科技有限公司; 二氯甲烷(货号 50117)、甲基叔丁基醚(货号 50123)均为色谱纯, 迪马科技有限公司; 福林酚(分析纯, 货号 20220512), 北京索莱宝科技有限公司。对照品甜菜碱(货号 110894-202406, 质量分数 98.8%)、D-无水葡萄糖(货号 110833-202410, 质量分数 99.9%)、芦丁(批号 100080-202513, 质量分数 92.8%)、β-胡萝卜素(批号 100445-201802, 质量分数 99.5%)、水仙苷(批号 111997-202302, 质量分数 93.1%)、没食子酸(批号 110831-202408, 质量分数 96.5%), 中国食品药品检定研究院; 玉米黄素双棕榈酸酯(批号 B29041, 质量分数≥95%)、玉米黄素(批号 V30301, 质量分数≥96%), 上海源叶生物科技有限公司; 荜菲醇-3-O-芸香糖苷(批号 K138386, 质量分数≥98%), 上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.3 样品

32 批枸杞子样品来源、品种信息见表 1, 32 批枸杞子样品均于 2023 年秋季采收, 经中国药品检定研究院中药民族药检定所王莹研究员鉴定为茄科植物宁夏枸杞 *Lycium barbarum* L. 的干燥果实。

表 1 32 批枸杞子信息

Table 1 Information of 32 batches of *Lycii Fructus* samples

编号	产地	编号	产地	编号	产地	编号	产地
NX-1	宁夏中卫	NX-9	宁夏中卫	GS-7	甘肃武威	QH-5	青海都兰
NX-2	宁夏中卫	NX-10	宁夏银川	GS-8	甘肃酒泉	QH-6	青海西宁
NX-3	宁夏中卫	GS-1	甘肃白银	GS-9	甘肃白银	QH-7	青海德令哈
NX-4	宁夏中卫	GS-2	甘肃酒泉	GS-10	甘肃白银	QH-8	青海格尔木
NX-5	宁夏中卫	GS-3	甘肃张掖	QH-1	青海格尔木	QH-9	青海格尔木
NX-6	宁夏中卫	GS-4	甘肃定西	QH-2	青海格尔木	QH-10	青海格尔木
NX-7	宁夏中卫	GS-5	甘肃武威	QH-3	青海省都兰	QH-11	青海格尔木
NX-8	宁夏中卫	GS-6	甘肃白银	QH-4	青海格尔木	QH-12	青海格尔木

2 方法与结果

2.1 外观测定

2.1.1 百粒重 参照 SN/T 0878《进出口枸杞子检验规程》对每 100 粒枸杞子的质量进行测定, 结果见表 2。不同产区百粒重统计结果表明, 宁夏产区百粒重 7.56~33.09 g, 均值 22.28 g, RSD 为 31.09%; 甘肃产区 13.93~26.07 g, 均值 23.62 g, RSD 为 10.02%; 青海产区 12.81~35.04 g, 均值 24.37 g,

RSD 为 16.17%。3 个产区平均百粒重无显著差异, 但同一产地不同批次间变异系数均较大。

2.1.2 色度测定 仪器使用前用黑板校正。测定条件选用 D65 标准光源、10°观察角、8 mm 测量口径, SCI 反射模式。取枸杞子粉末(过二号筛), 平铺置于无色透明自封袋内, 使其能将通光口完全覆盖, 厚度均匀 2 mm, 压实至完全覆盖检测通光口, 记录 L^* 、 a^* 、 b^* , 同时计算总色差 ΔE_{ab}^* ^[18]。每批样

表 2 32 批枸杞子百粒重
Table 2 100-grain weight of 32 batches of Lycii Fructus

编号	百粒重/g	编号	百粒重/g	编号	百粒重/g	编号	百粒重/g
NX-1	7.56	NX-9	29.97	GS-7	26.07	QH-5	22.61
NX-2	9.93	NX-10	25.67	GS-8	25.10	QH-6	23.58
NX-3	22.94	GS-1	22.23	GS-9	24.53	QH-7	35.04
NX-4	27.91	GS-2	13.93	GS-10	24.82	QH-8	28.15
NX-5	14.71	GS-3	25.74	QH-1	19.72	QH-9	21.64
NX-6	24.20	GS-4	25.82	QH-2	12.81	QH-10	31.24
NX-7	26.78	GS-5	25.28	QH-3	24.40	QH-11	22.43
NX-8	33.09	GS-6	22.65	QH-4	24.16	QH-12	26.68

品重复测定 3 次，取平均值。结果见表 3。统计宁夏、甘肃、青海产地枸杞子色度参数，结果表明，3 个产区的亮度 L^* 平均值分别为 61.61、59.84、61.74，RSD 分别为 4.03%、5.13%、3.88%，产地间 L^* 无显著差异； a^* 平均值分别为 26.89、25.54、27.18，RSD 分别为 4.67%、9.42%、9.77%， a^* 存在批次波动； b^* 平均值分别为 26.85、26.15、27.16，RSD 分别为 4.65%、6.81%、3.56%，不同产地 b^* 差异不大； ΔE^*_{ab} 平均值分别为 52.84、53.18、53.03，RSD 分别为 2.58%、3.67%、5.25%，各样品整体色泽稳定性较好。

