DOI:10.13193/j.issn.1673-7717.2026.07.011

基于熵权法和灰色关联法-TOPSIS法对不同产地山楂及其炮制品质量的评价研究

丁泽民,熊辉,洪霞,赵胜男,李艳荣,王玥玥
(承德医学院,河北省中药研究与开发重点实验室,河北 承德 067000)

摘要:目的 旨在利用熵权法和灰色关联法-TOPSIS法建立山楂质量评价模型,评估不同产地山楂及其炮制品(炒品、焦品)的质量差异,为山楂的质量控制提供科学依据。方法 以水分、浸出物、有机酸、多糖得率、总多糖含量及有效成分(绿原酸、金丝桃苷、异槲皮素)为检测指标,采用熵权法计算各指标权重,结合灰色关联法-TOPSIS法对黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、山东等6个产地的山楂及其炮制品进行质量分析。结果 研究发现,炮制过程显著降低了山楂的水分、有机酸、多糖及有效成分含量。生品水分含量为8%~12%,炮制后降至5%~11%;有机酸含量从生品的6%~10.5%降至焦品的4%~7.7%;多糖得率从生品的7%~8.3%降至焦品的4.6%~5.2%;有效成分总量从生品的0.082 7%~0.139 4%降至焦品的0.024 8%~0.069 5%。河北和山东的山楂在多项指标上表现最优,浸出物(生品39%~41%)、有机酸(生品9%~10.5%)及有效成分总量(生品0.13%~0.14%)显著高于其他地区。结论 基于熵权法的灰色关联-TOPSIS质量评价模型,为山楂及其炮制品质量评价提供标准化、定量化工具,助力中药行业山楂质量控制规范化,推动多地区山楂种植产业升级与中药产业链完善。

关键词:山楂;质量评价;熵权法;灰色关联法;TOPSIS法
中图分类号:R284.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-7717(2026)07-0054-07

Evaluation of Quality of Shanzha(Crataegi Fructus) Different Origin and Its Products by Grey Correlation Method and TOPSIS Method Based on Entropy Weight Method

DING Zemin, XIONG Hui, HONG Xia, ZHAO Shengnan, LI Yanrong, WANG Yueyue
(Hebei Province Key Laboratory of Study and Exploitation of Chinese Medicine, Chengde Medical University, Chengde 067000, Hebei, China)

Abstract: *Objective* This research is dedicated to constructing a quality assessment model for Shanzha(Crataegi Fructus) by employing the entropy-weight method in conjunction with the grey-relational-analysis-TOPSIS approach. The objectives are to assess the quality disparities among Shanzha(Crataegi Fructus) and its processed derivatives(stir-fried and scorched products) sourced from diverse regions and to furnish a scientific foundation for the quality control of hawthorn. *Methods* Water content, extract content, organic acid content, polysaccharide yield, total polysaccharide content and active components(chlorogenic acid, hyperoside, and isoquercetin) were selected as detection indices. The entropy-weight method was utilized to determine the weight of each index, and the grey-relational-analysis-TOPSIS method was applied to analyze the quality of Shanzha(Crataegi Fructus) and its processed products from six regions, namely Heilongjiang, Jilin, Liaoning, Inner Mongolia, Hebei and Shandong. *Results* The study revealed that the processing procedures significantly decreased the water content, organic acid content, polysaccharide content and active component contents in Shanzha(Crataegi Fructus). The water content of raw materials ranged from 8% to 12% and dropped to 5%-11% after processing. The organic acid content decreased from 6%-10.5% in raw products to 4%-7.7% in scorched products. The polysaccharide yield decreased from 7%-8.3% in raw materials to 4.6%-5.2% in scorched products. The total active component contents decreased from 0.082 7%-0.139 4% in raw products to 0.024 8%-0.069 5% in scorched products. Shanzha(Crataegi Fructus) from Hebei and Shandong demonstrated superior performance in multiple indices. The extract content(39%-41% in raw products), organic acid content(9%-10.5% in raw products) and total active component content(0.13%-0.14% in raw products) were markedly higher than those in other regions. *Conclusion* The quality evaluation model grounded in the entropy-weight method and the grey-relational-analysis-TOPSIS method offers

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(82104384);河北省高校重点学科建设项目(冀教高〔2013〕4号);河北省高等学校科学技术研究项目(QN2023150);承德医学院高层次人才科研启动项目(202208);承德医学院自然科学研究计划青年基金项目(202513);承德医学院中药药效物质基础青年PI科技创新团队项目(2022)

作者简介:丁泽民(1987-),男,黑龙江大兴安岭人,主治医师、讲师,硕士,研究方向:中西医结合临床,中药药效物质基础。
通讯作者:王玥玥(1989-),女,黑龙江海伦人,讲师,博士,研究方向:中药质量评价及药效物质基础。E-mail:wangyueyue2021@cdmc.edu.cn。
李艳荣(1979-),女,河北滦县人,副教授,硕士,研究方向:中药质量评价。E-mail:liyanrong00001@163.com。

a standardized and quantitative instrument for evaluating the quality of Shanzha(Crataegi Fructus) and its processed products. It contributes to standardizing the quality control of Shanzha(Crataegi Fructus) within the Chinese medicine industry and promotes the upgrading of Shanzha(Crataegi Fructus) planting industries in various regions and the enhancement of the Chinese medicine industry chain.

