基于 UPLC-MS/MS 多指标含量测定结合化学计量学及熵权 TOPSIS 的荆防颗粒质量评价

李静雯[1]，李婷婷[1]，南丹慧[1]，姚昱吏[1]，李　运[2*]，杨扶德[1*]

1. 甘肃中医药大学药学院，甘肃 兰州　730000
2. 兰州市食品药品检验检测研究院，甘肃 兰州　730050

摘　要：目的　建立 UPLC-MS/MS 法同时测定荆防颗粒中 15 种活性成分的含量，并综合评价其质量。**方法**　采用 Poroshell 120 SB-C_{18} 色谱柱（100 mm×2.1 mm，2.7 μm）；流动相为水（含 0.1%甲酸和 5 mmol/L 乙酸铵）-乙腈，梯度洗脱：正离子模式，0～2.0 min，12%～25%乙腈；2.0～5.0 min，25%～50%乙腈；5.0～7.0 min，50%～90%乙腈；7.0～9.0 min，90%乙腈；9.0～9.1 min，90%～5%乙腈；9.1～11.0 min，5%乙腈；负离子模式，0～2.0 min，10%～15%乙腈；2.0～6.0 min，15%～30%乙腈；6.0～8.0 min，30%～90%乙腈；8.0～10.0 min，90%乙腈；10.0～10.2 min，90%～10%乙腈；10.2～13.0 min，10%乙腈；体积流量 0.3 mL/min；柱温 25 ℃；进样量 3 μL。电喷雾离子源（ESI）；正、负离子扫描；多反应监测（multiple reaction monitoring，MRM）模式；雾化器压力 103.42 kPa（15.0 psi）；毛细管电压−3 500 V（负离子）、4 000 V（正离子）；干燥气温度 300 ℃；体积流量 11 L/min。采用 SPSS 27.0 与 SIMCA 14.1 软件对含量测定结果进行化学模式识别分析，并利用熵权 TOPSIS 法计算 8 个厂家共 24 批荆防颗粒的综合质量排名。**结果**　15 种成分在各自范围内具有良好的线性关系（r≥0.999 0），平均加样回收率在 99.30%～100.97%，RSD 在 1.53%～2.71%。层次聚类分析（hierarchical cluster analysis，HCA）和主成分分析（principal component analysis，PCA）结果表明，荆防颗粒样品聚为 3 类，4 个主成分累积方差贡献率达到 82.180%。变量重要性投影（variable importance projection，VIP）结果表明，柴胡皂苷 A、橙皮苷、紫花前胡苷、柚皮苷、甘草苷、佛手柑内酯及蛇床子素是影响荆防颗粒质量差异的主要差异成分。熵权 TOPSIS 法可用于不同批次荆防颗粒质量优劣的评价，其中 Q4 厂家与 Q5 厂家整体表现较优；Q6～Q8 厂家综合得分多处于中游位置；Q1～Q3 厂家综合得分普遍较低。**结论**　该方法准确、灵敏，结合化学计量学及熵权 TOPSIS 法可用于荆防颗粒的质量综合评价。

关键词：荆防颗粒；UPLC-MS/MS；含量测定；化学计量学；熵权 TOPSIS 法；升麻素苷；升麻素；紫花前胡苷；5-*O*-甲基维斯阿米醇苷；亥茅酚苷；补骨脂素；花椒毒素；佛手柑内酯；蛇床子素；白花前胡乙素；甘草苷；柚皮苷；橙皮苷；新橙皮苷；柴胡皂苷 A

中图分类号：R283.6　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**0253 - 2670(2026)21 - 8499 - 11

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.21.010

Quality evaluation of Jingfang Granules based on UPLC-MS/MS multi-indicator content determination combined with chemometrics and entropy weight TOPSIS

LI Jingwen[1], LI Tingting[1], NAN Danhui[1], YAO Yuli[1], LI Yun[2], YANG Fude[1]

1. College of Pharmacy, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China
2. Lanzhou Institute for Food and Drug Control, Lanzhou 730050, China

Abstract: Objective　To establish a UPLC-MS/MS method for simultaneously determining the contents of 15 active components in Jingfang Granules (JG, 荆防颗粒), and conduct a comprehensive evaluation of their quality. **Methods**　A Poroshell 120 SB-C_{18} column (100 mm × 2.1 mm, 2.7 μm) was used; the mobile phase was water (0.1% formic acid-5 mmol/L ammonium acetate aqueous

收稿日期：2026-06-05

基金项目：国家药品监督管理局中药材及饮片质量控制重点实验室项目资助（2024GSMPA-KL/5）；2021 年度甘肃高等学校产业支撑计划项目资助（2021CYZC-40）；兰州市人才创新创业项目资助（2023-RC-9）；兰州市科技计划项目（2025-5-255）

作者简介：李静雯，硕士研究生，研究方向为中药鉴定与质量评价。E-mail: lijingwen75@163.com

***通信作者：**杨扶德，教授，博士生导师。E-mail: gszyyfd@163.com

李　运，男，博士，高级工程师，研究方向为中药质量控制。E-mail: lyun04@163.com

solution)-acetonitrile, with gradient elution as follows: in positive ion mode, 0—2.0 min, 12%—25% acetonitrile; 2.0—5.0 min, 25%—50% acetonitrile; 5.0—7.0 min, 50%—90% acetonitrile; 7.0—9.0 min, 90% acetonitrile; 9.0—9.1 min, 90%—5% acetonitrile; 9.1—11.0 min, 5% acetonitrile; negative ion mode, 0—2.0 min, 10%—15% acetonitrile; 2.0—6.0 min, 15%—30% acetonitrile; 6.0—8.0 min, 30%—90% acetonitrile; 8.0—10.0 min, 90% acetonitrile; 10.0—10.2 min, 90%—10% acetonitrile; 10.2—13.0 min, 10% acetonitrile; flow rate 0.3 mL/min; column temperature 25 ℃; injection volume 3 μL. Electrospray ionisation (ESI); positive and negative ion scanning; multiple reaction monitoring (MRM) mode; nebuliser pressure 103.42 kPa (15.0 psi); capillary voltage −3 500 V (negativeions), 4 000 V (positiveions); dry gas temperature 300 ℃; flow rate 11 L/min. Chemical pattern recognition analysis of the content determination results was performed using SPSS 27.0 and SIMCA 14.1 software, and the entropy-weighted TOPSIS method was employed to calculate the comprehensive quality rankings of 24 batches of JG from eight manufacturers. **Results** All 15 components show a good linear relationship within their ranges ($r \geq 0.999\ 0$), with average sample recoveries between 99.30% and 100.97%, and RSD from 1.53% to 2.71%. The results of hierarchical cluster analysis (HCA) and principal component analysis (PCA) showed that the JG samples were clustered into three categories, with the four principal components accounting for 82.180% of the cumulative variance. Variable importance projection (VIP) results indicated that saikosaponin A, hesperidin, nodakenin, naringin, liquiritin, bergapten, and osthol were the primary components influencing quality variations in JG. The entropy-weighted TOPSIS method can be used to evaluate the quality of JG across different batches, with manufacturers Q4 and Q5 demonstrating superior overall performance; manufacturers Q6 to Q8 generally achieving mid-range composite scores; and manufacturers Q1 to Q3 generally scoring lower. **Conclusion** This method is accurate and sensitive, and combined with chemometrics and the entropy weight TOPSIS method, it can be used for the comprehensive quality evaluation of JG.

