

基于一测多评多指标定量结合化学模式识别及 CRITIC-TOPSIS 分析的不同产地蕤仁质量评价

杜 煜^{1,2}, 姚 佳^{1,2}, 倪礼礼^{1,2}, 王 刚³, 王晓波⁴

1. 洛阳职业技术学院食品与药品学院, 河南 洛阳 471000

2. 河南省地标药材与生命健康工程研究中心, 河南 洛阳 471099

3. 郑州韩都药业集团有限公司 质量检测中心, 河南 郑州 451150

4. 河南中医药大学药学院, 河南 郑州 450046

摘 要: 目的 建立蕤仁 *Prinsepiae nux* 饮片多指标定量检测方法, 结合化学模式识别及 CRITIC (criteria importance though intercriteria correlation) -逼近理想解排序 (technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS) 法评价不同产地蕤仁饮片质量。方法 采用高效液相色谱法, 以槲皮素、 β -谷甾醇为内参物, 分别计算没食子酸、原儿茶酸、香草酸、山柰酚与槲皮素, 熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、胡萝卜苷与 β -谷甾醇的相对校正因子, 对蕤仁饮片中 10 个成分进行定量检测; 同时检测醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分含量。采用化学模式识别以及 CRITIC-TOPSIS 法评价不同产地蕤仁饮片质量。结果 外标法方法学验证结果良好; 各相对校正因子重复性良好; 外标法与一测多评 (quantitative analysis of multi-components by single marker, QAMS) 法计算结果无明显差异 ($P>0.05$)。主成分分析 (principal component analysis, PCA) 结果显示不同产地 16 批蕤仁饮片分成 3 类; 正交偏最小二乘法-判别分析 (orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA) 结果显示没食子酸、槲皮素、 β -谷甾醇、熊果酸、委陵菜酸、齐墩果酸和山柰酚变量重要性投影值均 >1 , 是区分不同产地蕤仁饮片质量的差异性标志物; CRITIC-TOPSIS 分析结果显示, 法 16 批蕤仁饮片综合质量评价指标的相对贴近度为 0.407 2~0.593 5, 其中陕西、甘肃和山西产蕤仁饮片排名靠前, 样品质量较优。结论 通过建立蕤仁饮片中多指标定量, 结合化学模式识别及 CRITIC-TOPSIS 分析评价了不同产地蕤仁饮片质量, 为蕤仁饮片质量标准的研究及其质量标志物的研究提供参考。

关键词: 蕤仁; 一测多评法; 化学模式识别; CRITIC; 逼近理想解排序法; 没食子酸; 原儿茶酸; 香草酸; 山柰酚; 槲皮素; 熊果酸; 齐墩果酸; 委陵菜酸; 胡萝卜苷

中图分类号: R286.2

文献标志码: A

文章编号: 0253-2670(2025)18-6773-11

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.18.026

Quality evaluation of *Prinsepiae nux* from different habitats based on QAMS multi-index quantification combined with chemical pattern recognition method and CRITIC-TOPSIS analysis

DU Yu^{1,2}, YAO Jia^{1,2}, NI Lili^{1,2}, WANG Gang³, WANG Xiaobo⁴

1. College of Food and Drug, Luoyang Polytechnic, Luoyang 471000, China

2. Henan Provincial Landmark Medicinal Materials and Life Health Engineering Research Center, Luoyang 471099, China

3. Quality Inspection Center, Zhengzhou Handu Pharmaceutical Group Co., Ltd., Zhengzhou 451150, China

4. College of Pharmacy, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China

Abstract: Objective To compare the quality of Ruiren (*Prinsepiae nux*) from different producing areas by chemical pattern recognition method and CRITIC-TOPSIS method. **Methods** The quantitative analysis of 10 components in *Prinsepiae nux* was performed by HPLC with quercetin and β -sitosterol as the reference substances. The relative correction factors of gallic acid, protocatechuic acid, vanillic acid and

收稿日期: 2025-07-01

基金项目: 河南省高等学校重点科研指导计划项目 (20B550007)

作者简介: 杜煜 (1989—), 女, 硕士, 讲师, 研究方向为中药药理、药物分析及纳米材料合成。

Tel: (0379)62233851 E-mail: dlxxk@163.com

kaempferol with quercetin, ursolic acid, oleanolic acid, tormentic acid and eleutheroside A with β -sitosterol were calculated respectively. At the same time, the contents of alcohol-soluble extract, total ash and acid-insoluble ash in *Prinsepiae nux* were detected. The quality of *Prinsepiae nux* from different producing areas was evaluated by chemical pattern recognition and CRITIC-approximate ideal solution sorting method. **Results** The results of methodological verification of external standard method were good. The repeatability of each relative correction factor was good. There was no significant difference by external standard method and QAMS method ($P > 0.05$). The results of principal component analysis (PCA) showed that 16 batches of samples could be divided into three categories. The results of orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA) showed that the VIP values of gallic acid, quercetin, β -sitosterol, ursolic acid, tormentic acid, oleanolic acid and kaempferol in 13 indexes were > 1 , which were the differential marker to distinguish the quality of *Prinsepiae nux* from different producing areas. The results of CRITIC-TOPSIS analysis showed that the relative closeness of the comprehensive quality evaluation index of 16 batches of *Prinsepia uniflora* was 0.4072—0.5935, among them, *Prinsepiae nux* from Shanxi, Gansu and Shanxi ranked top, and the sample quality was better. **Conclusion** The quality of *Prinsepiae nux* was evaluated by establishing a multi-index quantitative model and combining chemical pattern recognition and CRITIC-TOIS analysis, which can provide a reference for the study of the quality standard of *Prinsepiae nux* and its potential quality markers.

Key words: *Prinsepiae nux*; QAMS; chemical pattern recognition method; CRITIC; TOPSIS; gallic acid; protocatechuic acid; vanillic acid; kaempferol; quercetin; ursolic acid; oleanolic acid; tormentic acid; eleutheroside A

蕤仁饮片为《中国药典》2020 年版收载品种^[1], 为蔷薇科植物蕤核 *Prinsepia uniflora* Batal. 或齿叶扁核木 *P. uniflora* Batal. var. *serrata* Rehd. 的干燥成熟果核^[2], 主要分布在陕西、甘肃、山西等地^[3-4]。蕤仁饮片中含有有机酸类、黄酮类、三萜类、甾醇类和不饱和脂肪酸类等化学成分^[5-8]。功效行疏风散热、养肝明目, 主要用于目赤肿痛、睑弦赤烂、目暗羞明等^[1]。现代临床应用研究表明, 蕤仁纯中药制剂治疗儿科反复呼吸道感染疾病的临床疗效较好^[9], 含蕤仁的处方对治疗眼科疾病^[10]、肝阳上亢型眩晕^[11]及外感头痛^[12]均有一定的疗效。中药材发挥作用是依靠多成分的协同或拮抗, 蕤仁饮片现行质量标准未制定含量项, 对其质量控制研究的文献报道也较少。本研究采集 16 批蕤仁样品, 按照《中国药典》2020 年版一部标准进行炮制处理, 制得 16 批蕤仁饮片, 利用高效液相一测多评法检测其中所含 10 个成分(没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、 β -谷甾醇和胡萝卜苷)的含量, 同时根据《中国药典》2020 年版相关通则检测醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分的含量。