2.2 理化指标测定

2.2.1 水分及水溶性浸出物测定 按照《中国药

典》2025 年版四部通则 0832 水分测定法第二法烘干法（温度为 80 ℃）对各批次枸杞子中水分进行测定；按照通则 2201 浸出物测定法对各批次枸杞子中水溶性浸出物进行测定，结果见表 4。结果表明，32 批样品水分均≤13.0%，水溶性浸出物均≥55.0%，均符合《中国药典》2025 年版限度规定；甘肃产区水溶性浸出物均值最高（79.38%），宁夏（72.32%）、青海（75.72%）次之，3 个产区批次间 RSD 均<5%，含量稳定性较好。

2.2.2 甜菜碱和枸杞多糖的含量测定 按照《中国药典》2025 年版一部枸杞子【含量测定】项方法对各批次枸杞子中的甜菜碱和枸杞多糖含量进行测定，结果见表 4。32 批样品中，除了 QH-10、QH-12

表 3 32 批枸杞子色度值
Table 3 Color parameters of 32 batches of Lycii Fructus

编号	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}	编号	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
NX-1	60.13	26.94	26.85	53.81	GS-7	64.31	24.28	28.06	50.19
NX-2	59.14	28.80	26.61	55.36	GS-8	56.51	24.67	24.56	54.38
NX-3	62.59	27.78	27.98	53.08	GS-9	53.51	21.44	21.89	54.33
NX-4	58.41	25.33	24.25	53.08	GS-10	62.24	22.70	27.13	50.41
NX-5	56.73	26.43	23.45	54.56	QH-1	61.75	28.20	27.50	53.63
NX-6	63.64	23.98	26.88	49.87	QH-2	56.02	29.70	25.32	57.52
NX-7	61.22	26.42	28.60	53.66	QH-3	61.11	31.52	30.17	57.21
NX-8	63.78	26.01	28.21	51.49	QH-4	63.86	22.43	27.66	49.41
NX-9	67.45	28.99	27.51	50.34	QH-5	64.38	21.25	26.02	47.63
NX-10	63.01	28.20	28.18	53.12	QH-6	64.87	24.44	27.57	49.61
GS-1	59.84	24.40	26.82	52.78	QH-7	65.02	24.66	27.31	49.48
GS-2	59.65	27.82	27.80	55.05	QH-8	60.03	29.66	27.02	55.38
GS-3	64.42	28.92	29.23	53.13	QH-9	57.97	29.65	25.17	56.00
GS-4	56.15	27.91	24.04	55.97	QH-10	63.03	27.34	27.49	52.30
GS-5	63.73	23.71	26.78	49.63	QH-11	63.65	28.80	28.25	53.05
GS-6	58.01	29.52	25.21	55.92	QH-12	59.18	28.48	26.48	55.10

表 4 32 批枸杞子水分、水溶性浸出物、甜菜碱和枸杞多糖含量测定结果

Table 4 Determination results of moisture content, water-soluble extract, betaine and polysaccharides in 32 batches of *Lycii*

Fructus									
编号	水分/%	水溶性浸出物/%	甜菜碱/%	枸杞多糖/%	编号	水分/%	水溶性浸出物/%	甜菜碱/%	枸杞多糖/%
NX-1	6.54	55.78	0.73	2.98	GS-7	4.53	81.01	0.55	1.63
NX-2	8.81	73.31	0.63	2.38	GS-8	6.17	83.24	0.50	2.32
NX-3	6.43	73.97	0.66	2.59	GS-9	6.98	80.52	0.97	2.83
NX-4	7.55	70.92	0.70	3.16	GS-10	5.45	83.50	0.93	2.67
NX-5	8.16	72.89	0.61	2.03	QH-1	6.22	80.47	0.53	3.26
NX-6	6.24	73.07	0.61	2.16	QH-2	5.71	82.38	0.91	3.09
NX-7	6.76	73.79	0.61	1.83	QH-3	7.55	73.67	0.78	3.20
NX-8	5.58	76.45	0.66	2.74	QH-4	8.61	73.43	0.60	3.42
NX-9	5.02	74.53	0.60	2.00	QH-5	6.44	75.27	0.54	2.43
NX-10	6.23	78.47	0.67	2.00	QH-6	8.96	73.08	0.66	2.67
GS-1	7.01	77.17	0.72	2.10	QH-7	4.93	75.01	0.89	2.35
GS-2	7.46	67.48	0.80	2.37	QH-8	7.86	73.75	0.52	2.50
GS-3	6.86	78.38	0.55	1.84	QH-9	5.10	78.03	0.51	2.35
GS-4	4.33	76.95	0.65	1.62	QH-10	3.73	75.43	0.45	1.80
GS-5	5.11	81.14	0.63	1.80	QH-11	6.93	73.17	0.50	2.01
GS-6	4.74	84.45	0.56	2.54	QH-12	5.29	74.89	0.43	1.88

2 批样品中甜菜碱含量低于标准限度 (0.50%); GS-4、GS-7 2 批样品中枸杞多糖含量低于标准限度 (1.80%), 其他 28 批样品均符合药典规定。宁夏、甘肃和青海产区枸杞子中甜菜碱平均质量分数分别为 0.65%、0.69%、0.61%, RSD 分别为 5.39%、19.87%、21.89%; 枸杞多糖平均质量分数分别为 2.39%、2.17%、2.58%, RSD 分别为 16.10%、17.14%、17.65%。各产地的水溶性浸出物、甜菜碱和枸杞多糖平均含量均无显著性差异, 但同产地样品间甜菜碱和枸杞多糖差异较大。