Key words: Jingfang Granules; UPLC-MS/MS; content determination; chemometrics; entropy weight TOPSIS method; prim-*O*-glucosylcimifugin; cimifugin; nodakenin; 5-*O*-methylvisammioside; sec-*O*-glucosylhamaudol; psoralen; xanthotoxin; bergapten; osthol; praeruptorin B; liquiritin; naringin; hesperidin; neohesperidin; saikosaponin A

荆防颗粒是由《太平惠民和剂局方》中人参败毒散化裁而来的一种传统中药非处方制剂，组方包含荆芥、防风、羌活、独活、柴胡、川芎、前胡、茯苓、桔梗、枳壳、甘草，具有辛温解表、散寒祛湿的功效[1-2]。全方配伍表里兼治，以解表为主，且气血津液并调，升降同施，通过风药的协同作用，使风寒湿邪随汗而解，气机得畅，痰湿得化，则寒热、疼痛、咳嗽诸症自除[3]。现行标准收录于《卫生部药品标准中药成方制剂》（第二册），仅有性状项与检查项，无含量测定，难以全面反映荆防颗粒整体质量状况。超高效液相色谱-串联质谱联用技术（UPLC-MS/MS）技术具有快速、灵敏、准确、抗干扰能力强的特点，能进行多指标成分定量分析，可用于质量评价[4-5]。化学计量学可利用多变量数学模型，通过解析复杂数据，从而实现对中药成分更为直观和可靠的解析研究[6-7]。熵权 TOPSIS 法可对多指标数据进行客观赋权与综合评价，可有效消除主观因素影响，用于评价样品优劣[8-9]。因此，本研究采用 UPLC-MS/MS 技术，建立了同时测定荆防颗粒中升麻素苷、升麻素、紫花前胡苷、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷、补骨脂素、花椒毒素、佛手柑内酯、蛇床子素、白花前胡乙素、甘草苷、柚皮苷、橙皮苷、新橙皮苷、柴胡皂苷 A 含量的分析方法，并结合多种化学模式识别方法分析及熵权 TOPSIS 法，以期为荆防颗粒的质量标准提升提供科学依据。

1 仪器与试药

1.1 仪器

安捷伦 1290 型超高效液相色谱仪-G6460A 型三重四极杆质谱仪，美国 Agilent Technologies 公司；Milli-Q 型超纯水仪，德国 Merck 公司；XSE205DU 型万分之一电子天平，瑞士 Mettler-Toledo 公司；H1850 型台式高速离心机，湖南湘仪实验室仪器开发有限公司；移液枪，德国 Eppendorf 公司。

1.2 试剂与药品

对照品升麻素苷（批号 20432-G250301，质量分数≥98.0%）、白花前胡乙素（批号 6211，质量分数 97.4%）、升麻素（批号 18457，质量分数≥98.0%）、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷（批号 19681-G241001，质量分数≥98.0%）、甘草苷（批号 15555-G250301，质量分数≥98.0%）、亥茅酚苷（批号 12625-G241001，质量分数≥98.0%）、柚皮苷（批号 17957，质量分数≥98.0%）、柴胡皂苷 A（批号 14977，质量分数≥98.0%）由上海诗丹德标准技术服务有限公司提供；对照品紫花前胡苷（批号 11821-201604，质量分数 99.6%）、新橙皮苷（批号 111857-201804，质量分数 99.4%）、橙皮苷（批号 110721-201818，质量分数 96.1%）由中国食品药品检定研究院提供；对照品佛手柑内酯

（批号 F-008-180426）、补骨脂素（批号 B-065-181216）、花椒毒素（批号 H-035-170323）、蛇床子素（批号 S-008-108426），质量分数均＞98.0%，购自成都瑞芬思生物科技有限公司。乙腈、甲醇及甲酸均为色谱纯，乙酸铵为分析纯，水为超纯水。24 批荆防颗粒样品详细信息见表 1。

表 1 24 批荆防颗粒来源

Table 1 Source of 24 batches of Jingfang Granules (JG)

厂家	编号	批号	市售来源	厂家	编号	批号	市售来源
Q1	S1	250605	陕西西安	Q5	S13	20230702	陕西咸阳
	S2	250706	山东临沂		S14	20250201	山东临沂
	S3	250210	河南洛阳		S15	20250203	上海静安
Q2	S4	2504017	陕西西安	Q6	S16	250306	四川德阳
	S5	2503062	广东广州		S17	250105	陕西西安
	S6	2502024	山东临沂		S18	250801	湖南长沙
Q3	S7	250501	湖北安陆	Q7	S19	241004	甘肃兰州
	S8	250201	湖北安陆		S20	250301	河南郑州
	S9	241004	湖北安陆		S21	250201	陕西西安
Q4	S10	2782501002	河南郑州	Q8	S22	250301	陕西西安
	S11	2782302066	河南郑州		S23	250202	四川德阳
	S12	2782302029	河南郑州		S24	250104	广东广州

2 方法与结果

2.1 溶液的制备

2.1.1 对照品溶液 精密称取各对照品适量，甲醇溶解并配制成储备液。分别吸取各储备液适量，用甲醇稀释，制得分别含升麻素苷 9.65 μg/mL、升麻素 9.94 μg/mL、紫花前胡苷 9.57 μg/mL、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷 9.33 μg/mL、亥茅酚苷 9.90 μg/mL、补骨脂素 9.07 μg/mL、花椒毒素 10.59 μg/mL、佛手柑内酯 10.26 μg/mL、蛇床子素 10.41 μg/mL、白花前胡乙素 7.69 μg/mL、甘草苷 8.87 μg/mL、柚皮苷 8.95 μg/mL、橙皮苷 9.91 μg/mL、新橙皮苷 11.49 μg/mL、柴胡皂苷 A 10.42 μg/mL 的单一对照品溶液，置于 4 ℃冰箱中保存，备用。

2.1.2 供试品溶液 取荆防颗粒样品适量，研磨，取约 1 g，精密称定，置于具塞锥形瓶中，加入色谱甲醇 35 mL，称定质量，超声处理 25 min，晾至室温，再次称定质量，用色谱甲醇补足减失的质量。9 000 r/min 离心（离心半径 9.30 cm）10 min 后，精密量取上清液适量，经 0.22 μm 微孔滤膜，取续滤液，即得。