Keywords: Shanzha (Crataegi Fructus); quality evaluation; entropy - weight method; grey - relational analysis; TOPSIS method

山楂为蔷薇科植物山楂 *Crataegus pinnatifida* Bge. var. majorN. E. Br 或山楂 *Crataegus pinnatifida* Bge. 的干燥成熟果实，在我国分布广泛，是重要的药食同源品种[1]。《本草纲目》记载："山楂，味酸、甘，性微温。消食积，散瘀血，驱绦虫"，这表明山楂在我国传统医学中就有着明确的药用价值[2]。现代药理学研究进一步证实，山楂在抗菌抗炎、调节免疫、抗肿瘤、降血脂、降血压以及促进心肌收缩等方面展现出显著活性，这使得山楂在医药、食品等行业的应用日益广泛[3-5]。

随着山楂市场需求的增长，其质量问题逐渐凸显。山楂品种繁多，不同产地的山楂受自然环境（如气候、土壤质地）、培育方式（种植模式、施肥策略）以及炮制工艺（净制流程、炒制火候、焦制程度）等多种因素影响，在品质与药理活性上存在明显差异[6]。以我国常用的北山楂和野山楂为例，经不同炮制方法制成的净山楂、炒山楂和焦山楂，其所含的黄酮醇苷类（如金丝桃苷、异槲皮苷）、有机酸类（如绿原酸、枸橼酸）、五环三萜类（如齐墩果酸、熊果酸）以及多糖类化合物的含量有所不同，进而导致其功效有所差异[7-8]。其中黄酮醇苷类化合物有抗氧化，扩张冠状心血管，抗炎镇痛，降低血脂，降血压等作用[9-10]；有机酸类化合物有抗炎、抗体外糖化、抑制血小板聚集等作用；萜类化合物有纠正脂代谢、抗肥胖等作用[11-12]；山楂总提取物对肝损伤、焦虑抑郁和癌症具有一定的改善和缓解作用[13-14]。目前，山楂的质量评价面临诸多挑战，一项针对市场上山楂质量的调研发现，不同批次、不同产地的山楂在关键成分含量上差异显著[2]。《中华人民共和国药典》（2020 年版）一部规定了水分、醇浸出物、有机酸含量等检测指标。为进一步全面、精准地评估山楂质量，构建一套科学、全面、有效的山楂质量评价体系成为当务之急。

本研究旨在以水分、醇浸出物、有机酸含量为实验指标，结合多糖得率、总多糖含量和黄酮类化合物等检测指标对山楂进行质量评价。熵权法、灰色关联度法和逼近理想解排序法（Technique for Order Perference by Similarity to an ideal Solution，TOPSIS）在多指标综合评价领域具有独特优势。熵权法计算各指标权重从而减少主观性对决策结果的影响，提高评价结果的客观性和准确性[15]。灰色关联度法能在数据有限或质量欠佳的情况下挖掘数据间的潜在关系，已在多个领域都有广泛应用[16]。TOPSIS 法能将多维问题转换为一维问题，将多个评价指标整合为综合指标，通过与理想解和负理想解的距离比较，科学地评价研究对象的优劣[17]。本研究将熵权法、灰色关联度法及 TOPSIS 法联合应用于中药材质量评价，建立科学有效、简单易行的山楂质量评价模型，多维度剖析山楂的质量，为中药药材饮片质量评价提供新的思路与方法，推动山楂产业朝着规范化、标准化方向发展，保障山楂在医药和食品领域的安全、有效应用。

1 仪器与试剂

1.1 仪器

详见表 1。

表 1 仪器型号及生产厂家

名称	型号	厂家
超高效液相色谱仪	Waters ACQUITY	美国
超声波清洗器	KQ - 700	昆山市超声仪器有限公司
旋转蒸发仪	RE - 52AA	上海亚荣生化仪器厂
高速离心机	ST 1R Plus	德国
高速粉碎机	FW100	天津市泰斯特仪器有限公司
纯水机	ZNB 10 - 40	石家庄泰斯特仪器设备有限公司
电子分析天平	JA5003	天马 - 衡基仪器有限公司
电热恒温鼓风干燥箱	DHG - 9055	上海一恒科学仪器有限公司
紫外可见分光光度计	UV - 2550	日本岛津公司
真空泵	DTC - 22B	日本
数显恒温水浴锅	HH - 2	常州市伟嘉仪器制造有限公司

1.2 试剂

详见表 2。

表 2 对照品及所用试剂信息

对照品	批号	生产厂家
绿原酸	110753 - 201817	成都普菲得生物科技有限公司
异槲皮素	18062702	成都普菲得生物科技有限公司
金丝桃苷	19103001	成都普菲得生物科技有限公司
酚酞指示液	20240308	天津市科密欧化学试剂有限公司
0.1 mol/L 氢氧化钠滴定液	20240314	天津市科密欧化学试剂有限公司
甲醇（色谱纯）	080112	Fisher 科技有限公司
水	屈臣氏饮用水	广州屈臣氏食品饮料有限公司
乙腈（色谱纯）	20240401	Fisher 科技有限公司
苯酚（分析纯）	20220328	天津市科密欧化学试剂有限公司
硫酸	20240308	天津市科密欧化学试剂有限公司
葡萄糖（分析纯）	20230713	天津市科密欧化学试剂有限公司
甲酸	CAS64 - 18 - 6	美国 ROE

1.3 样品信息

详见表 3。

表 3 样品产地信息

编号	产地	编号	产地
A1	黑龙江	D1	内蒙古
A2	黑龙江	D2	内蒙古
A3	黑龙江	D3	内蒙古
B1	吉林	E1	河北
B2	吉林	E2	河北
B3	吉林	E3	河北
C1	辽宁	F1	山东
C2	辽宁	F2	山东
C3	辽宁	F3	山东

2 实验方法

2.1 山楂的炮制

取适量净山楂至炒制容器内，用中火加热，炒至颜色加深，取出晾凉，筛去碎屑，即得炒山楂。

2.2 色谱条件

Waters ACQUITY UPLC® HHS T_3 1.8 μm色谱柱;流动相A为0.1%甲酸水,B为乙腈;柱温30 ℃;检测波长340 nm;进样体积5 μL;流速0.3 mL/min。设置梯度洗脱程序。详见表4。