2.2.3 总糖和蛋白质含量测定 参照国标 GB/T 18672-2014《枸杞》, 采用斐林试剂滴定法测定枸杞子中总糖含量; 按照蛋白质含量试剂盒说明书对枸杞子中蛋白质含量进行测定, 结果见表 5。总糖的含量为 $28.95 \sim 64.84 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, 蛋白质含量为 $10.32 \sim 25.27 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$; 青海产区总糖含量平均值为 $51.59 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, 明显高于宁夏 ($47.22 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) 和甘肃 ($42.34 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$); 甘肃蛋白质含量平均值最高为 $16.67 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, 青海 ($16.29 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) 次之, 宁夏较低 ($13.12 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$)。各产区样品间总糖和蛋白质含量均存在较大差异 (RSD 11.90%~23.25%)。

2.2.4 类胡萝卜素类和黄酮类成分的含量测定 类胡萝卜素类和黄酮类成分的含量测定法分别参

考课题组建立方法。其中类胡萝卜素类成分 (玉米黄素、 β -胡萝卜素、玉米黄素双棕榈酸酯) 采用 HPLC 法测定^[19], 色谱条件: 采用 Diamonsil Plus C₃₀ (250 mm×4.6 mm, 5 μm) 色谱柱, 流动相为二氯甲烷-甲基叔丁基醚 (1:1, A) 与甲醇-乙腈-水 (84:11:5, B) 梯度洗脱: 0→10 min, 70%~60% B; 10→20 min, 60%~50% B; 20→40 min, 50% B, 检测波长 450 nm, 柱温 25 $^{\circ}\text{C}$, 体积流量 $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 进样量 10 μL 。黄酮类成分 (芦丁、茨菲-3-O-芸香糖苷、水仙苷) 采用 UPLC 法测定^[20], 色谱条件: 采用 ACQUITY UPLC HSS T3 (100 mm×2.1 mm, 1.8 μm) 色谱柱, 流动相为甲醇-乙腈 (1:4, A) 与 0.5% 甲酸水溶液 (B) 梯度洗脱 (0~30 min, 95%→90% B; 30~35 min, 90% B; 35~45 min, 90%→85% B; 45~50 min, 85%→70% B; 50~55 min, 70%→0% B), 体积流量 $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 柱温 35 $^{\circ}\text{C}$, 进样量 1.0 μL 。

结果见表 5, 32 批枸杞子药材中玉米黄素、 β -胡萝卜素、玉米黄素双棕榈酸酯的质量分数分别为 $4.67 \sim 139.57$ 、 $0.96 \sim 8.44$ 、 $656.65 \sim 2\,322.26 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。宁夏产区 3 类成分的平均质量分数 (68.61 、 4.57 、 $1\,665.22 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) 均高于甘肃产区 (27.97 、 3.40 、 $1\,328.12 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) 和青海 (24.47 、 2.97 、 $1\,632.84 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$),

表 5 32 批枸杞子总糖、蛋白质、类胡萝卜素类和黄酮类成分含量

Table 5 Contents of total sugar, protein, carotenoids and flavonoids in 32 batches of *Lycii Fructus*

编号	质量分数/(g·100 g ⁻¹)		质量分数/(μg·g ⁻¹)					
	总糖	蛋白质	玉米黄素	β-胡萝卜素	玉米黄素双棕榈酸酯	芦丁	苡菲醇-3-O-芸香糖苷	水仙苷
NX-1	39.08	11.56	81.67	5.38	2 219.69	267.00	4.67	20.44
NX-2	38.41	13.62	96.24	8.21	1 992.01	205.28	7.54	14.62
NX-3	42.27	11.69	68.54	5.95	1 909.05	91.42	2.61	6.80
NX-4	49.61	10.32	12.47	1.13	1 104.31	147.89	2.68	11.02
NX-5	33.50	14.54	138.33	8.44	1 677.09	157.97	7.31	12.31
NX-6	56.29	15.56	139.57	2.99	1 519.11	118.32	8.15	8.27
NX-7	57.57	13.98	14.06	4.26	1 185.78	107.20	2.61	7.24
NX-8	55.73	13.77	102.24	3.26	1 534.26	98.33	2.51	6.93
NX-9	41.50	11.11	11.39	4.22	1 945.73	97.97	3.61	6.74
NX-10	58.24	15.07	21.57	1.85	1 565.21	104.70	1.89	9.19
GS-1	55.66	12.40	21.49	0.96	1 147.04	175.38	4.82	13.02
GS-2	28.95	11.46	7.57	2.45	1 273.36	140.39	3.08	9.95
GS-3	43.96	13.10	29.88	5.12	1 921.24	306.95	2.26	14.14
GS-4	44.26	15.94	57.78	5.17	1 349.52	191.87	5.22	13.09
GS-5	42.93	20.71	18.42	2.78	1 680.85	252.49	3.89	15.31
GS-6	49.29	11.07	41.22	6.48	2 037.30	286.16	7.20	14.14
GS-7	48.49	21.52	10.06	2.80	1 336.68	222.89	4.07	12.53
GS-8	34.99	20.99	7.54	1.36	717.84	74.35	5.88	5.11
GS-9	35.38	20.43	5.24	1.82	656.65	245.21	8.18	10.83
GS-10	39.53	19.07	80.49	5.02	1 160.69	110.56	6.02	7.39
QH-1	60.47	11.37	16.46	2.34	1 766.56	93.29	3.35	8.42
QH-2	31.21	11.03	39.32	4.29	2 322.26	231.34	5.03	16.00
QH-3	54.53	13.34	31.77	3.96	1 275.63	97.80	2.14	5.84
QH-4	47.73	21.52	25.91	1.28	1 086.32	155.22	4.15	10.72
QH-5	43.94	15.79	5.81	1.35	911.22	164.04	5.43	11.65
QH-6	35.70	14.06	8.31	2.27	859.04	256.26	4.78	14.17
QH-7	59.30	25.27	75.42	5.35	1 919.35	227.94	1.88	11.43
QH-8	60.86	16.14	59.96	3.21	1 900.62	117.61	5.73	7.68
QH-9	64.84	21.79	7.75	3.43	2 041.77	93.48	4.78	7.82
QH-10	38.65	16.60	11.83	1.98	1 744.98	163.42	3.60	11.31
QH-11	62.80	10.61	6.41	3.88	2 043.46	206.73	1.78	15.64
QH-12	59.05	17.97	4.67	2.35	1 722.91	159.63	7.50	10.43