主成分分析(principal component analysis, PCA)、正交偏最小二乘法-判别分析(orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA)是目前使用广泛的化学计量学分析方法, 越来越多地用于中药复杂体系的分析^[13-14]; CRITIC 法^[15]是完全依据数据本身属性而进行科学评价的客观赋权法, 常与其他分析方法联用。逼近理想解排序法(technique for order preference by similarity to ideal

solution, TOPSIS)法^[16-17]可以对多个指标共同参与评价, 且计算简便, 评价结果 量化, 准确性高, 常与其他分析方法联用。本研究利用化学计量学与 CRITIC-TOPSIS 法, 对 16 批蕤仁饮片中 10 个化学成分及醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分含量数据进行统计分析, 构建蕤仁饮片的多指标质量差异评估模型, 对不同产地的蕤仁饮片质量进行对比, 为全面有效建立蕤仁饮片的质量标准提供了依据, 也为今后更科学地评价蕤仁饮片的质量提供参考。

1 材料

1.1 试剂与药材

对照品熊果酸(批号 110742-202424, 质量分数 99.7%)、香草酸(批号 110776-202404, 质量分数 99.5%)、槲皮素(批号 100081-202411, 质量分数 98.7%)、山柰酚(批号 110861-202214, 质量分数 97.4%)、原儿茶酸(批号 110809-202207, 质量分数 97.5%)、没食子酸(批号 110831-202408, 质量分数 96.5%)、齐墩果酸(批号 110709-202109, 质量分数 95.8%)和 β -谷甾醇(批号 110851-201909, 质量分数 92.7%)源于中国食品药品检定研究院; 对照品委陵菜酸(批号 PRF24040129, 质量分数 98.6%)和胡萝卜苷(批号 PRF8021422, 质量分数 99.3%)源于成都普瑞法科技开发有限公司; 经鉴定蕤仁饮片为蔷薇科植物蕤核 *P. uniflora* Batal. 的干燥成熟果核, 产地信息见表 1; 高效液相用色谱乙腈和色谱磷酸(美国 Merck 公司), 其余试剂为分析纯。

1.2 仪器

Waters Arc 型和 UltiMate 3000 型 HPLC 仪分别

表 1 蕤仁饮片信息
Table 1 Information of *Prinsepiae nux*

编号	采集地	采集时间	编号	采集地	采集时间
S1	甘肃陇西县	2024-09	S9	四川若尔盖县	2024-08
S2	甘肃合水县	2024-09	S10	青海都兰县	2024-09
S3	山西隰县	2024-08	S11	青海循化县	2024-09
S4	山西垣曲县	2024-08	S12	内蒙古鄂托克旗	2024-08
S5	陕西陇县	2024-08	S13	内蒙古鄂伦春旗	2024-08
S6	陕西甘泉县	2024-09	S14	河南西峡县	2024-09
S7	陕西宜君县	2024-09	S15	河南武陟县	2024-09
S8	四川壤塘县	2024-08	S16	河南卢氏县	2024-09

源于美国沃特世公司和美国赛默飞世尔科技公司；色谱柱 COSMOSIL AR-II C₁₈、Develosil ODS-UG-5C₁₈ 和 Jupiter 300 C₁₈，规格均为 250 mm×4.6 mm，5 μm；AE240 型电子天平（瑞士梅特勒公司）。

2 方法与结果

2.1 混合对照品溶液制备

精密称定对照品没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、β-谷甾醇和胡萝卜苷，用 50%甲醇混匀制成上述成分质量浓度分别为 0.790、0.082、0.156、0.470、0.298、0.340、0.212、0.054、0.138、0.042 mg/mL 的混合对照品贮备液；精密吸取上述贮备液 1 mL，置 20 mL 量瓶中，用 50%甲醇定容，摇匀，即得。

2.2 供试品溶液制备

取蕤仁饮片粉末约 0.5 g，精密称定，精密加 50%甲醇 25 mL，称定质量，加热回流 45 min，冷却，称定质量，补充损失质量，摇匀，静置，上清液滤过，取续滤液即得。

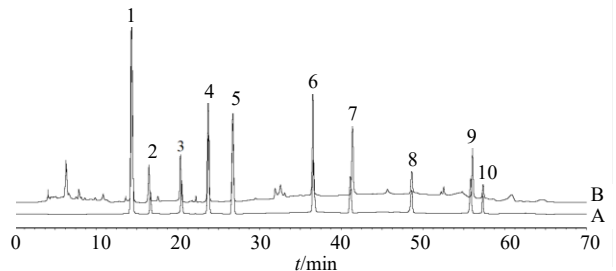
2.3 色谱条件

COSMOSIL AR-II C₁₈ 色谱柱（250 mm×4.6 mm，5 μm）；检测波长：280 nm（0~31 min 检测没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素和山柰酚），210 nm（31~70 min 检测熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、β-谷甾醇和胡萝卜苷）；流动相 0.4%磷酸溶液（A）-乙腈（B）；梯度洗脱条件：0~10 min，35.0% B；10~31 min，35.0%~67.0% B；31~59 min，67.0%~82.0% B；59~70 min，82.0%~35.0% B；运行时间 70 min；柱温 30 ℃，体积流量 1.0 mL/min，进样量 10 μL。

2.4 方法学考察

2.4.1 专属性试验 分别取混合对照品溶液和供试品溶液，注入 HPLC 仪进行测定，结果供试品溶

液在与对照品保留时间相应位置出现色谱峰，没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、β-谷甾醇和胡萝卜苷色谱峰均能达到基线分离。色谱图见图 1。



1-没食子酸；2-原儿茶酸；3-香草酸；4-槲皮素；5-山柰酚；6-熊果酸；7-齐墩果酸；8-委陵菜酸；9-β-谷甾醇；10-胡萝卜苷。
1-gallic acid; 2-protocatechuic acid; 3-vanillic acid; 4-quercetin; 5-kaempferol; 6-ursolic acid; 7-oleanolic acid; 8-potentillate acid; 9-β-sitosterol; 10-eleutheroside A.