2.1.3 阴性样品溶液 按处方工艺及相关比例要求，分别制备缺少防风、羌活、枳壳、柴胡、甘草的阴性样品，并依“2.1.2”项下方法进行操作，即得。

2.2 色谱条件

Poroshell 120 SB-C_{18} 色谱柱（100 mm×2.1 mm，2.7 μm）；流动相为水（含 0.1%甲酸和 5 mmol/L 乙酸铵）-乙腈，梯度洗脱：正离子模式，0～2.0 min，12%～25%乙腈；2.0～5.0 min，25%～50%乙腈；5.0～7.0 min，50%～90%乙腈；7.0～9.0 min，90%乙腈；9.0～9.1 min，90%～5%乙腈；9.1～11.0 min，5%乙腈；负离子模式，0～2.0 min，10%～15%乙腈；2.0～6.0 min，15%～30%乙腈；6.0～8.0 min，30%～90%乙腈；8.0～10.0 min，90%乙腈；10.0～10.2 min，90%～10%乙腈；10.2～13.0 min，10%乙腈；体积流量 0.3 mL/min；柱温 25 ℃；进样量 3 μL。

2.3 质谱条件

电喷雾离子源；正、负离子扫描；多反应监测模式；雾化器压力 103.42 kPa（15.0 psi）；毛细管电压−3 500 V（负离子）、4 000 V（正离子）；干燥气温度 300 ℃；体积流量 11 L/min；其他参数见表 2。

2.4 方法学考察

2.4.1 专属性考察 按“2.2”与“2.3”项所建立的色谱及质谱条件下进行测定，结果见图 1。虽然橙皮苷、新橙皮苷离子对相同，但通过优化流动相梯度洗脱程序可使两者得到有效分离；升麻素苷在离子源内易脱糖生成升麻素特征碎片，但升麻素苷单标仅于 2.765 min 出峰，其源内裂解产生的升麻素通道信号较低，无定量干扰；升麻素单标仅在 3.334 min 检出。供试品可同步检出 2 种目标物，缺防风阴性基质无干扰峰，说明本条件下该干扰可忽略。阴性样品进行药味归属验证时发现，升麻素、升麻素苷、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷归属防风；紫花前胡苷、佛手柑内酯归属羌活；柚皮苷、橙皮苷、新橙皮苷归属枳壳；柴胡皂苷 A 归属柴胡；甘草苷归属甘草。各化合物之间无干扰，方法专属性可靠。

2.4.2 线性关系考察 按“2.2”和“2.3”项下建立的色谱及质谱条件下进行测定。配制一系列梯度质量浓度混合对照品溶液并测定，以对照品进样质量浓度为 *X* 轴、峰面积为 *Y* 轴建立标准曲线并进行回归。各目标成分在考察线性范围内线性关系良好，$r \geqslant 0.999\,0$，并以信噪比（*S*/*N*）3∶1 为检出限，10∶1 为定量限，结果见表 3。

2.4.3 精密度试验 精密吸取“2.4.2”项下混合对照品溶液，按照“2.2”与“2.3”项下色谱及质谱条件，连续进样 6 次进行测定，测得各成分升麻素苷、

表 2 各成分质谱参数

Table 2 Mass spectral parameters of each component

峰号	成分	t_R/min	母离子(*m*/*z*)	子离子(*m*/*z*)	碎裂电压/V	碰撞能量/eV
1	升麻素苷	2.765	468.9 $[M+H]^+$	307.0 $[M+H-C_6H_{10}O_5]^+$	100	45
2	升麻素	3.334	307.0 $[M+H]^+$	220.9 $[M+H-C_4H_6O_2]^+$	125	10
3	紫花前胡苷	3.414	408.9 $[M+H]^+$	247.0 $[M+H-C_6H_{10}O_5]^+$	80	25
4	5-*O*-甲基维斯阿米醇苷	3.427	453.0 $[M+H]^+$	291.0 $[M+H-C_6H_{10}O_5]^+$	140	15
5	亥茅酚苷	4.451	438.9 $[M+H]^+$	277.0 $[M+H-C_6H_{10}O_5]^+$	90	30
6	补骨脂素	5.579	187.0 $[M+H]^+$	103.0 $[M+H-C_4H_4O_2]^+$	135	25
7	花椒毒素	5.742	217.0 $[M+H]^+$	174.0 $[M+H-C_2H_3O]^+$	100	20
8	佛手柑内酯	6.236	216.9 $[M+H]^+$	174.0 $[M+H-C_2H_3O]^+$	110	5
9	蛇床子素	7.494	245.0 $[M+H]^+$	130.9 $[M+H-C_4H_8-CH_2O-CO]^+$	135	25
10	白花前胡乙素	8.271	444.0 $[M+H]^+$	327.0 $[M+H-C_5H_9O_3]^+$	100	15
11	甘草苷	5.116	416.9 $[M-H]^-$	254.7 $[M-H-C_6H_{10}O_5]^-$	135	30
12	柚皮苷	5.842	578.9 $[M-H]^-$	270.9 $[M-H-C_{12}H_{20}O_9]^-$	120	35
13	橙皮苷	5.989	608.8 $[M-H]^-$	300.9 $[M-H-C_{12}H_{20}O_9]^-$	120	15
14	新橙皮苷	6.232	608.9 $[M-H]^-$	300.9 $[M-H-C_{12}H_{20}O_9]^-$	120	45
15	柴胡皂苷 A	8.110	779.2 $[M-H]^-$	617.2 $[M-H-C_6H_{10}O_5]^-$	80	35

升麻素、紫花前胡苷、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷、补骨脂素、花椒毒素、佛手柑内酯、蛇床子素、白花前胡乙素、甘草苷、柚皮苷、橙皮苷、新橙皮苷、柴胡皂苷 A 峰面积的 RSD 分别为 1.76%、0.99%、1.03%、1.36%、1.98%、1.07%、0.79%、0.86%、1.15%、1.29%、2.24%、1.56%、1.85%、0.57%、0.69%，表明该仪器具有良好的精密度。

2.4.4 稳定性试验 取同一供试品溶液（S10），室温下分别于制备后 0、2、4、8、12、24 h，按照“2.2”“2.3”项下色谱及质谱条件进样分析，测得各成分升麻素苷、升麻素、紫花前胡苷、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷、补骨脂素、花椒毒素、佛手柑内酯、蛇床子素、白花前胡乙素、甘草苷、柚皮苷、橙皮苷、新橙皮苷、柴胡皂苷 A 峰面积的 RSD 分别为 1.18%、0.95%、1.53%、1.69%、2.49%、2.68%、1.81%、2.84%、2.02%、1.67%、2.57%、0.96%、1.05%、1.92%、0.84%，结果表明该供试品溶液在 24 h 内具有良好的稳定性。

2.4.5 重复性试验 取同一批荆防颗粒样品（S10），按照“2.1”项下方法平行制备 6 份供试品溶液，按照“2.2”及“2.3”项色谱及质谱条件下进样分析，测得各成分升麻素苷、升麻素、紫花前胡苷、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷、补骨脂素、花椒毒素、佛手柑内酯、蛇床子素、白花前胡乙素、甘草苷、柚皮苷、橙皮苷、新橙皮苷、柴胡皂苷 A 质量分数的 RSD 分别为 0.85%、2.17%、1.01%、1.46%、2.55%、2.78%、1.12%、2.67%、1.88%、1.72%、2.71%、0.82%、1.38%、2.87%、1.06%，结果表明该方法具有良好的重复性。