但各产区内变异较大 (RSD=17.02%~74.95%)。黄酮类成分 (芦丁、苡菲醇-3-O-芸香糖苷、水仙苷) 的质量分数分别为 74.35~306.95、1.78~8.18、5.11~20.44 μg·g⁻¹。甘肃产区枸杞子中芦丁 (200.63 μg·g⁻¹) 和水仙苷 (11.55 μg·g⁻¹) 平均质量分数高于宁夏 (139.61、10.36 μg·g⁻¹) 和青海 (163.90、10.93 μg·g⁻¹)，而苡菲醇-3-O-芸香糖苷平均质量分数以甘肃最高为 5.06 μg·g⁻¹，宁夏次之为 4.36 μg·g⁻¹，青海最低为 4.18 μg·g⁻¹。各成分在样品间均存在较大差异

(RSD22.24%~46.96%)。

2.3 基于 CRITIC-TOPSIS 法计算综合贴近度

2.3.1 CRITIC 法确定权重系数

主观赋权无法有效、全面地体现各指标成分对药材质量的影响，而 CRITIC 法作为一种客观赋权法，通过充分挖掘和利用目标数据的自身属性，以评价指标间的对比强度与冲突性为基础，综合衡量指标的客观权重，有效解决多目标之间因数据差异难以比较相对重要程度的问题，能够客观反映各评价指标的影响^[21-22]。将 32

批样品的 11 个指标含量数据输入 SPSSAU (<https://spssau.com/indexs.html>), 对各指标原始数据进行平方和归一化处理, 以消除量纲影响。在 SPSSAU 平台“综合评价”模块中选择“CRITIC 权重”, 计算各指标间的变异性 (S_j)、冲突性 (R_j)、信息量 (C_j) 与权重 (w_j)。见表 6。结果显示, 玉米黄素、 β -胡萝卜素、苡菲醇-3-*O*-芸香糖苷、芦丁、水仙苷、蛋白质、玉米黄素双棕榈酸酯、总糖、枸杞多糖、甜菜碱、水溶性浸出物的 w_j 依次为 19.23%、12.66%、11.45%、9.98%、8.63%、8.00%、7.88%、7.26%、6.55%、6.12%、2.27%。

$$X_{ij}^{\text{norm}} = X_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2} \quad (1)$$

$$S_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 / (n-1)} \quad (2)$$

$$R_j = \sum_{i=1}^n (1 - r_{jk}) \quad (3)$$

$$C_j = S_j \times R_j \quad (4)$$

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^m C_j} \quad (5)$$

X_{ij}^{norm} 为第 i 个样本第 j 个指标平方和归一化后的数据, X_{ij} 为第 i 个样本第 j 个指标的原始值, n 是研究对象的数量; $\bar{X}_j$ 是第 j 个指标的均值; r_{jk} 为指标 j 与指标 k 之间的皮尔逊相关系数, m 为指标总数

2.3.2 TOPSIS 法计算综合贴近度 TOPSIS 以正、负理想解作为评价基准, 计算各评价对象与正负理想解的距离 (D_i^+ 、 D_i^-), 进一步得到相对贴近度 (C_i), 评价对象越贴近正理想解、越远离负理想解,

表 6 11 个指标冲突性、变异性与权重结果

Table 6 Results of conflict, variability and weights for 11 indicators

成分	S_j	R_j	C_j	$w_j/\%$
玉米黄素	0.126	8.855	1.114	19.23
β -胡萝卜素	0.085	8.664	0.733	12.66
苡菲醇-3- <i>O</i> -芸香糖苷	0.071	9.368	0.663	11.45
芦丁	0.065	8.884	0.578	9.98
水仙苷	0.055	9.141	0.500	8.63
蛋白质	0.045	10.254	0.464	8.00
玉米黄素双棕榈酸酯	0.049	9.237	0.456	7.88
总糖	0.038	11.151	0.420	7.26
枸杞多糖	0.037	10.375	0.379	6.55
甜菜碱	0.037	9.548	0.354	6.12
水溶性浸出物	0.013	10.407	0.131	2.27