表4 梯度洗脱程序

时间/(min)	0.1%甲酸水	乙腈
0	90.0	10.0
18.00	76.0	24.0
24.00	5.0	95.0
24.10	90.0	10.0
30.00	90.0	10.0

2.3 溶液的制备

2.3.1 对照品溶液的制备 精密称取适量标准品绿原酸、金丝桃苷、异槲皮素,加入甲醇溶解,制成对照品母液,其中含有绿原酸0.31 mg/mL、异槲皮素0.50 mg/mL、金丝桃苷0.51 mg/mL。

2.3.2 混合对照品的配置 分别精密吸取“2.3.1”中所制对照品母液适量配制成系列混合对照品溶液。

2.3.3 供试品溶液的配制 精密称取过6号筛的山楂粉末1.0 g置于锥形瓶中,精密加入50%甲醇25 mL,密塞称重,超声1 h,冷却后称重,用50%甲醇补足质量,摇匀,离心15 min,浓缩上清液,冷却后置10 mL量瓶中,用50%甲醇定容至刻度,过滤,得供试品溶液。

2.4 方法学考察

2.4.1 专属性考察 将除山楂生品及其炮制品外所需的溶剂,依照“2.3.3”项下规定的方法进行处理,得到山楂及其炮制品的阴性对照溶液,取阴性对照溶液5 μL,于“2.2”项下规定的色谱条件下进样,记录色谱图。

2.4.2 加样回收率试验 精密称取4份相同批次的山楂样品约1 g,都加入混合对照品,依照“2.3.3”项下供试品处理方法对其进行处理,“2.2”项下的色谱条件进行检测分析,计算得出各有效化学成分的加样回收率。

2.4.3 精密度试验 取相同批次的山楂样品,按“2.3.3”项下供试品的处理方法对其进行处理,并在“2.2”的色谱条件下重复进样6次,按回归曲线计算得各有效成分峰面积的RSD值。

2.4.4 线性关系考察 取“2.3.2”项下的混合对照品溶液稀释成不同浓度的1、2、3、4、5、6号溶液。按“2.2”项下的色谱条件进行分析,分别进样10 μL,记录色谱图,设绿原酸、金丝桃苷、异槲皮素的质量浓度为横坐标(X),峰面积为纵坐标(Y),绘制标准曲线,计算回归方程。

2.4.5 稳定性试验 取相同批次的山楂样品,依照“2.3.3”项下供试品处理方法对其进行处理,“2.2”色谱条件下进样分析,并在0、3、6、9、12、24 h进样检测,利用峰面积计算得回归曲线。

2.5 水分、浸出物测定

依据2020年版《中华人民共和国药典》一部山楂项下规定的水分测定方法和浸出物测定方法。

2.6 有机酸含量测定

精密称定山楂细粉约1.01 g,精密加入水100 mL,室温下浸泡4 h,超声15 min,滤过;精密量取续滤液25 mL,加水50 mL,加酚酞指示液2滴,用0.1 mol/L氢氧化钠滴定液滴定,即得(每1 mL氢氧化钠滴定液相当于6.404 mg得枸橼酸)。

2.7 多糖得率测定

取山楂细粉约2 g,以10倍量80%乙醇提取2次。每次2 h;药渣晾干再加水50 mL,水加热回流1 h,抽滤减压浓缩后加入95%乙醇醇沉,静置24 h后抽滤,所得固体即为山楂粗多糖,烘干,称定质量,计算多糖得率。

2.8 总多糖含量测定

葡萄糖标准品测定:精密称取50 mg无水葡萄糖标准品,制备成0.1 mg/mL葡萄糖标准品溶液,精密量取0、0.1、0.2、0.3、0.4 mL葡萄糖标准品溶液于具塞试管,定容至1 mL,使用苯酚-硫酸法测各溶液吸光度值,以葡萄糖含量为横坐标(X),吸光度值为纵坐标(Y),绘制标准曲线,计算得回归方程。

样品总多糖含量测定:称取一定质量的粗多糖配制溶液,按照苯酚-硫酸法测定A值,由标准曲线回归方程计算供试液中葡萄糖浓度,按公式(1)计算样品中总多糖的含量。

$$总多糖含量 = C_1 \times D_1 / W \quad (1)$$

C_1为供试液中葡萄糖浓度,D_1为稀释因素,W为供试样品的质量。

2.9 有效成分含量测定

称取不同产地的净山楂、炒山楂及焦山楂适量,依照“2.3.3”项下供试品处理方法对其进行处理,按照“2.2”项下选定的色谱条件进样检测,测得各成分峰面积,记录数据并代入回归曲线,计算山楂的有效成分含量。

3 结果与分析

3.1 方法学考察结果

3.1.1 专属性考察 阴性样品溶液测定结果表明在此色谱条件下,阴性样品溶液在绿原酸、金丝桃苷、异槲皮素的相对保留时间处未检测出色谱峰,证明本方法专属性良好。详见图1-