2.4.6 加样回收率试验 称取 6 份荆防颗粒样品粉末（S10），每份约 0.5 g，精密称定，平行 3 组，每组 3 份，按照样品中各成分含量的 80%、100%、120%水平分别加入各对照品溶液适量，按照“2.1.2”项下方法制备供试品溶液，于“2.2”及“2.3”项色谱条件下进样测定，对 15 种成分的平均加样回收率及 RSD 值进行计算，结果升麻素苷、升麻素、紫花前胡苷、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷、补骨脂素、花椒毒素、佛手柑内酯、蛇床子素、白花前胡乙素、甘草苷、柚皮苷、橙皮苷、新橙皮苷、柴胡皂苷 A 的平均加样回收率分别为 100.51%、100.97%、99.75%、99.91%、100.49%、99.63%、99.30%、100.86%、99.29%、99.84%、99.52%、99.82%、100.91%、100.18%、99.71%，RSD 分别为 1.96%、1.58%、1.98%、1.89%、2.28%、2.67%、1.53%、1.68%、1.76%、2.71%、1.92%、2.38%、1.97%、2.61%、1.57%。

2.4.7 样品含量测定 取 24 批荆防颗粒样品，按照“2.1.2”项下方法制备供试品溶液，“2.2”及“2.3”项色谱条件下进样测定，结果见表 4。可见升麻素苷、升麻素、紫花前胡苷、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷、补骨脂素、花椒毒素、佛手柑内酯、蛇床子素、白花前胡乙素、甘草苷、柚皮苷、橙皮苷、



1-升麻素苷；2-升麻素；3-紫花前胡苷；4-5-*O*-甲基维斯阿米醇苷；5-亥茅酚苷；6-补骨脂素；7-花椒毒素；8-佛手柑内酯；9-蛇床子素；10-白花前胡乙素；11-甘草苷；12-柚皮苷；13-橙皮苷；14-新橙皮苷；15-柴胡皂苷 A。

1-prim-*O*-glucosylcimifugin; 2-cimifugin; 3-nodakenin; 4-5-*O*-methylvisammioside; 5-sec-*O*-glucosylhamaudol; 6-psoralen; 7-xanthotoxin; 8-bergapten; 9-osthol; 10-praeruptorin B; 11-liquiritin; 12-naringin; 13-hesperidin; 14-neohesperidin; 15-saikosaponin A.

图 1　混合对照品 (A)、荆防颗粒样品 (B) 和阴性对照 (缺防风, C) 的提取定量离子色谱图

Fig. 1　Extracted quantitative ion chromatograms of mixed reference substances (A), JG test sample (B), and negative control (without *Saposhnikoviae Radix*, C)

表 3 荆防颗粒中各成分线性考察结果

Table 3 Linear investigation results of each component in JG

成分	回归方程	*r*	线性范围/(ng·mL^{-1})	检测限/(ng·mL^{-1})	定量限/(ng·mL^{-1})
升麻素苷	Y=1.010 X+3.406	0.999 8	4.827～386.120	1.61	5.36
升麻素	Y=0.940 X+19.456	0.999 8	4.969～397.488	0.13	0.42
紫花前胡苷	Y=0.917 X+30.595	0.999 3	19.133～2 918.000	0.04	0.14
5-*O*-甲基维斯阿米醇苷	Y=65.812 X+219.540	0.999 0	4.665～373.184	0.01	0.03
亥茅酚苷	Y=1.010 X+3.615	0.999 5	4.949～395.920	0.26	0.86
补骨脂素	Y=0.999 X+0.375	0.999 6	0.908～72.598	0.09	0.29
花椒毒素	Y=1.004 X−0.347	0.999 4	1.059～84.750	0.12	0.40
佛手柑内酯	Y=1.026 X−1.752	0.999 6	1.026～82.085	0.33	1.10
蛇床子素	Y=0.988 X−3.031	0.999 4	2.602～416.308	0.03	0.09
白花前胡乙素	Y=1 921.641 X+1 503.248	0.999 2	0.769～117.196	0.01	0.04
甘草苷	Y=1.001 X+14.726	0.999 2	4.437～2 661.990	0.72	2.41
柚皮苷	Y=1.017 X+4.598	0.999 4	89.474～10 736.880	0.23	0.75
橙皮苷	Y=1.013 X+0.942	0.999 8	24.772～2 972.580	0.51	1.70
新橙皮苷	Y=0.959 X+25.885	0.999 7	114.906～13 788.768	1.82	6.07
柴胡皂苷 A	Y=0.982 X+10.729	0.999 7	5.209～833.392	6.07	8.57

表 4 24 批荆防颗粒中各指标成分含量测定结果 (n = 3)

Table 4 Results for content determination of each index component in 24 batches of JG (n = 3)

名称	质量分数/(μg·g^{-1})														
	升麻素苷	升麻素	紫花前胡苷	5-*O*-甲基维斯阿米醇苷	亥茅酚苷	补骨脂素	花椒毒素	佛手柑内酯	蛇床子素	白花前胡乙素	甘草苷	柚皮苷	橙皮苷	新橙皮苷	柴胡皂苷 A
S1	28.60	15.97	257.03	41.76	5.61	1.01	1.67	1.04	−	−	−	693.19	45.86	395.17	8.72
S2	28.73	12.63	232.13	41.92	6.23	1.00	1.36	0.79	−	0.71	4.08	653.82	31.90	546.31	4.19
S3	28.65	15.59	279.09	42.56	5.20	0.60	0.86	0.52	−	−	−	404.52	35.44	393.50	11.99
S4	45.74	9.01	39.71	58.79	7.48	0.43	1.63	1.13	−	−	−	187.05	68.63	83.26	15.35
S5	24.24	4.20	128.10	46.09	6.47	0.53	1.67	1.75	−	−	−	273.98	79.56	1 395.94	30.03
S6	38.97	12.89	129.66	58.28	8.04	0.99	1.62	2.04	−	0.96	−	202.00	93.59	96.03	41.95
S7	43.30	27.98	103.82	60.95	7.51	2.27	4.48	1.92	−	0.84	−	1 126.97	83.25	619.63	27.65
S8	59.00	24.31	142.74	75.95	8.62	1.80	4.08	2.48	−	1.04	−	925.83	122.21	318.68	37.59
S9	38.40	18.64	115.66	54.10	6.17	1.41	3.22	1.56	−	0.90	−	920.32	75.28	491.51	24.75
S10	62.47	11.18	670.98	70.27	8.44	−	3.19	4.50	15.96	0.44	22.85	794.49	62.22	516.09	58.50
S11	87.10	15.17	911.67	87.43	11.01	3.68	5.32	4.66	21.25	2.18	30.64	1 002.68	80.33	676.77	60.82
S12	54.83	8.62	849.08	65.73	7.79	2.74	5.13	3.60	19.81	1.93	27.64	1 025.81	98.90	766.84	71.15
S13	60.49	43.68	781.39	85.16	14.08	1.55	1.51	3.41	1.76	18.41	28.43	306.47	50.06	192.35	17.96
S14	64.94	38.73	852.68	101.44	14.61	0.51	0.87	1.95	1.04	14.59	27.10	246.47	44.23	166.74	16.99
S15	63.70	53.62	903.24	105.25	15.39	0.65	1.03	0.92	1.69	24.93	24.93	247.40	47.27	175.32	20.49
S16	8.04	14.00	994.62	26.81	4.91	2.07	1.51	2.69	−	1.10	6.37	1 460.71	139.55	1 050.93	32.61
S17	5.63	8.72	1 007.08	24.51	4.28	1.90	2.75	5.76	2.17	1.86	5.84	1 065.31	97.12	808.84	15.72
S18	6.61	10.42	900.55	28.39	4.85	2.21	3.30	0.44	−	1.74	6.02	1 016.12	101.29	746.45	29.47
S19	48.18	43.57	686.28	68.43	7.70	2.20	3.72	1.40	3.84	3.69	−	43.43	53.27	−	38.09
S20	46.87	60.93	690.44	108.72	12.02	2.63	5.34	3.04	2.54	2.71	−	42.78	56.38	−	43.99
S21	77.60	44.03	808.76	100.12	13.34	2.80	4.37	4.30	2.23	0.86	1.66	84.72	60.63	51.90	45.69
S22	74.18	5.96	624.87	71.74	10.26	4.00	6.60	5.74	5.33	1.07	22.90	837.89	60.76	741.00	21.39
S23	54.15	14.96	660.02	75.07	8.09	1.95	3.51	3.62	4.98	0.71	16.47	650.71	61.04	682.53	5.41
S24	32.08	9.08	474.35	52.87	5.86	1.64	2.01	2.33	10.75	1.01	18.96	667.03	60.58	635.91	10.86