综合排序位次越靠前, C_i 越接近 1, 样品的综合评价越好^[8]。本研究利用 SPSSAU 平台“综合评价”模块开展 TOPSIS 分析, 将归一化处理后的数据集与 CRITIC 法求得的指标 w_j 结合, 计算各样品 D_i^+ 、 D_i^- 、 C_i , 依据 C_i 完成样品质量优劣排序。其中 GS-4、GS-7、QH-10、QH-12 共 4 批样品的甜菜碱或枸杞多糖含量未达到《中国药典》2025 年版枸杞子项下限度要求, 因此不参与综合质量排序, 剩余 28 批样品的综合质量评价结果见表 7。结果显示, 宁夏、青海、甘肃产区样品的 C_i 均值分别为 0.44、0.36、0.37。各产区内部样品质量分化明显, 宁夏产区离散程度最高 (RSD34.11%), 其次为甘肃产区 (RSD21.85%),

表 7 28 批枸杞子品质排序

Table 7 Ranking of quality score of 28 batches of *Lycii Fructus*

编号	D_i^+	D_i^-	C_i	排序	编号	D_i^+	D_i^-	C_i	排序
NX-5	0.301	0.606	0.668	1	QH-11	0.586	0.317	0.351	15
NX-2	0.283	0.545	0.659	2	QH-9	0.588	0.296	0.335	16
NX-1	0.334	0.497	0.598	3	QH-6	0.582	0.284	0.328	17
NX-6	0.405	0.529	0.567	4	QH-4	0.574	0.263	0.314	18
QH-7	0.382	0.446	0.538	5	QH-3	0.577	0.252	0.304	19
GS-6	0.404	0.458	0.532	6	GS-1	0.587	0.249	0.298	20
GS-10	0.417	0.397	0.488	7	QH-1	0.613	0.24	0.281	21
QH-2	0.447	0.405	0.475	8	NX-9	0.609	0.23	0.274	22
NX-8	0.475	0.378	0.443	9	QH-5	0.621	0.222	0.263	23
GS-3	0.501	0.371	0.426	10	NX-7	0.608	0.211	0.258	24
NX-3	0.485	0.35	0.419	11	NX-10	0.619	0.203	0.247	25
QH-8	0.479	0.328	0.406	12	NX-4	0.637	0.205	0.244	26
GS-9	0.586	0.368	0.386	13	GS-8	0.675	0.209	0.237	27
GS-5	0.529	0.323	0.379	14	GS-2	0.629	0.186	0.228	28

青海产区离散程度最低（RSD17.62%）。

$$D_i^+=[\sum_{j=1}^n(Z_{ij}-Z_j^+)^2]^{1/2} \tag{6}$$

$$D_i^-=[\sum_{j=1}^n(Z_{ij}-Z_j^-)^2]^{1/2} \tag{7}$$

$$C_i=D_i^-/(D_i^++D_i^-) \tag{8}$$

2.4 Pearson 相关性分析

采用 OriginPro 2024 软件对 C_i 、色度值和各检测指标含量进行 Pearson 相关性分析，结果见图 1。结果显示，百粒重与水溶性浸出物、总糖、蛋白质含量呈显著正相关（ $P<0.05$ ），与 β -胡萝卜素、水

仙苷和 C_i 呈显著负相关（ $P<0.05$ 、 0.01 ）。 L^* 与苡菲醇-3- O -芸香糖苷呈显著负相关（ $P<0.01$ ）； a^* 与玉米黄素双棕榈酸酯、 β -胡萝卜素呈显著正相关（ $P<0.05$ 、 0.01 ），与蛋白质呈显著负相关（ $P<0.01$ ）； b^* 与苡菲醇-3- O -芸香糖苷呈显著负相关（ $P<0.01$ ）。 C_i 与玉米黄素、 β -胡萝卜、玉米黄素双棕榈酸酯、芦丁、苡菲醇-3- O -芸香糖苷和水仙苷呈显著正相关（ $P<0.05$ 、 0.01 ），但与色度指标却无相关性，且与百粒重呈显著负相关（ $P<0.05$ ）。由此可见，仅以外观性状指标进行质量评价，仅能表征部分化学成分的含量水平，难以反映枸杞子样品的综合质量。