图 1 混合对照品 (A) 和蕤仁饮片 (B) 色谱图

Fig. 1 Chromatographic diagram of mixed reference substance (A) and *Prinsepiae nux* (B)

2.4.2 线性关系考察 精密量取混合对照品贮备液，用 50%甲醇稀释 4、10、20、40、100、200 倍，配制成 1~6 号系列混合对照品溶液，按建立的色谱条件进行测定，对记录的没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、β-谷甾醇和胡萝卜苷峰面积与质量浓度进行线性回归。进一步对 6 号混合对照品溶液稀释、检测，确定各成分的检测限及定量限。结果见表 2。各成分在各自质量浓度范围内线性关系良好。

2.4.3 精密度试验 精密吸取混合对照品溶液，按建立的色谱条件连续进样 6 次，计算没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩

表 2 10 个成分的回归方程、线性范围和相关系数

Table 2 Regression equation, linear range and correlation coefficient of 10 components

成分	回归方程	线性范围/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	r	检测限/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	定量限/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)
没食子酸	$Y=138\,210\,X-2\,827.3$	3.95~197.50	0.999 2	0.057	0.191
原儿茶酸	$Y=66\,704\,X+944.2$	0.41~20.50	0.999 3	0.019	0.063
香草酸	$Y=101\,153\,X-1\,687.3$	0.78~39.00	0.999 4	0.022	0.075
槲皮素	$Y=92\,471\,X+2\,931.4$	2.35~117.50	0.999 6	0.041	0.140
山柰酚	$Y=114\,450\,X-1\,191.8$	1.49~74.50	0.999 4	0.037	0.126
熊果酸	$Y=117\,428\,X-2\,356.5$	1.70~85.00	0.999 3	0.039	0.131
齐墩果酸	$Y=106\,102\,X+2\,899.6$	1.06~53.00	0.999 6	0.028	0.096
委陵菜酸	$Y=57\,950\,X-334.7$	0.27~13.50	0.999 1	0.016	0.055
β -谷甾醇	$Y=71\,701\,X+2\,448.1$	0.69~34.50	0.999 3	0.021	0.071
胡萝卜苷	$Y=50\,017\,X-353.8$	0.21~10.50	0.999 2	0.014	0.048

果酸、委陵菜酸、 β -谷甾醇和胡萝卜苷峰面积的 RSD 值分别为 0.84%、1.47%、1.29%、1.02%、1.19%、1.05%、1.21%、1.52%、1.33%、1.74%。

2.4.4 稳定性试验 取的薹仁饮片(S1),按“2.2”项方法制成供试品溶液,按建立的色谱条件分别于制备后 0、2、4、6、8、10、12 h 连续重复进样,计算没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、 β -谷甾醇和胡萝卜苷的峰面积的 RSD 值分别为 1.03%、1.57%、1.38%、1.02%、1.24%、1.17%、1.36%、1.65%、1.44%、1.79%。

2.4.5 重复性试验 取薹仁饮片(S1) 6 份,分别按“2.2”项方法制成供试品溶液,测定样品中没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、 β -谷甾醇和胡萝卜苷的质量分数,计算各成分质量分数的 RSD 值分别为 1.13%、1.63%、1.49%、1.14%、1.28%、1.22%、1.37%、1.76%、1.52%、1.82%。

2.4.6 加样回收率试验 参考相关文献方法^[18],取已测定 10 个成分含量的编号为 S1 的薹仁饮片粉末 9 份,每份约 0.25 g,精密称定,分别加入混合对照

品溶液(含没食子酸 0.381 mg/mL、原儿茶酸 0.042 mg/mL、香草酸 0.081 mg/mL、槲皮素 0.237 mg/mL、山柰酚 0.142 mg/mL、熊果酸 0.177 mg/mL、齐墩果酸 0.108 mg/mL、委陵菜酸 0.029 mg/mL、 β -谷甾醇 0.074 mg/mL、胡萝卜苷 0.022 mg/mL) 0.8、1.0、1.2 mL,按“2.2”项方法操作,制得薹仁饮片加样回收供试品溶液,每个加入量平行 3 份。进样测定,计算没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、 β -谷甾醇和胡萝卜苷的平均加样回收率分别为 99.68%、97.65%、98.57%、100.1%、97.99%、98.20%、98.94%、97.55%、98.69%、97.66%,RSD 值分别为 0.86%、1.32%、1.48%、0.98%、1.43%、0.91%、1.62%、1.50%、1.36%、1.54%。

2.5 一测多评法的建立

2.5.1 相对校正因子(f)的测定 精密量取线性关系考察项下的 6 个混合对照品溶液,按建立的色谱条件进样测定,以槲皮素和 β -谷甾醇为内参物,按照相关公式^[19]计算没食子酸、原儿茶酸、香草酸、山柰酚相对于槲皮素的 f ,计算熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸和胡萝卜苷相对于 β -谷甾醇的 f ,得到校正因子的平均值作为 f 。见表 3。

表 3 各成分的 f

Table 3 Relative correction factors of each component

混合对照品溶液	f							
	没食子酸	原儿茶酸	香草酸	山柰酚	熊果酸	齐墩果酸	委陵菜酸	胡萝卜苷
1	0.664 0	1.333 9	0.915 7	0.803 0	0.621 6	0.688 3	1.249 9	1.455 1
2	0.654 1	1.348 6	0.906 5	0.800 6	0.620 3	0.681 6	1.239 7	1.464 1
3	0.670 5	1.369 5	0.915 6	0.804 0	0.619 6	0.697 3	1.278 1	1.482 9
4	0.658 2	1.370 2	0.915 7	0.804 8	0.618 8	0.686 7	1.233 1	1.440 5
5	0.684 8	1.407 3	0.925 6	0.819 9	0.612 1	0.663 1	1.256 2	1.446 6
6	0.667 6	1.383 1	0.913 5	0.806 9	0.611 2	0.677 6	1.237 4	1.435 0
平均值	0.666 5	1.368 8	0.915 4	0.806 5	0.617 3	0.682 4	1.249 1	1.454 0
RSD/%	1.62	1.88	0.67	0.86	0.71	1.70	1.33	1.20

2.5.2 f 重复性考察 考察仪器与色谱柱、体积流量、柱温的改变对 f 的影响。选用 HPLC 色谱系统 (Waters Arc 型和 UltiMate 3000 型 HPLC 仪) 和色谱柱 (COSMOSIL AR-II C₁₈ 柱、Develosil ODS-UG-5 C₁₈ 柱和 Jupiter 300 C₁₈ 柱)、体积流量 (0.8、1.0、1.2 mL/min)、柱温 (25、30、35 °C) 进行检测, 取“2.1”项混合对照品溶液进行考察, 结果见表 4, 提示仪器与色谱柱、体积流量、柱温的适当改变对 f 无显著影响 (RSD 均小于 2.0%)。

表 4 不同色谱条件对 f 的影响

Table 4 Effects of different chromatographic conditions on relative correction factors