“−” 代表未检出。

“−” means not detected out.

新橙皮苷、柴胡皂苷 A 的平均质量分数分别为 45.10、21.82、551.83、64.68、8.50、1.69、2.95、2.57、3.89、3.40、10.16、619.99、71.22、481.32、28.81 μg/g。其中，紫花前胡苷、柚皮苷、新橙皮苷平均质量分数均≥481.32 μg/g，升麻素苷、升麻素、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、甘草苷、橙皮苷、柴胡皂苷 A 平均质量分数为 10.16～71.22 μg/g，其余成分平均质量分数均≤8.50 μg/g。不同成分含量差别较大，这种差异可能源于其原材料中天然含量、溶解性及稳定性不同。

2.5 化学计量学研究

2.5.1 层次聚类分析（hierarchical cluster analysis，HCA） 将 24 批荆防颗粒的各成分含量导入 SPSS 27.0 软件，通过组间连接法，以平方欧式距离为区间对各成分含量进行 HCA（图 2）。通过对样本进行 HCA 发现，当距离大于 15 时，样品可以划分为 3 大类：S1～S9、S16～S18 为第 I 类、S10～S12、S22～S24 为第 II 类、S13～S15、S19～S21 为第 III 类。HCA 结果揭示，不同厂家不同批次间存在可区分的质量差异。

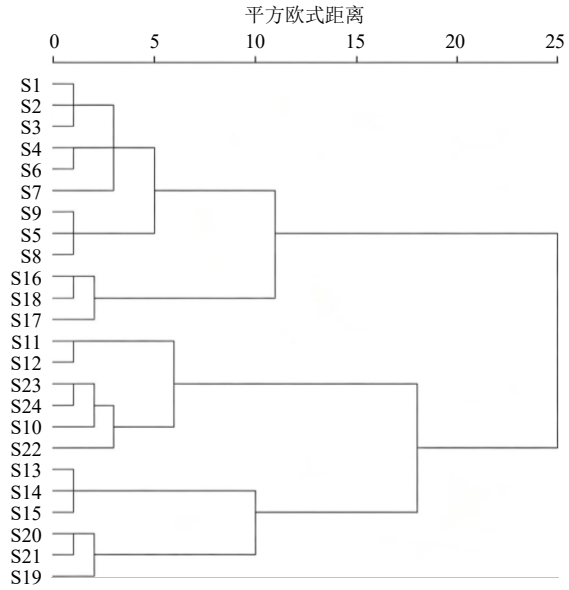


图 2 24 批荆防颗粒样品 HCA

Fig. 2 HCA of 24 batches of JG samples

2.5.2 主成分分析（principal component analysis，PCA） 将 24 批荆防颗粒样品各成分含量测定结果分别导入 SPSS 27.0 软件与 SIMCA 14.1 软件中，进行 PCA，在 SPSS 27.0 软件中分析显示，前 4 个主成分因子特征值＞1，累积方差贡献率达到 82.180%（表 5）。SIMCA 14.1 软件分析后得到 24 批荆防颗粒的 PCA 得分图（图 3），由图 3 可以看出，24 批荆防颗粒样品可聚为 3 类，S1～S9、S16～S18 聚为第 I 类，S10～S12、S22～S24 聚为第 II 类，S13～S15、S19～S21 聚为第 III 类，该结果与 HCA 结果一致。

表 5 主成分特征值与方差贡献率

Table 5 Principal component eigenvalues and variance contribution rates

主成分	初始特征值		累积解释方差比例/%	提取载荷平方和		累积解释方差比例/%
	总计	方差占比/%		总计	方差占比/%	
1	5.193	34.622	34.622	5.193	34.622	34.622
2	4.306	28.709	63.331	4.306	28.709	63.331
3	1.719	11.457	74.788	1.719	11.457	74.788
4	1.109	7.392	82.180	1.109	7.392	82.180

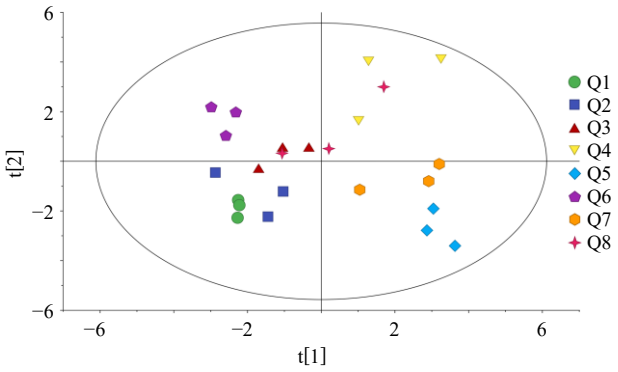


图 3 24 批荆防颗粒样品 PCA 得分图

Fig. 3 PCA score plot of 24 batches of JG samples

2.5.3 正交偏最小二乘-判别分析（orthogonal partial least squares-discriminant analysis，OPLS-DA） 基于 HCA 结果，将各成分含量导入 SIMCA 14.1 软件，自动拟合后建立 OPLS-DA 模型，该模型累积解释参数 R_X^2（自变量矩阵）、R_Y^2（因变量矩阵）与预测能力参数 Q^2 分别为 0.939、0.820、0.633，均大于 0.5，且 200 次置换检验 R^2 回归线截距＜3，Q^2 回归线截距为负值，显示未出现过拟合现象，表明模型预测能力良好，结果见图 4、5。