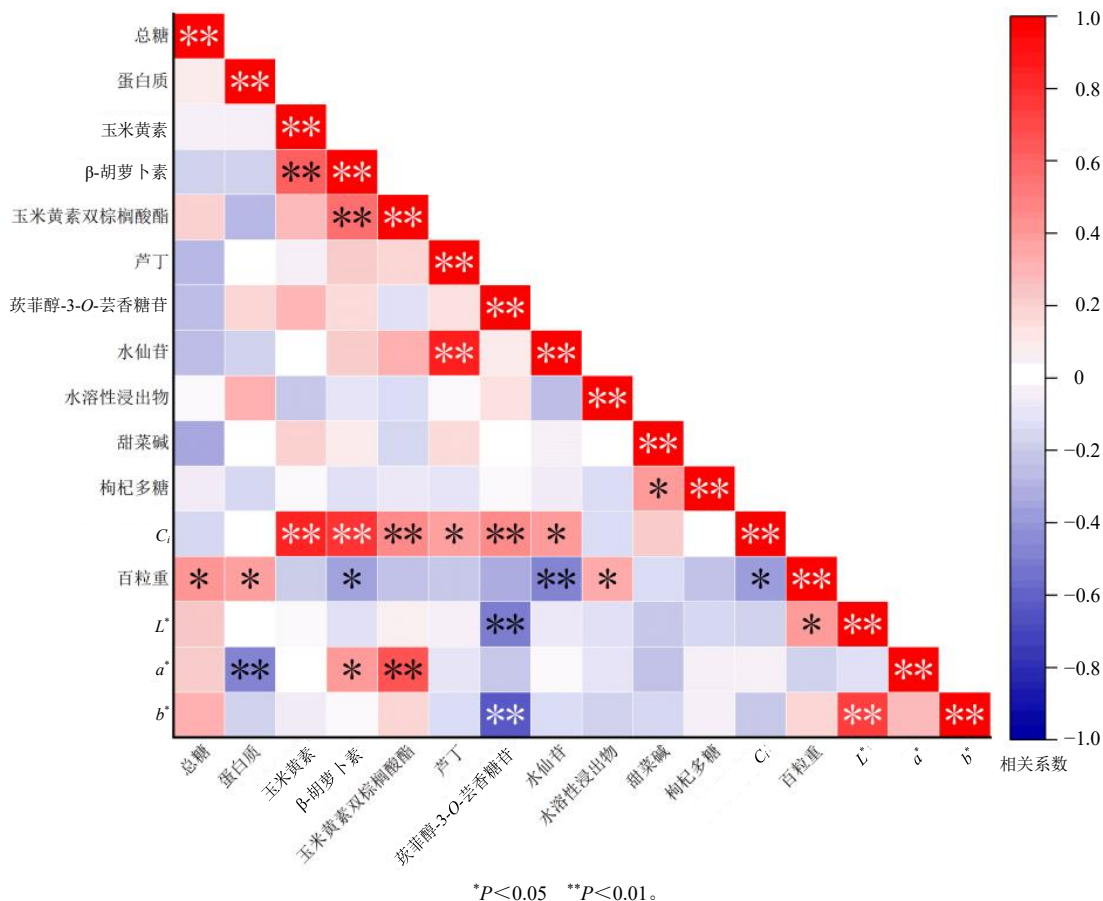


图 1 相关性分析热图

Fig. 1 Heatmap for correlation analysis

3 讨论

现有枸杞子质量评价多选用少量指标，或采用主观赋权法开展评价，本研究采用 CRITIC-TOPSIS 法进行综合质量评价。CRITIC 法可同时兼顾指标对比强度与指标间冲突性，权重计算时既考虑各成分的含量差异，又能够规避指标之间的信息重叠问题。相较于熵权法与主观赋权法，该方法得到的权重科学性更强，样品区分度更高；TOPSIS 法可完成

多指标变量的综合转换，通过计算综合得分实现样品质量排序，结果直观且可量化^[23]。但该方法的权重依赖本研究样品的数据分布特征，评价结果具有相对性，更适合不同产地、不同批次样品之间的横向对比。此外，已发表的枸杞子综合评价研究大多侧重枸杞多糖、甜菜碱等药典质控指标，对类胡萝卜素、黄酮类等功效活性成分关注不足。本研究共纳入 11 项评价指标，覆盖药典质控指标、营养成分

与特征功效活性成分,更加契合枸杞子药食两用的应用特点,所构建的评价体系更为全面。需要注意的是,CRITIC-TOPSIS 输出的权重和样品排序均基于本研究样品的数据分布,得到的仅为相对排序结果,并不代表样品的绝对质量等级。

枸杞子作为传统药食同源中药材,其质量评价长期依赖“辨状论质”经验,尤以“个大、色红”为佳。然而,传统经验主观性强,缺乏与内在化学成分的系统关联研究。本研究基于 32 批枸杞子的外观性状(百粒重、色度)与 11 种化学成分的测定,采用 CRITIC-TOPSIS 法构建综合质量评价模型,旨在科学阐释“辨状论质”的内涵,并为枸杞子多指标质量评价提供依据。 a^* 与玉米黄素双棕榈酸酯、 β -胡萝卜素呈显著正相关,表明“色红”是类胡萝卜素等脂溶性色素积累的外在表现。百粒重与总糖、蛋白质呈正相关,但与 β -胡萝卜素、水仙苷等活性成分呈负相关,表明“个大”更多反映糖类、蛋白等基础营养物质积累。同时发现, C_i 与色度指标无显著相关、与百粒重呈负相关,说明传统辨状论质只能反映部分单一成分优劣,不能代表多指标综合质量。即外观性状仅可作为快速初筛依据,不能替代现代多成分定量评价。

本研究仍存在一定局限性。本研究未设置独立样品集开展外部验证,后续应当扩充不同批次、不同采收年份的样品,进一步验证该评价方法的稳健性。在色度测定过程中,完整果实表面色泽易受果实皱缩程度、表面蜡质层、光线反射不均等因素干扰,检测重复性较差。为保障测定结果稳定,本实验采用粉末样品测定色度,与传统直接观测整果色泽的方式存在一定偏差。后续可结合图像分析技术,开展完整枸杞子果实的色泽相关研究。