考察项目			f							
			没食子酸	原儿茶酸	香草酸	山柰酚	熊果酸	齐墩果酸	委陵菜酸	胡萝卜苷
仪器及色谱柱	Waters Arc	COSMOSIL AR-II C ₁₈	0.667 1	1.369 3	0.913 7	0.806 9	0.618 2	0.681 8	1.249 7	1.453 4
		Develosil ODS-UG-5 C ₁₈	0.659 2	1.340 5	0.905 2	0.800 4	0.609 7	0.674 4	1.213 2	1.417 7
		Jupiter 300 C ₁₈	0.684 9	1.408 9	0.931 6	0.819 8	0.625 1	0.697 1	1.277 6	1.482 4
	UltiMate 3000	COSMOSIL AR-II C ₁₈	0.654 9	1.351 2	0.906 1	0.799 6	0.611 5	0.673 7	1.232 9	1.434 9
		Develosil ODS-UG-5 C ₁₈	0.667 3	1.361 8	0.917 3	0.805 2	0.610 4	0.662 0	1.248 1	1.448 6
		Jupiter 300 C ₁₈	0.681 4	1.382 1	0.920 8	0.811 7	0.623 9	0.670 3	1.269 2	1.451 1
	平均值		0.669 1	1.369 0	0.915 8	0.807 3	0.616 5	0.676 6	1.248 5	1.448 0
	RSD/%		1.78	1.77	1.08	0.94	1.12	1.77	1.88	1.49
体积流量/ (mL·min ⁻¹)	0.8		0.659 3	1.345 0	0.901 8	0.800 1	0.611 9	0.667 1	1.235 4	1.438 1
	1.0		0.665 9	1.366 4	0.913 3	0.805 8	0.617 7	0.682 2	1.248 2	1.454 5
	1.2		0.680 2	1.398 5	0.928 2	0.818 7	0.621 9	0.690 7	1.274 9	1.480 2
	平均值		0.668 5	1.370 0	0.911 4	0.808 2	0.617 2	0.680 0	1.252 8	1.457 6
	RSD/%		1.60	1.97	1.45	1.18	0.81	1.76	1.61	1.46
柱温/°C	25		0.674 3	1.392 5	0.927 8	0.818 9	0.620 8	0.691 4	1.278 1	1.480 9
	30		0.665 4	1.368 1	0.918 2	0.805 4	0.616 4	0.681 6	1.248 5	1.454 2
	35		0.653 6	1.340 3	0.903 1	0.800 3	0.612 2	0.669 3	1.234 3	1.437 8
	平均值		0.664 4	1.367 0	0.916 4	0.808 2	0.616 5	0.680 8	1.253 6	1.457 6
	RSD/%		1.56	1.91	1.36	1.19	0.70	1.63	1.78	1.49

2.5.3 待测成分色谱峰的定位 使用不同仪器与不同色谱柱时没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、 β -谷甾醇和胡萝卜苷 HPLC 色谱峰的保留时间, 采用相对保留时间法定位各个待测成分的色谱峰, 考察不同 HPLC 仪和色谱柱对相对保留时间的影响, 结果

见表 5, 显示相对保留时间法可用于薹仁饮片中 10 个成分色谱峰的定位 (RSD 均小于 2.0%)。

2.6 一测多评法 (quantitative analysis of multi-components by single marker, QAMS) 与外标法 (external standard method, ESM) 检测结果的比较 采用 ESM 法同时检测 16 批不同产地的薹仁饮

表 5 不同仪器和色谱柱条件下测得的相对保留时间

Table 5 Relative retention time obtained by different instrument and chromatographic columns

仪器	色谱柱	相对保留时间							
		没食子酸	原儿茶酸	香草酸	山柰酚	熊果酸	齐墩果酸	委陵菜酸	胡萝卜苷
Waters Arc	COSMOSIL AR-II C ₁₈	0.603 0	0.701 0	0.861 8	1.125 6	0.653 2	0.733 0	0.868 1	1.018 1
	Develosil ODS-UG-5 C ₁₈	0.604 2	0.712 4	0.875 1	1.132 7	0.667 9	0.739 2	0.879 4	1.027 3
	Jupiter 300 C ₁₈	0.613 8	0.719 6	0.889 3	1.149 5	0.674 3	0.745 8	0.885 9	1.034 5
UltiMate 3000	COSMOSIL AR-II C ₁₈	0.598 4	0.697 3	0.850 6	1.119 2	0.641 8	0.726 4	0.853 1	1.016 2
	Develosil ODS-UG-5 C ₁₈	0.601 9	0.705 1	0.857 9	1.124 8	0.650 2	0.731 5	0.861 7	1.019 7
	Jupiter 300 C ₁₈	0.613 5	0.718 7	0.874 2	1.135 9	0.663 1	0.746 7	0.882 3	1.028 0
平均值		0.605 8	0.709 0	0.868 2	1.131 3	0.658 4	0.737 1	0.871 8	1.024 0
RSD/%		1.05	1.31	1.62	0.95	1.84	1.11	1.48	0.69

片中没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、β-谷甾醇和胡萝卜苷含量，并与 QAMS 法计算的结果进行比较，验证 QAMS 法用于蕤仁饮片中 10 个成分测定的准确度和可靠性，采用 SPSS26.0 软件对 2 种方法所得结果进行统计分析，结果 2 种方法测定结果间的差异性不显著（ $P>0.05$ ）。结果见表 6。

表 6 QAMS 和 ESM 测定蕤仁饮片中 10 个成分的含量 (n=3)
Table 6 Contenta of 10 components in *Prinsepieae nux* by QAMS and ESM (n=3)

编号	没食子酸/(mg·g ⁻¹)		原儿茶酸/(mg·g ⁻¹)		香草酸/(mg·g ⁻¹)		槲皮素/(mg·g ⁻¹)		山柰酚/(mg·g ⁻¹)	
	ESM	QAMS	ESM	QAMS	ESM	QAMS	ESM	ESM	QAMS	
S1	1.519	1.563	0.174	0.179	0.321	0.330	0.946	0.583	0.599	
S2	1.325	1.360	0.176	0.181	0.344	0.335	1.026	0.629	0.612	
S3	1.496	1.535	0.183	0.188	0.324	0.316	0.968	0.676	0.692	
S4	1.541	1.509	0.221	0.225	0.346	0.354	1.127	0.638	0.651	
S5	1.429	1.457	0.198	0.202	0.355	0.365	1.049	0.619	0.631	
S6	1.582	1.614	0.219	0.214	0.371	0.376	1.084	0.675	0.689	
S7	1.468	1.501	0.237	0.232	0.326	0.335	1.207	0.668	0.653	
S8	1.251	1.275	0.141	0.144	0.391	0.383	0.706	0.522	0.537	
S9	1.243	1.270	0.134	0.137	0.439	0.431	0.966	0.559	0.550	
S10	1.198	1.176	0.111	0.108	0.456	0.467	0.888	0.496	0.510	
S11	1.122	1.151	0.122	0.119	0.442	0.453	0.825	0.477	0.490	
S12	1.859	1.893	0.278	0.283	0.251	0.258	1.279	0.857	0.841	
S13	1.827	1.778	0.286	0.294	0.259	0.266	1.213	0.781	0.789	
S14	1.902	1.931	0.311	0.317	0.235	0.241	1.462	0.801	0.814	
S15	1.775	1.817	0.265	0.272	0.302	0.294	1.358	0.713	0.730	
S16	1.584	1.615	0.249	0.243	0.312	0.304	1.318	0.732	0.751	