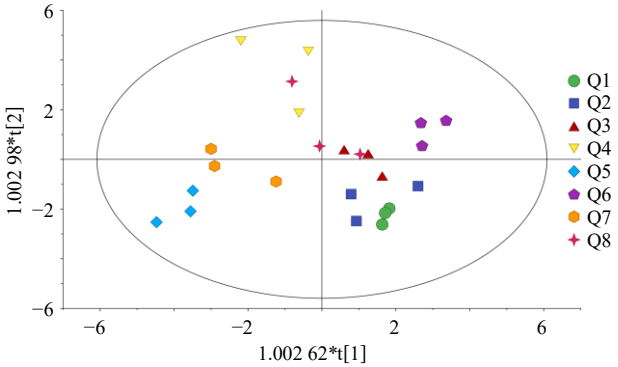


图 4 24 批样品的 OPLS-DA 得分图

Fig. 4 OPLS-DA scores of 24 batches of samples

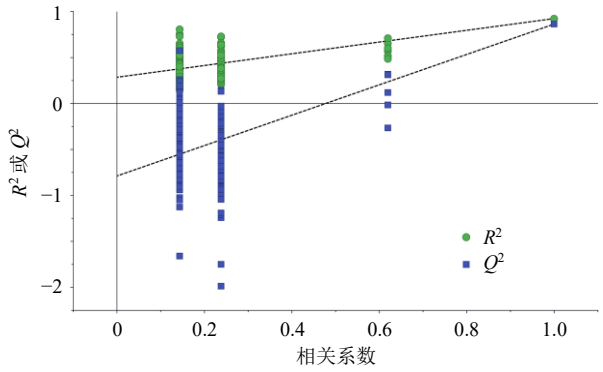


图 5　24 批样品的 OPLS-DA 置换检验图

Fig. 5　Plot of OPLS-DA replacement test results for 24 batches of samples

共筛选出 7 个变量重要性投影（variable importance projection，VIP）＞1 的差异性成分，分别为柴胡皂苷 A、橙皮苷、紫花前胡苷、柚皮苷、甘草苷、佛手柑内酯、蛇床子素，结果见图 6，表明这 7 个差异性成分对分类影响较大。其中蛇床子素含量的标准差较大，可能与原料药材的产地不同、采收期变化、生产工艺参数的波动以及储存条件差异等因素有关。

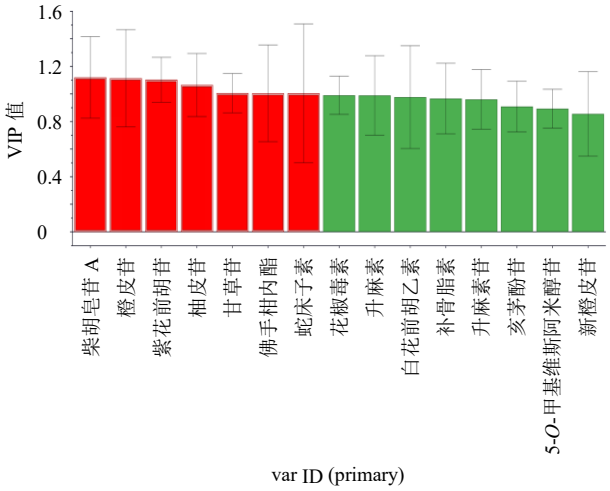


图 6　荆防颗粒样品 OPLS-DA VIP 值图

Fig. 6　OPLS-DA VIP plot of JG samples

2.6　熵权 TOPSIS 模型的建立

2.6.1　熵权法计算权重　24 批荆防颗粒中的 15 种成分含量均为正向指标，因原始成分含量矩阵中有含量为 0 的数据，因此根据公式（1）（2）进行同向化及非负平移处理。得到处理后的矩阵（Y_{ij}'），根据公式（3）～（5）计算信息熵（E_j）、信息效用值（D_j）、权重系数（W_j），结果见表 6。其中，信息熵反映了指标的离散程度，熵越大指标离散程度越小，权重越小[10-11]。15 种成分权重大小排列依次为甘草苷＞蛇床子素＞白花前胡乙素＞升麻素苷＞5-*O*-甲基维斯阿米醇苷＞橙皮苷＞紫花前胡苷＞柴胡皂苷 A＞柚皮苷＞补骨脂素＞佛手柑内酯＞新橙皮苷＞亥茅酚苷＞花椒毒素＞升麻素。其中，甘草苷、蛇床子素及白花前胡乙素计算权重较大，说明在不同制剂批次中含量差异最显著，可能受投料药材产地差异、品种混用、采收年限、生产工艺等因素的影响。

表 6　荆防颗粒各化学成分的 E_j、D_j 及 W_j

Table 6　E_j, D_j, and W_j of chemical components in JG

成分	E_j	D_j	W_j
升麻素苷	0.943 3	0.056 7	0.032 5
升麻素	0.887 4	0.112 6	0.064 5
紫花前胡苷	0.923 3	0.076 7	0.043 9
5-*O*-甲基维斯阿米醇苷	0.936 6	0.063 4	0.036 3
亥茅酚苷	0.912 5	0.087 5	0.050 1
补骨脂素	0.917 1	0.082 9	0.047 5
花椒毒素	0.902 7	0.097 3	0.055 8
佛手柑内酯	0.915 6	0.084 4	0.048 4
蛇床子素	0.722 8	0.277 2	0.158 9
白花前胡乙素	0.720 1	0.279 9	0.160 4
甘草苷	0.790 0	0.210 0	0.120 4
柚皮苷	0.917 2	0.082 8	0.047 4
橙皮苷	0.931 6	0.068 4	0.039 2
新橙皮苷	0.914 5	0.085 5	0.049 0
柴胡皂苷 A	0.920 4	0.079 6	0.045 6

$$Y_{ij}=(X_{ij}-\min X_j)/(\max X_j-\min X_j) \quad (1)$$

$$Y_{ij}'=|\min X_{*j}|+0.01 \quad (2)$$

$$P_{ij}=Y_{ij}'/\sum_{i=1}^{n} Y_{ij}' \quad (3)$$

$$E_j=-\sum_{i=1}^{n} p_{ij}\ln p_{ij}/\ln n \quad (4)$$

$$D_j=1-E_j \quad (5)$$

$$W_j=D_j/\sum D_j \quad (6)$$

2.6.2　TOPSIS 法计算相对贴近程度　将 15 个指标成分的权重与非负平移处理后数据相乘，构建加权决策矩阵。以矩阵中每个指标的最大值与最小值作为最优方案（Z_j^+）与最劣方案（Z_j^-），采用公式（7）～（9）计算各指标到最优方案的距离（D_i^+）、到最劣方案的距离（D_i^-）、各指标与最优解的欧氏贴近度（C_i），24 批荆防颗粒最优解欧氏贴近度为 0.089 2～0.586 7，说明不同样品间综合质量存在差异，结果见表 7。荆防颗粒样品 Q4 厂家与 Q5 厂家整体表现较优；Q6～Q8 厂家综合得分多处于中游位置；Q1～Q3 厂家综合得分普遍较低，其中，Q2 与 Q3 中不同批次间的质量排序差距较大。