综上,本研究测定 32 批枸杞子的百粒重、色度及 11 种指标成分含量,利用 CRITIC-TOPSIS 法构建枸杞子综合质量评价模型。结果表明,宁夏、甘肃、青海 3 个产区样品 C_i 值均值分别为 0.44、0.36、0.37,同一产区内部不同批次样品质量同样存在差异。相关性分析显示,高 a^* 值可作为类胡萝卜素含量较高的辅助判别指标,高百粒重(个大)可作为总糖、蛋白质积累丰富的辅助指标,为枸杞子“辨状论质”提供量化科学依据。本研究建立的多指标定量结合 CRITIC-TOPSIS 的评价方法客观可靠、可操作性强,弥补了单一指标评价的不足,实现了传统鉴别经验与现代化学计量学的结合。该方法可为

枸杞子快速质量评价及其产品质量等级的建立提供参考,同时也为其他药食同源中药材“辨状论质”的科学解析和质量标准优化提供新思路。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2025.
Pharmacopoeia of the People's Republic of China [S]. Volume I. 2025.
- [2] 魏雪松,王海洋,孙智轩,等.宁夏枸杞化学成分及其药理活性研究进展 [J]. 中成药, 2018, 40(11): 2513-2520.
Wei X S, Wang H Y, Sun Z X, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of *Lycium barbarum* in Ningxia [J]. Chin Tradit Pat Med, 2018, 40(11): 2513-2520.
- [3] 罗群,金红宇,杨建波,等.枸杞子功效主治、临床应用及现代药理作用研究进展 [J]. 药物评价研究, 2024, 47(10): 2427-2433.
Luo Q, Jin H Y, Yang J B, et al. Efficacy and main effects, clinical application and progress research on modern pharmacological action of *Lycium barbarum* [J]. Drug Eval Res, 2024, 47(10): 2427-2433.
- [4] 罗群,王莹,李耀磊,等.枸杞子化学成分及质量评价研究进展 [J]. 中国药事, 2024, 38(11): 1323-1337.
Luo Q, Wang Y, Li Y L, et al. Progress of chemical composition and quality evaluation of *Lycium barbarum* L [J]. Chin Pharm Aff, 2024, 38(11): 1323-1337.
- [5] Ma Z F, Zhang H X, Teh S S, et al. Goji berries as a potential natural antioxidant medicine: An insight into their molecular mechanisms of action [J]. Oxid Med Cell Longev, 2019, 2019(1): 2437397.
- [6] Inbaraj B S, Lu H, Hung C F, et al. Determination of carotenoids and their esters in fruits of *Lycium barbarum* Linnaeus by HPLC-DAD-APCI-MS [J]. J Pharm Biomed Anal, 2008, 47(4/5): 812-818.
- [7] 贾银芝,吴琦,王鑫,等.基于辨状论质法结合熵权法分析辛夷外观性状与内在质量的相关性 [J]. 中药新药与临床药理, 2021, 32(8): 1178-1182.
Jia Y Z, Wu Q, Wang X, et al. Correlation between the appearance characteristics and the intrinsic quality of *Magnoliae Flos* based on quality-discrimination-by-character combined with entropy-weight method [J]. Tradit Chin Drug Res Clin Pharmacol, 2021, 32(8): 1178-1182.
- [8] 王珍愚,胡彩文,王宁,等.区域创新生态系统评价体系研究:基于 AHP-CRITIC-TOPSIS 方法 [J]. 科学学