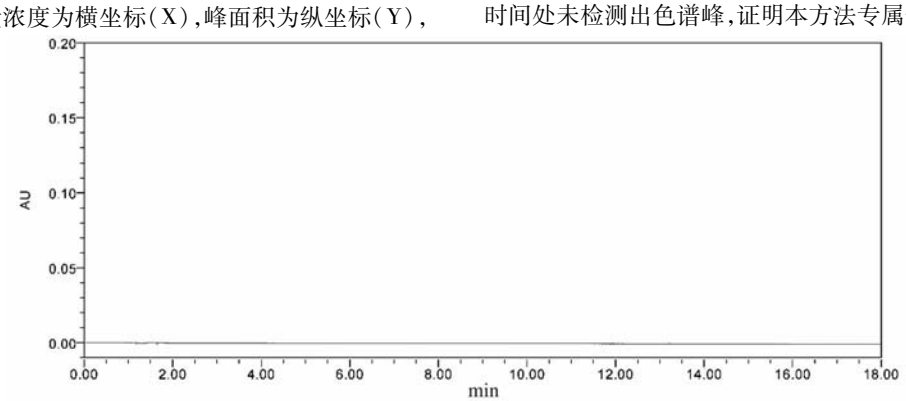


图1 阴性样品溶液色谱图

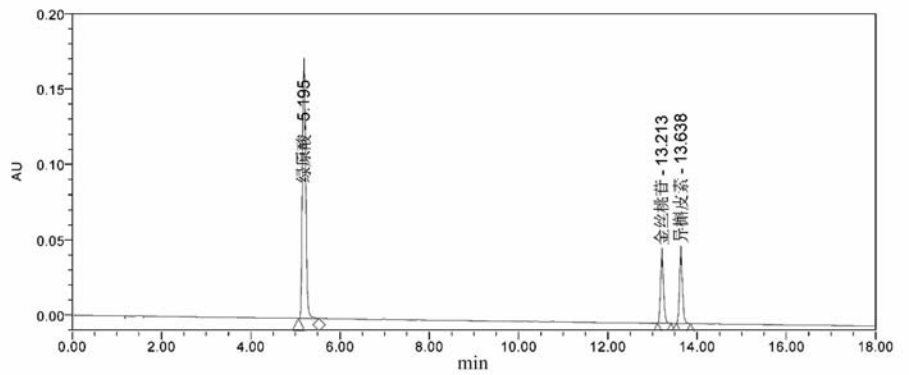


图 2 混合对照品溶液色谱图

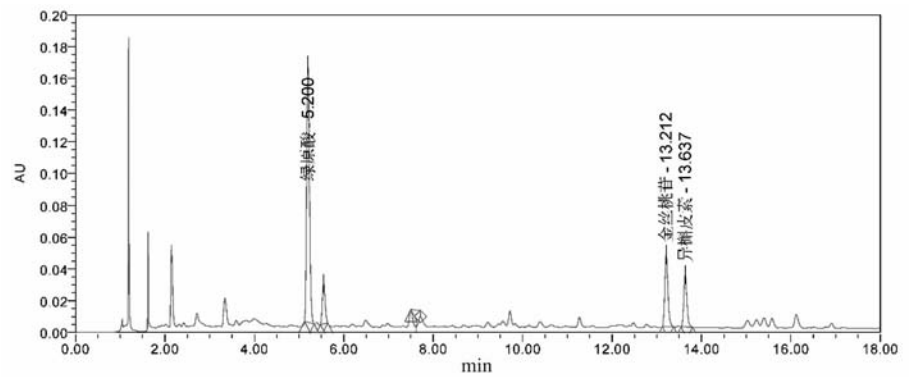


图 3 净山楂及其炮制品混合供试品溶液色谱图

图 3、表 5 – 表 6。

表 5 混合对照品溶液峰结果

色谱峰名称	保留时间/(min)	面积/(μV×s)	分离度	USP 理论塔板数
绿原酸	5.195	889 735		2.336 961e+004
金丝桃苷	13.213	213 962	5.958 808e+001	1.694 112e+005
异槲皮素	13.638	219 826	3.343 109e+000	1.828 663e+005

表 6 净山楂及其炮制品混合供试品溶液峰面积

色谱峰名称	保留时间/(min)	面积/(μV×s)	分离度	USP 理论塔板数
绿原酸	5.200	715 831		3.172 583e+004
金丝桃苷	13.212	222 280	2.908 430e+001	1.721 589e+005
异槲皮素	13.637	159 233	3.379 234e+000	1.864 305e+005

3.1.2 *加样回收率试验* 表 7 展示了绿原酸、异槲皮素和金丝桃苷的加样回收率实验结果，其 RSD 为 1.67%，根据统计分析，证明该方法准确度高。

3.1.3 *精密度试验* 由表 8 可知，在对绿原酸、金丝桃苷和异槲皮素的峰面积进行测定时，所获得的 RSD≤3%，表明仪器的精密度良好。

3.1.4 *线性关系考察* 表 9 所示回归分析数据分别为绿原酸、金丝桃苷、异槲皮素，证明该方法的线性关系良好。

3.1.5 *稳定性试验* 由表 10 可知，绿原酸、异槲皮素、金丝桃苷的峰面积 RSD <3%，证明本实验采用的分析方法有良好的稳定性。

3.2 *水分、浸出物测定结果*

表 11 中生山楂样品的水分及浸出物含量测定结果显示，其水分含量为 6% ~12%，浸出物含量在 35% ~41%。其中河北和山东地区的生山楂样品中水分含量较其他地区少，浸出物含量较其他地区高。山楂的炮制品中水分含量在 5% ~11%，浸出物含量在 29% ~40%，二者相比生山楂含量有所减低，但浸出物含量变化更为明显。山楂炮制品中黑龙江、吉林、内蒙古水分含量普遍高于其他产地，且焦山楂中三地浸出物含量较为平均。

表 7 加样回收率考察

浓度	有效成分	取样量/(g)	含量/(mg)	对照品加入量/(mg)	测定结果/(mg)	回收率/(%)	RSD/(%)
1	绿原酸	20.01	3.047	2.021	5.070	100.10	1.67
	金丝桃苷		1.091	1.023	2.084	97.07	
	异槲皮素		0.940	1.004	1.953	100.90	
2	绿原酸	20.03	3.079	3.002	6.093	100.40	
	金丝桃苷		1.104	1.501	2.582	98.47	
	异槲皮素		0.926	1.503	2.391	97.47	
3	绿原酸	20.03	3.074	4.006	6.876	97.40	
	金丝桃苷		1.107	2.007	3.010	96.56	
	异槲皮素		0.943	2.010	2.895	97.11	