编号	熊果酸/(mg·g ⁻¹)		齐墩果酸/(mg·g ⁻¹)		委陵菜酸/(mg·g ⁻¹)		β-谷甾醇/(mg·g ⁻¹)		胡萝卜苷/(mg·g ⁻¹)	
	ESM	QAMS	ESM	QAMS	ESM	QAMS	ESM	ESM	QAMS	
S1	0.705	0.724	0.438	0.449	0.117	0.120	0.291	0.084	0.086	
S2	0.642	0.624	0.507	0.493	0.142	0.146	0.349	0.093	0.095	
S3	0.721	0.703	0.531	0.546	0.163	0.159	0.352	0.061	0.062	
S4	0.639	0.655	0.459	0.472	0.128	0.131	0.289	0.076	0.078	
S5	0.653	0.671	0.497	0.511	0.138	0.141	0.320	0.089	0.091	
S6	0.721	0.704	0.521	0.534	0.139	0.137	0.339	0.075	0.073	
S7	0.602	0.619	0.448	0.436	0.117	0.119	0.303	0.065	0.066	
S8	0.543	0.557	0.375	0.385	0.113	0.110	0.268	0.078	0.080	
S9	0.581	0.596	0.366	0.376	0.103	0.101	0.220	0.046	0.047	
S10	0.549	0.563	0.345	0.355	0.069	0.071	0.283	0.042	0.043	
S11	0.529	0.541	0.377	0.368	0.066	0.065	0.277	0.037	0.038	
S12	0.827	0.850	0.639	0.652	0.087	0.089	0.255	0.120	0.117	
S13	0.846	0.867	0.665	0.676	0.103	0.105	0.271	0.128	0.125	
S14	0.949	0.928	0.682	0.700	0.113	0.110	0.246	0.135	0.132	
S15	0.871	0.886	0.619	0.602	0.084	0.086	0.236	0.141	0.137	
S16	0.807	0.826	0.561	0.577	0.095	0.097	0.230	0.109	0.112	

2.7 醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分检测
按照《中国药典》2020 年版相关通则^[20]分别对

16 批蕤仁饮片中醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分的量进行检测。结果见表 7。

表 7 16 批蕤仁饮片中醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分测定结果 (n=2)

Table 7 Determination results of alcohol-soluble extract, total ash and acid-insoluble ash in 16 batches of *Prinsepiae nux* (n=2)

编号	醇溶性浸出物/%	总灰分/%	酸不溶性灰分/%	编号	醇溶性浸出物/%	总灰分/%	酸不溶性灰分/%
S1	12.7	3.5	1.1	S9	11.6	3.5	1.0
S2	10.4	2.6	0.6	S10	13.3	4.2	1.2
S3	9.7	2.9	0.5	S11	12.9	3.8	1.1
S4	10.5	3.1	0.7	S12	15.6	4.3	1.9
S5	10.9	2.7	0.4	S13	14.2	4.6	2.3
S6	12.3	3.9	0.9	S14	15.3	5.4	1.8
S7	11.8	3.8	0.8	S15	14.7	4.6	2.1
S8	13.2	4.1	1.5	S16	15.9	3.9	1.9

2.8 化学模式识别评价体系的建立

2.8.1 主成分分析 (principal component analysis, PCA) 以 16 批蕤仁饮片中 10 个化学成分、醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分的含量数据 (槲皮素和 β -谷甾醇为 ESM 数据, 其他成分为 QAMS 数据, 下同) 为变量, 利用 SPSS 26.0 软件对 13×16 矩阵数据进行降维处理, 结果前 2 个主成分 (PC1、PC2) 的累积方差贡献率为 89.36%, 其中 $\lambda_{PC1}=8.590$, 没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩果酸、胡萝卜苷、醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分在主成分 1 上有较高地载荷值, $\lambda_{PC2}=3.027$, 综合了委陵菜酸和 β -谷甾醇的信息 (表 8、9)。应用 SIMCA 14.1 软件对 13×16 矩阵数据建立 PCA 模型, 结果 16 批蕤仁饮片样品明显分为 3 组, S1~S7、S8~S11、S12~S16 各成一组 (图 2)。

2.8.2 正交偏最小二乘法-判别分析 (orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA) 在 PCA 基础上, 运行 SIMCA 14.1 软件的 OPLS-DA 程序寻找差异标志物, 结果累积解释能力参数 R^2_X 、 R^2_Y 分别为 0.964 和 0.935, 预测能力参数 Q^2 为 0.874, 表明此模型的解释能力和预测能力良好, 为优质模型 (图 3)。利用变量重要性投影 (variable importance projection, VIP) 值筛

表 9 因子载荷矩阵

Table 9 Factor load matrix

指标	因子载荷	
	主成分1	主成分2
没食子酸	0.945	0.250
原儿茶酸	0.939	0.266
香草酸	-0.883	-0.379
槲皮素	0.882	0.147
山柰酚	0.927	0.299
熊果酸	0.969	0.108
齐墩果酸	0.923	0.305
委陵菜酸	-0.136	0.944
β -谷甾醇	-0.438	0.759
胡萝卜苷	0.910	0.138
醇溶性浸出物	0.727	-0.621
总灰分	0.670	-0.587
酸不溶性灰分	0.768	-0.564

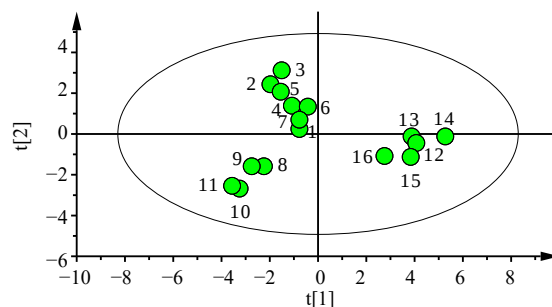


图 2 16 批蕤仁饮片 PCA 得分图

Fig. 2 PCA score scatter plot of 16 batches of *Prinsepiae nux*

表 8 主成分特征值与贡献率

Table 8 Eigenvalue and contribution rate of principal components

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	8.590	66.076	66.076
2	3.027	23.288	89.364

选对产品质量差异贡献大的成分。以 $VIP>1$ 为条件^[21]筛选出 7 个成分, 按贡献大小排序为没食子酸、槲皮素、 β -谷甾醇、熊果酸、委陵菜酸、齐墩果酸和山柰酚 (图 4)。

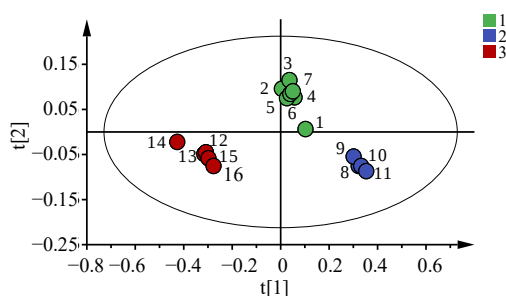
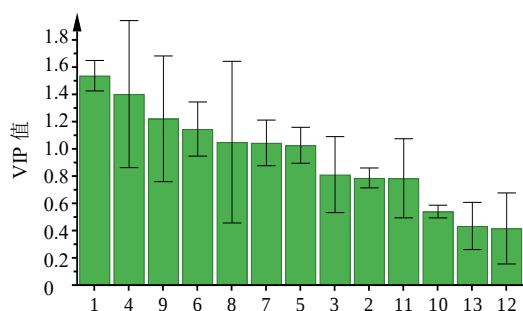


图 3 16 批薹仁饮片 OPLS-DA 模型得分图

Fig. 3 OPLS-DA score plot of 16 batches of *Prinsepiae nux*

1-没食子酸; 2-原儿茶酸; 3-香草酸; 4-槲皮素; 5-山柰酚; 6-熊果酸; 7-齐墩果酸; 8-委陵菜酸; 9-β-谷甾醇; 10-胡萝卜苷; 11-醇溶性浸出物; 12-总灰分; 13-酸不溶性灰分。

1-gallic acid; 2-protocatechuic acid; 3-vanillic acid; 4-quercetin; 5-kaempferol; 6-ursolic acid; 7-oleanolic acid; 8-potentillate acid; 9-β-sitosterol; 10-cleutheroside A; 11-alcohol-soluble extract; 12-total ash; 13-acid-insoluble ash.