$$D_i^+=[\sum_{ij=1}^{m}(Z_{ij}-Z_j^+)^2]^{1/2} \quad (7)$$

表 7 24 批荆防颗粒样品综合质量排序

Table 7 Comprehensive quality ranking of JG samples

厂家	编号	D_i^+	D_i^-	C_i	排序
Q1	S1	0.288 3	0.036 1	0.111 3	22
	S2	0.281 4	0.039 3	0.122 5	21
	S3	0.292 7	0.028 7	0.089 2	24
Q2	S4	0.292 1	0.032 8	0.101 0	23
	S5	0.287 7	0.059 5	0.171 3	18
	S6	0.282 2	0.048 5	0.146 7	20
Q3	S7	0.270 5	0.076 6	0.220 8	17
	S8	0.269 3	0.078 6	0.225 9	16
	S9	0.277 2	0.055 9	0.167 9	19
Q4	S10	0.218 9	0.130 1	0.372 8	7
	S11	0.162 1	0.230 2	0.586 7	1
	S12	0.170 9	0.210 2	0.551 5	2
Q5	S13	0.182 8	0.184 9	0.502 8	4
	S14	0.201 9	0.165 3	0.450 1	5
	S15	0.186 3	0.211 4	0.531 6	3
Q6	S16	0.264 4	0.095 7	0.265 7	13
	S17	0.254 4	0.092 5	0.266 6	12
	S18	0.265 2	0.078 0	0.227 2	15
Q7	S19	0.248 0	0.084 5	0.254 2	14
	S20	0.249 4	0.112 4	0.310 7	9
	S21	0.253 2	0.107 2	0.297 5	11
Q8	S22	0.215 9	0.147 1	0.405 3	6
	S23	0.229 8	0.103 4	0.310 3	10
	S24	0.216 3	0.120 5	0.357 8	8

$$D_i^- = [\sum_{ij=1}^{m} (Z_{ij} - Z_j^-)^2]^{1/2} \quad (8)$$

$$C_i = D_i^- / (D_i^+ - D_i^-) \ (i = 1, 2, 3, \cdots, n) \quad (9)$$

3 讨论

3.1 提取条件优化

在预实验中，比较了提取溶剂甲醇、30%甲醇、50%甲醇、70%甲醇溶液所配制的供试品溶液各成分的色谱图，发现甲醇制备供试品溶液时，所测成分色谱峰峰形与分离度佳且提取率最高。故正式实验采用甲醇溶液进行对照品与供试品溶液的配制。

3.2 检测离子对的选择

本研究取各成分质量浓度为 1.0 μg/mL 的对照品溶液，采用正、负离子扫描模式对 15 种化合物对照品溶液进行母离子扫描。结果表明，升麻素苷、升麻素、紫花前胡苷、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷、补骨脂素、花椒毒素、佛手柑内酯、蛇床子素、白花前胡乙素在正离子扫描模式下响应值较高，均生成[M＋H]$^+$分子离子峰；甘草苷、柚皮苷、橙皮苷、新橙皮苷、柴胡皂苷 A 含量在负离子扫描模式下响应值较高，均生成[M－H]$^-$分子离子峰。定量离子优先选择响应高、基质干扰小的特征碎片，以特异性碎片作为定性离子，确保定性可靠。花椒毒素与佛手柑内酯、橙皮苷与新橙皮苷结构类似，同时检测时会出现 2 个峰，通过进样单一对照品确定保留时间，最终确定花椒毒素与佛手柑内酯的保留时间分别为 5.742、6.236 min，橙皮苷与新橙皮苷的保留时间分别为 5.989、6.232 min。在 MRM 模式下，优化串联质谱参数，以母离子最大响应值确定最优碎裂电压，以定量离子峰面积最高、峰形良好且无杂峰干扰为标准确定最佳碰撞能量。

3.3 指标成分的选择

本研究筛选的 15 种指标成分以黄酮类、香豆素类成分为主，该 2 类成分是荆防颗粒中稳定性高、含量占比大、药效关联性最强的特征物质群[12-13]。黄酮类与香豆素类成分多具有抗炎、抗氧化、解表镇痛的药理活性，与荆防颗粒治疗风寒感冒、恶寒头痛、咳嗽痰多的临床主治相契合[14-15]。荆防颗粒方中防风与荆芥同为君药，防风其主要成分为升麻素、升麻素苷、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷及亥茅酚苷，具有解热、镇痛、抗炎等作用[16]。羌活、独活作为臣药，祛风胜湿、通痹止痛，羌活其主要活性成分为紫花前胡苷与佛手柑内酯，被认为是羌活质量评价不可或缺的关键指标[17]；独活中的香豆素类成分补骨脂素、花椒毒素及蛇床子素可作为独活的质量标志物[18]，都具有抗炎、抗菌等作用[19-20]。前胡、柴胡、枳壳、川芎、桔梗合为佐药，前胡降气化痰、散风清热，其主要成分为白花前胡乙素，具有改善肾性高血压、抗癌作用[21]；柴胡疏散退热、和解少阳、疏肝解郁，柴胡皂苷 A 为主要皂苷类成分之一，具有抗炎、抗氧化、抗抑郁、抗癫痫、抗肿瘤等作用[22]；枳壳含黄酮类化合物柚皮苷、橙皮苷、新橙皮苷，具有抗抑郁、抑制胃肠运动的乙酰胆碱酯酶等作用[23]。甘草主要成分为甘草苷，具抗炎、抗病毒、抗氧化等作用[24-25]。其中，荆芥中胡薄荷酮等挥发油为其核心药效组分，该类成分在制剂加工中极易挥发，不宜采用本研究实验方法进行精准定量，且荆芥水溶性非挥发性成分多为糖类、黄酮类等共有成分[26-27]，缺乏药材专属性质量标志物，难以表征荆芥投料质量。因此，本研究选用稳定性好、专属性强、药效明确的防风特征成分代表君药解表功效。

川芎、茯苓、桔梗在方剂中多为辅助配伍药味，

其药效多通过复方整体配伍协同起效，单一微量特征成分的质量代表性较弱，且川芎主要代表性化合物为挥发油、有机酸及生物碱，受热易挥发降解，阿魏酸等酚酸为多药材共有成分[28]；茯苓核心活性物质以多糖与脂溶性三萜为主[29]，多糖结构复杂，三萜在水提液溶出量少；桔梗主要药效成分为三萜皂苷[30]，糖苷键不稳定，提取过程易水解。上述 4 味药材现有活性物质均存在稳定性差、专属性不足等问题。因此本研究依据中药质量标志物确认原则及方剂理论，优先选用稳定、专属、适配检测体系的 15 种成分表征处方核心药效物质测定含量，以期为荆防颗粒的质量评价提供依据。但受限于成分理化性质及药材配伍特点，本评价体系无法完全覆盖处方全部药味，对荆芥、川芎、茯苓、桔梗等辅助药味的质量表征存在一定缺失，难以实现处方整体质量的全方位评价，后续研究可进一步优化前处理方法与检测条件，补充上述药味专属指标成分。