表 8 精密度考察

指标	1	2	3	4	5	6	RSD/(%)
绿原酸	760.247	703.587	703.170	700.901	705.433	702.978	0.03
金丝桃苷	141.098	236.197	235.229	227.670	228.917	226.967	0.17
异槲皮素	203.765	169.218	167.733	165.273	164.364	160.822	0.09

3.3 *有机酸含量测定结果*

如表 12 数据所示，山楂生品的有机酸含量普遍高于炮制品，含量在 6% ~11%。炮制品中河北、山东产地的有机酸含量较高；总体含量趋势为河北 > 山东 > 黑龙江 > 吉林 > 内蒙古 > 辽宁。

3.4 *多糖得率结果*

由表 13 可以看出，各产地生山楂及其炮制品多糖得率整

表 9 绿原酸、金丝桃苷、异槲皮素线性关系

指标	回归方程	R	线性范围/(mg/mL)
绿原酸	Y = 14 319X - 87.17	0.995 9	0.034 9 ~ 0.174 5
金丝桃苷	Y = 15 134X - 75.56	0.993 5	0.012 6 ~ 0.045 9
异槲皮素	Y = 13 018X - 31.13	0.982 4	0.012 4 ~ 0.045 0

表 10 稳定性实验结果

指标	0	3 h	6 h	9 h	12 h	24 h	RSD/(%)
绿原酸	704.053	701.736	701.632	700.281	704.652	702.526	0.23
金丝桃苷	236.231	235.858	235.127	234.819	231.775	232.221	0.81
异槲皮素	168.128	168.854	167.483	167.117	166.229	166.534	0.59

表 11 山楂生品及其炮制品各 18 批次水分、浸出物含量测定结果

单位:%

产地	生品		炒品		焦品	
	水分	浸出物	水分	浸出物	水分	浸出物
A1	10.088 9	35.761 0	9.810 2	30.434 8	8.096 8	30.139 0
A2	11.877 9	39.130 4	10.145 2	30.297 2	8.093 6	30.168 9
A3	9.121 8	38.388 2	8.130 8	31.791 6	8.065 2	30.124 1
B1	11.484 9	39.059 5	10.528 8	36.648 7	8.094 5	29.533 2
B2	10.880 9	38.644 2	9.749 0	33.317 2	8.677 4	29.576 8
B3	10.745 1	37.955 2	8.518 1	31.440 0	8.499 0	29.489 7
C1	11.750 5	38.189 7	6.763 3	31.240 9	6.487 0	30.762 4
C2	9.725 3	36.292 7	6.689 3	36.050 0	6.429 5	30.761 8
C3	11.615 9	37.717 4	7.280 6	30.624 2	6.365 6	30.762 6
D1	10.418 1	37.930 7	8.953 9	34.643 7	7.231 1	30.562 7
D2	9.948 1	36.946 3	8.260 9	32.703 5	8.059 6	30.562 5
D3	9.884 0	38.300 9	8.305 9	34.106 6	7.893 5	30.561 1
E1	7.313 3	40.377 9	7.040 2	37.309 0	6.211 8	33.564 4
E2	6.849 1	38.439 4	6.116 1	36.860 4	5.174 8	33.563 4
E3	6.985 1	39.237 4	5.938 8	35.809 1	5.421 4	33.564 4
F1	8.043 4	38.390 2	6.528 9	32.967 0	6.231 6	31.617 3
F2	7.326 8	38.856 6	7.143 0	35.039 8	6.541 9	31.611 8
F3	8.307 8	39.170 2	6.342 3	35.566 5	5.607 7	31.617 8

表 12 山楂生品及其炮制品各 18 批次有机酸含量测定结果

单位:%

产地	生品	炒品	焦品
A1	7.663 3	6.601 6	5.521 9
A2	8.488 8	7.689 9	6.524 8
A3	7.691 8	6.697 9	5.549 9
B1	7.029 0	6.548 4	5.338 9
B2	6.230 5	5.517 5	4.397 5
B3	6.526 2	5.698 0	4.447 6
C1	6.591 9	5.264 2	4.132 8
C2	6.718 4	5.191 7	4.190 3
C3	6.693 8	5.290 8	4.172 9
D1	7.011 1	6.138 0	5.302 1
D2	6.922 1	5.373 2	4.046 4
D3	6.701 9	5.388 2	4.286 6
E1	9.691 9	8.732 5	7.630 1
E2	9.784 2	8.743 8	7.659 4
E3	10.548 4	8.720 0	7.661 8
F1	9.548 9	8.681 5	7.387 3
F2	9.528 7	8.687 1	7.241 9
F3	9.346 7	8.541 3	7.265 6

体保持在 4% ~ 8%。河北地区的山楂生品山楂多糖得率最高,山东和内蒙古地区次之,黑龙江地区多糖得率最低。不同地区不同批次的山楂经不同程度的炮制后,多糖得率有一定程度的降低。