图 4 各指标 VIP 值

Fig. 4 VIP plot of index

2.9 CRITIC-TOPSIS 分析模块的建立

本研究采用客观赋权法中的 CRITIC 赋权薹仁饮片中没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、β-谷甾醇、胡萝卜苷、醇溶性浸出物总灰分和酸不溶性灰分,再利用 TOPSIS 法测度不同产地薹仁饮片的综合指数。

2.9.1 含量数据标准化处理 本研究考察的 10 个化学成分、醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分等 13 个指标中,没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、β-谷甾醇、胡萝卜苷和醇溶性浸出物均为正向指标,总灰分和酸不溶性灰分为负向指标,分别使用公式 (1) (2) 对 16 批薹仁饮片中各指标含量原始数据进行标准化处理^[22],得到标准化矩阵见表 10。

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (1)$$

$$Y_{ij} = \frac{\max(x_j) - X_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (2)$$

2.9.2 CRITIC 法赋权 以标准化后的矩阵数据为变量,分别计算变异性 (S_j)、冲突性 (R_j)、信息量 (C_j) 和权重 (w_j),其中 S_j 用标准差衡量,标准差大,则 S_j 大; R_j 用各指标间的相关系数衡量,相关性强则 R_j 低。结果各评价指标的权重分别为 0.060 1、0.058 2、0.126 4、0.055 5、0.058 1、0.065 9、0.061 4、0.071 6、0.091 8、0.065 4、0.088 4、0.088 5 和 0.108 5,其中香草酸的冲突性最大,其权重值也最大。

2.9.3 CRITIC-TOPSIS 法质量评价体系的建立 将各指标权重与标准化处理后数据相乘得 CRITIC-TOPSIS 决策矩阵 (表 11),根据矩阵确定最优方案 (Z_j^+) 和最劣方案 (Z_j^-),利用公式 (3) ~ (5) 计算各指标到最优方案的距离 (D_j^+)、到最劣方案的距离 (D_j^-) 及各指标综合指数 (C_i),根据 C_i 值对不同产地薹仁饮片质量进行排序^[23],结果见表 12。结果显示陕西、甘肃和山西产薹仁饮片排名靠前,样品质量较优。

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^+)^2} \quad (3)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^-)^2} \quad (4)$$

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (5)$$

3 讨论

薹仁饮片具有清肝明目、退翳、治鼻衄、安神、降压等功效,在中医眼科和成药组方中应用较广,同时用药历史悠久。薹仁为各版《中国药典》收载中药饮片,但质量标准不完善,仅对性状、鉴别和水分作了规定,很难保证药材质量。建立科学实用又简便快捷的薹仁饮片质量控制和评价方法,对薹仁饮片道地产地研究、保障临床优质薹仁饮片供应具有重要意义。

本实验在薹仁饮片中多指标含量检测量,首先进行了外标法方法学验证,结果没食子酸、原儿茶酸、香草酸、槲皮素、山柰酚、熊果酸、齐墩果酸、委陵菜酸、β-谷甾醇和胡萝卜苷在各自范围内呈现良好的线性关系 ($r > 0.999$);仪器精密度、方法重复性、和准确度均较好,薹仁供试品溶液在 12 h 内

表 10 标准化矩阵
Table 10 Standardized matrix

编号	Y_{ij}													
	没食子酸	原儿茶酸	香草酸	槲皮素	山柰酚	熊果酸	齐墩果酸	委陵菜酸	β -谷甾醇	胡萝卜苷	醇溶性浸出物	总灰分	酸不溶性灰分	
S1	0.528 2	0.339 7	0.393 8	0.317 5	0.310 5	0.472 9	0.272 5	0.585 1	0.537 9	0.484 8	0.483 9	0.678 6	0.631 6	
S2	0.267 9	0.349 3	0.415 9	0.423 3	0.347 6	0.214 5	0.400 0	0.861 7	0.977 3	0.575 8	0.112 9	1.000 0	0.894 7	
S3	0.492 3	0.382 8	0.331 9	0.346 6	0.575 5	0.418 6	0.553 6	1.000 0	1.000 0	0.242 4	0.000 0	0.892 9	0.947 4	
S4	0.459 0	0.559 8	0.500 0	0.556 9	0.458 7	0.294 6	0.339 1	0.702 1	0.522 7	0.404 0	0.129 0	0.821 4	0.842 1	
S5	0.392 3	0.449 8	0.548 7	0.453 7	0.401 7	0.335 9	0.452 2	0.808 5	0.757 6	0.535 4	0.193 5	0.964 3	1.000 0	
S6	0.593 6	0.507 2	0.597 3	0.500 0	0.567 0	0.421 2	0.518 8	0.766 0	0.901 5	0.353 5	0.419 4	0.535 7	0.736 8	
S7	0.448 7	0.593 3	0.415 9	0.662 7	0.464 4	0.201 6	0.234 8	0.574 5	0.628 8	0.282 8	0.338 7	0.571 4	0.789 5	
S8	0.159 0	0.172 2	0.628 3	0.000 0	0.133 9	0.041 3	0.087 0	0.478 7	0.363 6	0.424 2	0.564 5	0.464 3	0.421 1	
S9	0.152 6	0.138 8	0.840 7	0.343 9	0.170 9	0.142 1	0.060 9	0.383 0	0.000 0	0.090 9	0.306 5	0.678 6	0.684 2	
S10	0.032 1	0.000 0	1.000 0	0.240 7	0.057 0	0.056 8	0.000 0	0.063 8	0.477 3	0.050 5	0.580 6	0.428 6	0.578 9	
S11	0.000 0	0.052 6	0.938 1	0.157 4	0.000 0	0.000 0	0.037 7	0.000 0	0.431 8	0.000 0	0.516 1	0.571 4	0.631 6	
S12	0.951 3	0.837 3	0.075 2	0.757 9	0.100 0	0.798 4	0.860 9	0.255 3	0.265 2	0.798 0	0.951 6	0.392 9	0.210 5	
S13	0.803 8	0.890 0	0.110 6	0.670 6	0.851 9	0.842 4	0.930 4	0.425 5	0.386 4	0.878 8	0.725 8	0.285 7	0.000 0	
S14	1.000 0	1.000 0	0.000 0	1.000 0	0.923 1	1.000 0	1.000 0	0.478 7	0.197 0	0.949 5	0.903 2	0.000 0	0.263 2	
S15	0.853 8	0.784 7	0.234 5	0.862 4	0.683 8	0.891 5	0.715 9	0.223 4	0.121 2	1.000 0	0.806 5	0.285 7	0.105 3	
S16	0.594 9	0.645 9	0.278 8	0.809 5	0.743 6	0.736 4	0.643 5	0.340 4	0.075 8	0.747 5	1.000 0	0.535 7	0.210 5	