- 与科学技术管理, 2025, 46(4): 54-71, 86.
- Wang Z Y, Hu C W, Wang N, et al. Research on evaluation system of regional innovation ecosystem: Based on AHP-CRITIC-TOPSIS method [J]. Sci Sci Manag S T, 2025, 46(4): 54-71, 86.
- [9] 迟静, 贺玲, 毕夏, 等. 基于多指标成分定量联合化学计量学及熵权 TOPSIS 模型评价不同产地天葵子的质量 [J]. 中药新药与临床药理, 2026, 37(2): 323-331.
- Chi J, He L, Bi X, et al. Quality evaluation of *Semiaquilegiae Radix* from different origins based on multi-component quantification combined with chemometrics and entropy weight-TOPSIS model [J]. Tradit Chin Drug Res Clin Pharmacol, 2026, 37(2): 323-331.
- [10] 陈音孜, 胡静, 李宁, 等. 基于多成分定量联合化学计量学、熵权 TOPSIS 法的筋骨痛消丸综合质量评价 [J/OL]. 中药材, 2026, (3): 685-691. <https://doi.org/10.13863/j.issn 1001-4454.2026.03.022>.
- Chen Y Z, Hu J, Li N, et al. Comprehensive quality evaluation of Jingu Tongxiao Pills based on multi-component quantification combined with chemometrics and entropy weight-TOPSIS method [J/OL]. Chin Med Mater, 2026, (3): 685-691. <https://doi.org/10.13863/j.issn 1001-4454.2026.03.022>.
- [11] 谢宗万. 中药品种传统经验鉴别“辨状论质”论 [J]. 时珍国药研究, 1994, 5(3): 19-21.
- Xie Z W. On “differentiation of symptoms and quality” in traditional experience identification of traditional Chinese medicine varieties [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 1994, 5(3): 19-21.
- [12] 余钟莲, 李薛萍, 杨莉, 等. 宁夏道地药材枸杞子等级质量标准研究 [J]. 药学学报, 2024, 59(5): 1399-1407.
- Yu Z L, Li X P, Yang L, et al. Grade quality standard development of *Lycium barbarum* fruits from Ningxia genuine producing area [J]. Acta Pharm Sin, 2024, 59(5): 1399-1407.
- [13] 秦雪梅, 孔增科, 张丽增, 等. 中药材“辨状论质”解读及商品规格标准研究思路 [J]. 中草药, 2012, 43(11): 2093-2098.
- Qin X M, Kong Z K, Zhang L Z, et al. Interpretation of “assessing quality by distinguishing TCMM features” and research ideas about commodity specifications [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2012, 43(11): 2093-2098.
- [14] 李东辉, 王临艳, 吴红伟, 等. 基于分光测色仪探析中药质量 [J]. 解放军医药杂志, 2020, 32(11): 109-112.
- Li D H, Wang L Y, Wu H W, et al. Analysis on quality of traditional Chinese medicine based on spectrophotometer [J]. Med Pharm J Chin People's Liberation Army, 2020, 32(11): 109-112.
- [15] 梁敬妮, 李阳, 由金文, 等. 基于“辨状论质”结合熵权法的厚朴药材质量等级研究 [J]. 中国现代中药, 2023, 25(10): 2171-2178.
- Liang J N, Li Y, You J W, et al. Quality grade of *Magnoliae Officinalis Cortex* based on “evaluating quality from morphological characteristic” combined with entropy weight method [J]. Mod Chin Med, 2023, 25(10): 2171-2178.
- [16] 黄成凤, 卢丽洁, 杜金雨, 等. 基于“辨状论质”的金果榄药材性状与主要化学成分的相关性研究 [J]. 中草药, 2025, 56(4): 1366-1376.
- Huang C F, Lu L J, Du J Y, et al. Correlation study of traits and chemical composition of *Tinosporae Radix* based on “quality evaluation through morphological identification” [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2025, 56(4): 1366-1376.
- [17] 王文雪, 都晓伟, 侯冰妍, 等. 基于“辨状论质”理论对南柴胡外观性状与内在质量的相关性研究 [J]. 中国中药杂志, 2023, 48(7): 1815-1823.
- Wang W X, Du X W, Hou B Y, et al. Correlations between appearance traits and internal quality of *Bupleurum scorzonnerifolium* roots based on theory of “quality evaluation through morphological identification” [J]. China J Chin Mater Med, 2023, 48(7): 1815-1823.
- [18] 刘立轩, 张燃, 徐超, 等. 基于“辨状论质”与质量常数的苦杏仁等级评价研究 [J]. 中草药, 2026, 57(8): 3154-3162.
- Liu L X, Zhang R, Xu C, et al. Study on grade evaluation of *Armeniacae Semen Amarum* based on “quality evaluation through morphological identification” and quality constants [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2026, 57(8): 3154-3162.
- [19] 罗群, 刘芑汐, 金红宇, 等. 枸杞子类胡萝卜素类成分指纹图谱的建立及多成分定量研究 [J]. 中国药学杂志, 2026, 61(7): 811-822.
- Luo Q, Liu Y X, Jin H Y, et al. Establishment of carotenoid fingerprint and multi-component quantification in *Lycii Fructus* [J]. Chin Pharm J, 2026, 61(7): 811-822.
- [20] 罗群, 金红宇, 李巍, 等. 枸杞子的 UPLC 指纹图谱建立及多成分含量测定 [J]. 药学前沿, 2026, 30(7): 1123-1131.
- Luo Q, Jin H Y, Li W, et al. Establishment of a UPLC fingerprint and multi-component quantitation method for *Lycii Fructus* [J]. Front Pharm Sci, 2026, 30(7): 1123-1131.
- [21] 石艺婷, 何英杰, 陈芸, 等. 基于 CRITIC 法计算权重系数的枳壳综合品质研究 [J]. 中国现代中药, 2019, 21(5): 598-602, 615.
- Shi Y T, He Y J, Chen Y, et al. Quality evaluation of

- Aurantii Fructus* based on CRITIC method [J]. Mod Chin Med, 2019, 21(5): 598-602, 615.
- [22] 王伟超, 杨智涵, 周靖惟, 等. 基于 AHP-CRITIC 混合加权法优选石决明煅制工艺及其重金属及有害元素健康风险评估 [J]. 中草药, 2026, 57(2): 485-499.
- Wang W C, Yang Z H, Zhou J W, et al. Optimization of calcination processing technology based on AHP-CRITIC mixed entropy method and health risk assessment of heavy metals elements in *Halotidis Concha* [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2026, 57(2): 485-499.
- [23] 李佳佳, 张杏芬, 徐增瑞, 等. 不同产地珍珠透骨草多指标定量及化学计量学联合 CRITIC-TOPSIS 法的质量差异评价 [J]. 中草药, 2026, 57(2): 665-674.
- Li J J, Zhang X F, Xu Z R, et al. Quality difference evaluation of *Speranskia tuberculata* from different producing area by multi-index quantification and chemometrics combined with CRITIC-TOPSIS method [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2026, 57(2): 665-674.

[责任编辑 孙英杰]