3.5 总多糖含量结果

由表 13 可得,各产地山楂及其炮制品总多糖含量在9% ~ 21%。生山楂总多糖含量高于其炮制品含量,山楂经炮制处理后总多糖含量有所下降。

表 13 山楂生品及其炮制品各 18 批次多糖得率及总多糖含量结果

单位:%

产地	生品		炒品		焦品	
	多糖得率	总多糖含量	多糖得率	总多糖含量	多糖得率	总多糖含量
A1	7.088 9	18.761 0	5.810 2	14.434 8	4.906 8	10.139 0
A2	7.877 9	17.130 4	6.145 2	13.297 2	4.903 6	10.168 9
A3	7.121 8	18.388 2	6.130 8	11.791 6	4.605 2	10.124 1
B1	7.484 9	19.059 5	6.328 8	15.648 7	4.904 5	9.533 2
B2	7.880 9	18.644 2	5.749 0	13.317 2	4.677 4	9.576 8
B3	7.745 1	17.955 2	6.518 1	11.440 0	4.899 0	9.489 7
C1	7.750 5	19.189 7	5.763 3	11.240 9	4.787 0	10.762 4
C2	7.725 3	18.292 7	6.389 3	16.050 0	4.829 5	10.761 8
C3	7.615 9	18.717 4	6.280 6	12.624 2	4.765 6	10.762 6
D1	7.418 1	18.930 7	6.253 9	14.643 7	4.831 1	10.562 7
D2	7.948 1	16.946 3	6.260 9	12.703 5	4.659 6	10.562 5
D3	7.884 0	19.300 9	6.305 9	14.106 6	4.893 5	10.561 1
E1	8.313 3	20.377 9	6.440 2	15.309 0	4.911 8	13.564 4
E2	7.849 1	19.839 4	6.416 1	16.860 4	5.174 8	13.563 4
E3	7.985 1	20.237 4	6.421 4	15.809 1	4.938 8	13.564 4
F1	8.043 4	20.390 2	6.428 9	14.967 0	4.931 6	11.617 3
F2	7.326 8	19.856 6	6.343 1	15.039 8	4.941 9	11.611 8
F3	7.307 8	20.170 2	6.442 3	15.566 5	4.907 7	11.617 8

3.6 有效成分含量测定结果

如表 14 - 表 16 数据所示,不同产地的山楂饮片无论生品还是炒品的有效成分检测指标中都是绿原酸含量最高,金丝桃苷次之,异槲皮素最少,焦品的有效成分检测指标中绿原酸含量仍居首位,但异槲皮素含量有的地区较金丝桃苷含量高,与生品和炒品中有效成分检测指标含量排序不一致。黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古四地山楂绿原酸、金丝桃苷、异槲皮素及有效成分总量整体随炮制加深呈下降趋势;其中吉林、辽宁、内蒙古三地变化规律为生品 > 炒品 > 焦品,黑龙江地区略有差异,变化趋势为生品 > 焦品 > 炒品,说明山楂经炮制后绿原酸、金丝桃苷、异槲皮素和有效成分总量下降;河北和山东两地的异槲皮素和有效成分总量指标变化趋势相同,分别是炒品 > 生品 > 焦品和生品 > 炒品 > 焦品,说明该地区的山楂随着炮制程度的加深,异槲皮素的含量先增加后减少;山东地区的山楂绿原酸、金丝桃苷含量占比均为生品 > 炒品 > 焦品;内蒙古和河北两地山楂的金丝桃苷含量变化趋势相同,均为炒品 > 生品 > 焦品,这说明两地山楂随着炮制程度的加深,金丝桃苷的含量先增加后减少。此外,无论是山楂生品还是其炮制品,河北和山东两地的山楂有效成分含量均较其他地区高。

3.7 数据分析

3.7.1 熵权法计算权重 构建山楂质量评价矩阵 X_{ij}(i = 1, 2, ……, n; j = 1, 2, ……, m; n = 6, m = 6)。6 个指标中的水分为负向检测指标。对原始数据进行同向化处理,可得同向化矩阵 X'_{ij},再计算同向化矩阵 X'_{ij} 中各检测指标的信息熵(e_j)和权重(w_j)。信息熵反映了指标的离散程度,熵越大,指标的离散程

度越小,指标对于决策的重要值,即权重越小。

表 14 山楂生品的各产地有效成分含量 单位:%

生品	绿原酸	金丝桃苷	异槲皮素	有效成分总量
黑龙江	0.051 2	0.028 6	0.016 7	0.096 5
吉林	0.041 3	0.025 8	0.015 6	0.082 7
辽宁	0.045 2	0.023 4	0.016 2	0.084 8
内蒙古	0.055 3	0.020 7	0.017 1	0.091 1
河北	0.081 6	0.038 5	0.019 3	0.139 4
山东	0.078 4	0.033 4	0.018 2	0.130 0

表 15 山楂炒品的各产地有效成分含量 单位:%

炒品	绿原酸	金丝桃苷	异槲皮素	有效成分总量
黑龙江	0.028 4	0.012 1	0.011 3	0.051 8
吉林	0.027 8	0.016 4	0.013 0	0.057 2
辽宁	0.022 9	0.010 6	0.009 7	0.043 2
内蒙古	0.046 6	0.021 5	0.012 1	0.080 2
河北	0.060 5	0.039 8	0.026 9	0.127 2
山东	0.055 2	0.031 8	0.024 8	0.111 8

表 16 山楂焦品的各产地有效成分含量 单位:%

焦品	绿原酸	金丝桃苷	异槲皮素	有效成分总量
黑龙江	0.017 7	0.008 9	0.007 1	0.033 7
吉林	0.026 0	0.004 2	0.006 6	0.036 8
辽宁	0.017 5	0.002 4	0.005 0	0.024 8
内蒙古	0.022 1	0.002 4	0.005 0	0.029 5
河北	0.038 5	0.018 9	0.012 1	0.069 5
山东	0.033 4	0.015 7	0.012 6	0.061 7

从表 17 可知生山楂指标权重大小为有效成分总量 > 水分 > 有机酸 > 总多糖含量 > 多糖得率 > 浸出物;炒山楂指标权重大小为有效成分总量 > 有机酸 > 水分 > 总多糖含量 > 浸出物 > 多糖得率;焦山楂指标权重大小为有效成分总量 > 水分 > 有机酸 > 总多糖含量 > 多糖得率 > 浸出物。