表 11 CRITIC-矩阵
Table 11 CRITIC-Matrix

编号	Z_j 加权值													
	没食子酸	原儿茶酸	香草酸	槲皮素	山柰酚	熊果酸	齐墩果酸	委陵菜酸	β -谷甾醇	胡萝卜苷	醇溶性浸出物	总灰分	酸不溶性灰分	
S1	0.031 7	0.019 8	0.049 8	0.017 6	0.018 0	0.031 2	0.016 7	0.041 9	0.049 4	0.031 7	0.042 8	0.060 1	0.068 5	
S2	0.016 1	0.020 3	0.052 6	0.023 5	0.020 2	0.014 1	0.024 6	0.061 7	0.089 7	0.037 7	0.010 0	0.088 5	0.097 1	
S3	0.029 6	0.022 3	0.042 0	0.019 2	0.033 4	0.027 6	0.034 0	0.071 6	0.091 8	0.015 9	0.000 0	0.079 0	0.102 8	
S4	0.027 6	0.032 6	0.063 2	0.030 9	0.026 7	0.019 4	0.020 8	0.050 3	0.048 0	0.026 4	0.011 4	0.072 7	0.091 4	
S5	0.023 6	0.026 2	0.069 4	0.025 2	0.023 3	0.022 1	0.027 8	0.057 9	0.069 5	0.035 0	0.017 1	0.085 3	0.108 5	
S6	0.035 7	0.029 5	0.075 5	0.027 8	0.032 9	0.027 8	0.031 9	0.054 8	0.082 8	0.023 1	0.037 1	0.047 4	0.079 9	
S7	0.027 0	0.034 5	0.052 6	0.036 8	0.027 0	0.013 3	0.014 4	0.041 1	0.057 7	0.018 5	0.029 9	0.050 6	0.085 7	
S8	0.009 6	0.010 0	0.079 4	0.000 0	0.007 8	0.002 7	0.005 3	0.034 3	0.033 4	0.027 7	0.049 9	0.041 1	0.045 7	
S9	0.009 2	0.008 1	0.106 3	0.019 1	0.009 9	0.009 4	0.003 7	0.027 4	0.000 0	0.005 9	0.027 1	0.060 1	0.074 2	
S10	0.001 9	0.000 0	0.126 4	0.013 4	0.003 3	0.003 7	0.000 0	0.004 6	0.043 8	0.003 3	0.051 3	0.037 9	0.062 8	
S11	0.000 0	0.003 1	0.118 6	0.008 7	0.000 0	0.000 0	0.002 3	0.000 0	0.039 6	0.000 0	0.045 6	0.050 6	0.068 5	
S12	0.057 2	0.048 7	0.009 5	0.042 1	0.058 1	0.052 6	0.052 9	0.018 3	0.024 3	0.052 2	0.084 1	0.034 8	0.022 8	
S13	0.048 3	0.051 8	0.014 0	0.037 2	0.049 5	0.055 5	0.057 1	0.030 5	0.035 5	0.057 5	0.064 2	0.025 3	0.000 0	
S14	0.060 1	0.058 2	0.000 0	0.055 5	0.053 6	0.065 9	0.061 4	0.034 3	0.018 1	0.062 1	0.079 8	0.000 0	0.028 6	
S15	0.051 3	0.045 7	0.029 6	0.047 9	0.039 7	0.058 7	0.044 0	0.016 0	0.011 1	0.065 4	0.071 3	0.025 3	0.011 4	
S16	0.035 8	0.037 6	0.035 2	0.044 9	0.043 2	0.048 5	0.039 5	0.024 4	0.007 0	0.048 9	0.088 4	0.047 4	0.022 8	

表 12 16 批薹仁饮片的综合指数及排序
Table 12 Aggregative index number and ranking of 16 batches of *Prinsepiae nux*

编号	C_i	排序	编号	C_i	排序
S1	0.490 9	7	S9	0.444 6	15
S2	0.558 1	3	S10	0.460 6	13
S3	0.555 1	4	S11	0.451 1	14
S4	0.531 3	5	S12	0.487 2	9
S5	0.593 5	1	S13	0.462 4	12
S6	0.593 0	2	S14	0.487 5	8
S7	0.501 3	6	S15	0.464 5	11
S8	0.407 2	16	S16	0.482 4	10

稳定性良好；以槲皮素和 β -谷甾醇为内参物，建立的与其他成分的相对校正因子重复性较好，利用各成分相对校正因子的均值计算的含量与外标法测定结果比较，无明显差异，但从测定结果来看，不同产地薹仁中 10 个成分含量存在一定的区域差异，可能与样品采集地的地理环境、光照、温差等有关。

薹仁饮片中各指标含量数据的 PCA 结果显示 16 批薹仁饮片分为 3 组，结合样品来源信息，产区相近的样品聚为一组；OPLS-DA 结果显示有没食子酸、槲皮素、 β -谷甾醇、熊果酸、委陵菜酸、齐墩果酸、山柰酚的 VIP 值 >1 ，可作为其质量差异标志物，这 7 个成分药理作用广泛，其中没食子酸为多酚类化合物，可通过上调内皮型一氧化氮合酶磷酸化水平，增加 NO 含量；同时能够抑制血管紧张素 I 转化酶，显著降低自发性高血压大鼠的血压^[24]；槲皮素为天然黄酮类化合物，有抗氧化、抗炎、抗病毒、抗肿瘤、降糖、调脂、免疫调节等多种药理作用^[25-26]。 β -谷甾醇是最有代表性的甾体化合物，具有抗炎、抗氧化、抗肿瘤、抗菌、抗抑郁、抗脱发等生物活性^[27]。熊果酸为三萜类化合物，药理活性广泛，包括抗肿瘤、抗菌、抗炎、抗病毒、抗氧化、保肝、降血糖等药理作用^[28]。委陵菜酸为三萜类化合物，具有抗氧化、抗炎镇痛、抗菌、抗肿瘤、调脂保肝、抗动脉粥样硬化、抑制血小板凝集、抑制血管平滑肌异常增殖及降血糖等药理活性^[29]。齐墩果酸为三萜类化合物，具有保肝、增强免疫、抑制血小板聚集、抗炎、抗变态、调血脂、抗氧化、抗动脉粥样硬化、降糖、抗菌、抗肿瘤等多方面的药理作用^[30]。山柰酚为黄酮类化合物，酚具有抗氧化、抗炎和抗肿瘤等药理作用^[31]。