3.7.2 灰色关联度法计算各指标相对关联度 对同向化矩阵 X'_{ij}($i=1,2,\cdots\cdots,n$;$j=1,2,\cdots\cdots,m$;$n=6$,$m=6$)依照公式(2)进行标准化处理为标准化矩阵 Y_{ij}。计算与最佳参考序列的加权关联度(r_s)和最差参考序列的加权关联度(r_t)以及它们的相对关联度(r_i),计算结果见表 18。

$$Y_{ij} = X_{ij}/X_j \quad (2)$$

表 17 山楂生品及其炮制品信息熵及权重 单位:%

山楂	有效成分总量	水分	浸出物	多糖得率	总多糖含量	有机酸
e_j(生品)	0.987 6	0.991 0	0.999 9	0.999 8	0.999 4	0.991 8
w_j(生品)	0.408 7	0.295 6	0.002 9	0.006 5	0.017 2	0.268 7
e_j(炒品)	0.956 4	0.992 5	0.999 2	0.999 9	0.998 5	0.988 6
w_j(炒品)	0.671 6	0.115 4	0.011 8	0.002 1	0.023 6	0.175 3
e_j(焦品)	0.958 7	0.993 4	0.999 5	0.999 9	0.996 2	0.984 5
w_j(焦品)	0.408 7	0.295 6	0.002 9	0.006 5	0.017 2	0.268 7

3.7.3 TOPSIS 法计算贴进度 计算评价对象与 Positive and negative ideal solution 之间的 Euclidean distance(D^+、D^-)以及评价对象与 Optimal solution 的相对贴近程度(C_i),结果见表 19。

3.7.4 熵权 - 灰色关联 - TOPSIS 法计算综合贴进度 灰色关联法对方案与理想解的几何相似程度排序,TOPSIS 法对评价对象和理想解距离的接近程度排序。以熵权法计算权重,对上述 2 个模型数据进行权重矫正,使得重要指标在评价模型中的作用更加凸显,令评价模型更加客观科学,对 2 个模型加权计算处理得出综合贴进度(T_i)。综合贴进度越大,证明评价对象越优。通过比较山楂生品及炮制品的综合贴进度得出二者之间的优劣次序,从而判断本研究中所用 6 个不同产地山楂的综合排序,结果见表 20。

4 讨论

山楂因其药食两用之性,不仅在临床上被广泛应用,也常被制成其他食品供人们食用或是用作日常保健品[18-20]。水分含量影响山楂的储存稳定性,过高易致霉变,过低则可能改变其特性;浸出物含量反映了有效成分的丰富程度,与药效紧密相关;有机酸具备抗炎、抑制血小板聚集等生理活性,其含量是衡量山楂质量的关键因素;多糖类成分的免疫调节、抗氧化等作用显著,测定其得率和总含量有助于评估山楂的营养保健价值;绿原酸、金丝桃苷、异槲皮素等有效成分直接关系到山楂抗

表 18 山楂生品及其炮制品各产地加权关联度及相对关联度

产地	生品			炒品			焦品		
	r_s	r_t	r_i	r_s	r_t	r_i	r_s	r_t	r_i
黑龙江	0.099 5	0.033 6	0.747 3	0.128 7	0.083 3	0.610 8	0.116 4	0.084 7	0.578 9
吉林	0.060 5	0.050 3	0.692 9	0.124 0	0.083 3	0.602 3	0.118 1	0.083 3	0.586 5
辽宁	0.130 3	0.056 0	0.684 8	0.164 0	0.068 7	0.708 0	0.162 0	0.069 4	0.700 1
内蒙古	0.119 1	0.027 4	0.812 8	0.103 3	0.090 1	0.541 1	0.137 4	0.076 0	0.643 8
河北	0.092 7	0.122 1	0.431 4	0.075 4	0.157 8	0.323 3	0.074 2	0.159 7	0.317 2
山东	0.099 5	0.050 0	0.630 5	0.079 7	0.133 2	0.386 7	0.079 1	0.127 7	0.382 6

表 19 山楂生品及其炮制品各 18 批 D^+、D^- 及相对贴近程度(C_i)

产地	生品			炒品			焦品		
	D^+	D^-	C_i	D^+	D^-	C_i	D^+	D^-	C_i
黑龙江	0.088 2	0.043 8	0.331 7	0.167 9	0.045 4	0.212 7	0.149 6	0.061 3	0.290 5
吉林	0.098 5	0.000 7	0.007 2	0.165 1	0.054 7	0.248 8	0.147 3	0.066 6	0.311 3
辽宁	0.097 6	0.013 6	0.122 1	0.173 3	0.014 9	0.079 1	0.161 2	0.011 9	0.068 8
内蒙古	0.092 8	0.033 0	0.262 2	0.144 4	0.097 0	0.401 9	0.156 5	0.040 6	0.206 0
河北	0.000 0	0.098 5	1.000 0	0.000 0	0.173 9	1.000 0	0.000 0	0.161 6	1.000 0
山东	0.047 6	0.086 2	0.644 0	0.086 9	0.150 7	0.634 2	0.078 5	0.141 3	0.642 9

表 20 山楂生品及其炮制品各产地综合贴进度(T_i)

产地	生山楂		炒山楂		焦山楂		综合排序
	T_i	排序	T_i	排序	T_i	排序	
黑龙江	0.539 5	3	0.411 8	5	0.434 7	4	4
吉林	0.350 0	6	0.425 6	4	0.448 9	3	5
辽宁	0.403 4	5	0.393 5	6	0.384 5	6	6
内蒙古	0.537 5	4	0.471 5	3	0.424 9	5	3
河北	0.715 7	1	0.661 7	1	0.658 6	1	1
山东	0.637 3	2	0.510 5	2	0.512 7	2	2

氧化、扩张心血管等药理作用,其含量是评价山楂药用质量的核心指标。

近年来,随着研究者们将目光转向山楂的炮制品,对炒山楂、焦山楂的化学成分提取及药理作用的研究取得了显著进展,他们的品质优劣直接影响临床应用的疗效[21]。炮制对山楂质量影响显著,炮制后其水分、有机酸、多糖及有效成分含量均有所下降,这可能改变其药理活性和临床疗效[22]。因此,精准控制炮制工艺参数十分关键。通过多指标综合分析,产地和炮制对山楂质量的影响清晰呈现。后续可进一步研究不同炮制条件对山楂成分的影响,优化工艺,实现炮制标准化和规范化。因此,建立一种简单、全面且科学的药材及饮片的质量评价方法,对于准确评估中药质量、确保临床疗效至关重要[23-24]。