没食子酸、槲皮素、 β -谷甾醇、熊果酸、委陵菜

酸、齐墩果酸、山柰酚的质量分数分别为 (1.518 ± 0.240) 、 (1.089 ± 0.207) 、 (0.283 ± 0.041) 、 (0.703 ± 0.126) 、 (0.111 ± 0.027) 、 (0.505 ± 0.109) 、 (0.655 ± 0.107) mg/g，存在一定的差异，建议将这 7 个成分纳入薹仁饮片质量监控，建立更为科学合理的薹仁饮片质量标准，未来将采集更多样本量，扩大采集地范围、采集不同生长年限、扩大采收时间范围，丰富试验数据，验证所建方法的可行性；CRITIC-TOPSIS 法结果显示 16 批薹仁饮片的相对贴近度值为 $0.407\ 2 \sim 0.593\ 5$ ，反映了不同产地薹仁饮片质量存在一定的差异，其中编号为 S5 的薹仁饮片质量最优。

本实验建立了薹仁饮片中多指标成分定量质控方法，结合化学计量学联合 CRITIC-TOPSIS 法对不同产地薹仁饮片的质量差异性进行评价，得到影响薹仁饮片各产地间的显著性差异成分，陕西、甘肃和山西产薹仁饮片排名靠前，样品质量较优。该方法为薹仁饮片的质量评价及控制提供参考依据。

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. 2020: 388.
- [2] 马颖娴, 吉姣姣, Chayanis Sutcharitchan, 等. 薹仁的生药学鉴别研究 [J]. 中草药, 2020, 51(3): 763-768.
- [3] 张晓玲. 薹仁的生态学特性及开发利用研究 [J]. 山西林业科技, 2011, 40(3): 38-39.
- [4] 刘湘杰, 高君亮, 梁爽, 等. 薹核在乌兰布和沙区的引种表现 [J]. 温带林业研究, 2025, 8(2): 63-66.
- [5] 李宁, 李宏轩, 孟大利, 等. 薹仁的化学成分(II) [J]. 沈阳药科大学学报, 2009, 26(11): 871-873.
- [6] 韦翡翠, 吕蓉, 何微微, 等. 薹仁的生药学研究 [J]. 中国民族民间医药, 2020, 29(2): 22-24.
- [7] 刘慧灵, 马国需, 孙忠浩, 等. 反相高效液相色谱-蒸发光散射检测法测定不同产地薹仁药材中亚油酸的含量 [J]. 中国药学杂志, 2014, 49(15): 1355-1357.
- [8] 胡英婕, 祝泉阳, 尚佳锐, 等. 中药材薹仁中没食子酸的优化提取和薄层色谱鉴别 [J]. 化学工程与装备, 2024(1): 118-119.
- [9] 张清峰. 薹仁治疗儿科相关疾病的临床研究 [J]. 世界最新医学信息文摘, 2015, 15(A2): 145.
- [10] 肖国土. 薹仁本草考证与眼科应用 [J]. 中国中医眼科杂志, 1996, 6(2): 112-113.
- [11] 李云委, 陈乔林. 薹仁汤治疗眩晕 120 例临床观察 [J]. 中国中医药信息杂志, 2000, 7(2): 68.
- [12] 王鑫浩, 徐福雪. 薹仁汤加减治疗外感头痛疗效观察 [J]. 内蒙古中医药, 2017, 36(13): 126.
- [13] 夏曼玉, 张留记, 屠万倩, 等. 钩藤多指标含量测定及

- 化学计量学分析 [J]. 中国药理学杂志, 2022, 57(19): 1621-1627.
- [14] 李沁, 张聪, 陈亮, 等. 基于超高效液相色谱指纹图谱、多指标成分定量及化学计量学的小儿感冒颗粒质量评价 [J]. 药物分析杂志, 2023, 43(9): 1612-1622.
- [15] 闫嘉, 李荣, 姬生国. CRITIC-逼近理想解排序法综合评价益智药材的质量 [J]. 华西药理学杂志, 2024, 39(3): 299-302.
- [16] 田芳, 张英, 吴孟华, 等. HPLC 特征图谱结合多模式识别及熵权 TOPSIS 法的不同基原蒲黄药材质量评价 [J]. 中草药, 2025, 56(4): 1377-1384.
- [17] 张美琴, 王云, 贾哲, 等. 基于熵权-TOPSIS 对不同产地桑白皮药材的品质评价 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(13): 130-139.
- [18] 王雷, 闵文杰, 边帅杰, 等. 基于指纹图谱和多成分测定研究不同类型黄酒对酒黄芩饮片质量的影响 [J]. 中草药, 2025, 56(1): 79-88.
- [19] 项艳, 胡珍, 孙亮, 等. 基于一测多评、化学计量学和 EW-TOPSIS 法的三叶青药材质量差异评价研究 [J]. 中国药师, 2024, 27(3): 365-375.
- [20] 中国药典 [S]. 四部. 2020: 232, 234.
- [21] 张建方, 陈宗良, 董莹盈, 等. QAMS 多成分定量及 PCA、OPLS-DA、EW-TOPSIS 分析综合评价元宝草药材质量 [J]. 浙江中医药大学学报, 2024, 48(11): 1363-1376.
- [22] 凌花, 黄福高. 基于 CRITIC-TOPSIS 模型的长三角地区物流竞争力研究 [J]. 商业经济研究, 2024(23): 85-88.
- [23] 张立群, 马诗瑜, 冯恺, 等. HPLC 多指标成分定量结合化学计量学、加权 TOPSIS 模型评价不同产地肺形草质量 [J]. 现代药物与临床, 2024, 39(5): 1176-1183.
- [24] Kang N, Lee J H, Lee W, *et al.* Gallic acid isolated from *Spirogyra* sp. improves cardiovascular disease through a vasorelaxant and antihypertensive effect [J]. *Environ Toxicol Pharmacol*, 2015, 39(2): 764-772.
- [25] 刘晟文, 刘建英. 槲皮素药理学作用的研究进展 [J]. 中华肺部疾病杂志: 电子版, 2020, 13(1): 104-106.
- [26] 王欣, 张雨涵, 史磊磊, 等. 槲皮素对黄药子致肝损伤小鼠的保护作用及其机制 [J]. 中草药, 2024, 55(10): 3345-3353.
- [27] 陈元堃, 曾奥, 罗振辉, 等. β -谷甾醇药理作用研究进展 [J]. 广东药科大学学报, 2021, 37(1): 148-153.
- [28] 熊斌, 雷志勇, 陈虹. 熊果酸药理学研究进展 [J]. 国外医学: 药学分册, 2004, 31(3): 133-136.
- [29] 张晶, 苏畅, 郭卿, 等. 委陵菜酸、蔷薇酸对缺氧诱导内皮细胞损伤的保护作用及机制 [J]. 中草药, 2025, 56(17): 6264-6271.
- [30] 万晓莉. 齐墩果酸药理作用的研究进展 [J]. 黔南民族医专学报, 2023, 36(1): 73-75.
- [31] Ren J, Lu Y F, Qian Y H, *et al.* Recent progress regarding kaempferol for the treatment of various diseases [J]. *Exp Ther Med*, 2019, 18(4): 2759-2776.

[责任编辑 时圣明]