本研究通过对不同产地不同批次炮制前后山楂进行质量评价,联合使用熵权法、灰色关联度法和 TOPSIS 法进行中药材质量评价。通过建立数学模型排除主观干扰,简便直观地对山楂质量进行评估。在今后研究中,可从多方面进行拓展,纳入多基原药材及饮片的分级方法[25],对山楂进行全方面评价,筛选产地、品种、炮制工艺等多项因素对山楂质量的影响,从而增强临床用药安全性和有效性,促进其资源的合理开发与利用,助力中药现代化发展。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部 [S]. 北京: 中国医药科技出版社,2020.
[2] 贾彬,麦子盈,陈启文,等. 山楂药用价值与上市药品研究进展[J]. 中草药,2023,54(20):6878-6888.
[3] CUI M,CHENG L,ZHOU Z Y,et al. Traditional uses,phytochemistry,pharmacology,and safety concerns of hawthorn (Crataegus genus): A comprehensive review[J]. Journal of Ethnopharmacology,2023,319(P2):117229.
[4] 董嘉琪,陈金鹏,龚苏晓,等. 山楂的化学成分、药理作用及质量标志物(Q-Marker)预测[J]. 中草药,2021,52(9):2801-2818.
[5] HAO P,YANG X,YIN W,et al. A study on the treatment effects of Crataegus pinnatifida polysaccharide on non-alcoholic fatty liver in mice by modulating gut microbiota [J]. Frontiers in Veterinary Science,2024,11: 1383801.
[6] 杨璐嘉,张传洋,王丽娟,等. HPLC-CAD 分离测定山楂不同炮制品中熊果酸和齐墩果酸[J]. 中药与临床,2023,14(4):34-36,41.
[7] 李春峰,赵子璇,刘桂艳. 山楂主要成分提取分离及检测分析研究进展[J]. 中成药,2022,44(9):2929-2934.
[8] SUN Y,MENG X,CHEN M,et al. Isolation,structural properties and bioactivities of polysaccharides from Crataegus pinnatifida [J]. Journal of Ethnopharmacology,2024,323: 117688.
[9] 周家谭,卢健棋,罗文宽,等. 山楂防治心血管疾病作用机制实验研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报,2023,25(6):69-73.
[10] 何佳,卢秉久. 基于现代文献的中药复方防治脂肪肝用药规律探究[J]. 辽宁中医杂志,2016,43(7):1364-1367.
[11] 刘童,陈雪,张强,等. 四种不同炮制方法对山楂中 7 种成分变化的影响[J]. 中国药师,2022,25(5):922-926.
[12] 黄昊枭,杨莺,刘宁. 山楂提取物基于调控 TBX21、GATA-3 因子对血脂异常小鼠 Th1、Th2 细胞亚群的影响[J]. 中华中医药学刊,2024,42(12):40-46.
[13] KIM E,JANG E Y,LEE J H. Potential roles and key mechanisms of hawthorn extract against various liver diseases[J]. Nutrients,2022,14(4):867.
[14] KEREN N,DEKEL D,MOTTY F,et al. Anxiolytic and antidepressants' effect of Crataegus pinnatifida (Shan Zha): biochemical mechanisms[J]. Translational Psychiatry,2022,12(1):208.
[15] 史丛晶,白浩东,李雨昕,等. 基于熵权法结合灰色关联法和 TOPSIS 法的不同产地知母及盐知母质量评价研究[J]. 中国现代应用药学,2023,40(7):873-880.
[16] 井亚江,黄建萍,王七龙,等. 基于熵权 TOPSIS 法和灰色关联度分析筛选桔梗最佳采收期[J]. 中国现代应用药学,2024,41(9):1229-1237.
[17] 徐建华,周虹,李志明,等. 基于一测多评结合化学模式识别法及加权 TOPSIS 与灰色关联度融合模型评价不同产地凤尾草的质量[J]. 中草药,2024,55(19):6738-6748.
[18] 罗蕾,尹诗晴,张文凯,等. 中医药治疗原发性肥胖相关信号通路的研究进展[J/OL]. 辽宁中医杂志,1-9[2026-01-05].
[19] JING Y S,YAN M,LIU D B,et al. Research progress on the structural characterization,biological activity and product application of polysaccharides from Crataegus pinnatifida[J]. Int J Biol Macromol,2023,244: 125408.
[20] 胡慧明,翁家俊,朱彦陈,等. 基于数据挖掘的《中医方剂大辞典》含山楂组方用药规律研究[J]. 中国现代应用药学,2021,38(21): 2713-2720.
[21] GAO L L,ZHONG L,WEI Y H,et al. A new perspective in understanding the processing mechanisms of traditional Chinese medicine by near-infrared spectroscopy with Aquaphotomics[J]. J Mol Struct,2023,1284: 135401.
[22] 孙飞,吴相亲,戚悦,等. 基于偏最小二乘算法探究山楂和焦山楂消食健脾功效成分[J]. 中国中药杂志,2023,48(4): 958-965.
[23] 汪祺,赵宇新,顾杰,等. 基于炮制建立反映中药饮片质量特点的中药标准[J]. 中国药学杂志,2025,60(2): 114-120.
[24] 赵宇新,顾杰,汪祺,等. 关于构建符合中医药特点中药标准的思考与建议[J]. 中国药学杂志,2025,60(2): 130-137.
[25] 刘思燚,宋菊,唐溱,等. 关于按古代经典名方目录管理的中药复方制剂药材和饮片研究的思考[J]. 中国中药杂志,2025,50(10): 2883-2887.