3.4 结果分析

本研究采用 UPLC-MS/MS 法测定 8 个厂家共 24 批荆防颗粒样品中 15 种活性成分，并结合化学模式识别方法及熵权 TOPSIS 评估其综合质量。HCA 表明 Q1～Q3、Q6 厂家，各自形成独立簇群，表明上述厂家批次间化学成分稳定性较优；Q1、Q3 与 Q4 厂家部分样品存在交叉聚集，提示 Q4 厂家原料投料或生产工艺存在波动，导致其部分批次化学成分特征与 Q1、Q3 厂家相似；Q4、Q5、Q7 与 Q8 厂家样品间存在不同程度交叉聚集，表明其化学成分存在一定重叠。PCA 结果与 HCA 结果一致，将 24 批荆防颗粒样品分为 3 类。然而在熵权 TOPSIS 法综合质量排序中，在 HCA 中显示批次间化学成分稳定性较好的厂家的得分排名中游靠后。与之相反，Q4 及 Q5 厂家在 HCA 中显示批间一致性较差，但综合质量排序却优于其他厂家的样品，这表明 Q4、Q5 厂家虽在批次间一致性方面存在不足，但蛇床子素与白花前胡乙素等活性成分含量更为突出。这提示，化学计量学分析虽可实现批量样品分组、直观呈现批次差异，但熵权 TOPSIS 法可根据信息熵完成客观权重赋值，整合测定指标构建综合质量评价模型，量化各样品综合质量得分并排序，弥补了化学计量学难以定量综合评价的局限，在进行中药的质量评价时应结合 2 种方法，使中药的质量评价体系更加科学全面[31-32]。结合 OPLS-DA 模型，基于变量重要性投影（VIP＞1）筛选出 7 个差异性化学成分，分别为柴胡皂苷 A、橙皮苷、紫花前胡苷、柚皮苷、甘草苷、佛手柑内酯、蛇床子素，提示以上 7 个成分可能是造成荆防颗粒质量分化的主要敏感标志物。

4 结论

本研究采用 UPLC-MS/MS 法建立了测定升麻素苷、升麻素、紫花前胡苷、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷、补骨脂素、花椒毒素、佛手柑内酯、蛇床子素、白花前胡乙素、甘草苷、柚皮苷、橙皮苷、新橙皮苷、柴胡皂苷 A 15 种成分含量的分析方法，结合化学计量学技术及熵权 TOPSIS 法对不同厂家样品的综合质量进行评价，该方法操作简便、稳定可行、分析高效、多成分同步检测、结果准确可靠，可用于后续荆防颗粒质量标准制定研究。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 赵琰, 张贵民. 荆防颗粒求真: 源流与应用 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 2021: 2.

[2] 高铭, 丁美灵, 雷紫琴, 等. 荆防败毒散及其中成药制剂研究进展 [J]. 中药药理与临床, 2023, 39(5): 112-118.

[3] 顾梦艳, 蒋倩, 詹金玉. 荆防颗粒联合奥司他韦治疗小儿流行性感冒的临床研究 [J]. 现代药物与临床, 2024, 39(11): 2848-2852.

[4] 高文博, 高文硕, 葛铁, 等. UHPLC-MS/MS 同时测定橘红丸中的贝母素甲和贝母素乙含量 [J]. 中国处方药, 2026, 24(5): 18-21.

[5] Li J X, Li S Y, Zhou Y, *et al*. Detect 15 pesticides fungicide in edible fungi by multiplug filtration clean-up pretreatment technology with ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Hyg Res*, 2021, 50(4): 633-640.

[6] Zaldarriaga Heredia J, Wagner M, Jofré F C, *et al*. An overview on multi-elemental profile integrated with chemometrics for food quality assessment: Toward new challenges [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2023, 63(26): 8173-8193.

[7] Liu X X, Chen Z J, Wang X, *et al*. Quality assessment and classification of *Codonopsis Radix* based on fingerprints and chemometrics [J]. *Molecules*, 2023, 28(13): 5127.

[8] 郑文炜, 林雨佳, 郑傲梅, 等. 基于指纹图谱定性、多成分定量结合化学计量学与熵权-TOPSIS 法的健心颗粒质量评价研究 [J]. 中国药学杂志, 2026, 61(2): 209-218.

[9] 贺方良, 程显隆, 李明华, 等. 权重赋值法在多指标综合评价中的研究进展及其在中药质量评价中的应用展

望 [J]. 中国现代中药, 2024, 26(1): 224-232.

[10] 乐意, 周世欢, 于芷芩, 等. 基于信息熵最大化联合总量统计矩-熵权 TOPSIS 法的枳实与枳壳化学成分含量差异及精准鉴别研究 [J]. 中草药, 2026, 57(7): 2740-2750.

[11] 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.

[12] 梁红宝, 姜宇珺, 袁晓梅, 等. 基于 GC-MS 和 UPLC-Q-Exactive MS 技术的荆防颗粒化学成分研究 [J]. 中草药, 2022, 53(6): 1697-1708.

[13] 郑振秋, 巩长芹, 张雪, 等. HPLC-MS/MS 法同时测定荆防颗粒中 10 种成分 [J]. 中成药, 2023, 45(12): 3901-3905.

[14] 吕婧, 高燕, 赵渤年, 等. 荆防颗粒增强免疫作用机制研究 [J]. 中草药, 2024, 55(16): 5541-5550.

[15] 曹小宇, 黄佳奇, 陈美琳, 等. 基于网络药理学的荆防颗粒治疗荨麻疹作用机制研究 [J]. 中国医院用药评价与分析, 2022, 22(9):1029-1035.

[16] 曹思思, 史磊, 孙佳琳, 等. 防风的化学成分及药理作用研究进展 [J]. 现代中药研究与实践, 2021, 35(1): 95-102.

[17] 张英秀, 张剑光, 哈马莫支阿木, 等. 羌活抗炎质量标志物的挖掘及资源评价 [J]. 中草药, 2023, 54(2): 652-662.

[18] 东红阳, 王连睿, 安一珂, 等. 独活的质量控制现状及质量标志物 (Q-Marker) 预测分析 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(7): 190-194.

[19] 白翠慧, 侯国栋, 关永霞, 等. 独活化学成分及药理作用研究进展 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(10): 129-144+278.

[20] 欧阳辉发, 王友琴, 赵淋仙, 等. 濒危药材羌活化学成分、药理作用、药代动力学研究进展及其应用分析 [J]. 中药与临床, 2023, 14(4): 105-111.

[21] 宋芷琪, 李斌, 田琨宇, 等. 前胡与紫花前胡的化学成分和药理作用研究进展 [J]. 中草药, 2022, 53(3): 948-964.

[22] Sun P, Li Y J, Wei S, *et al*. Pharmacological effects and chemical constituents of *Bupleurum* [J]. *Mini Rev Med Chem*, 2019, 19(1): 34-55.

[23] 王慧, 钟国跃, 张寿文, 等. 枳壳化学成分、药理作用的研究进展及其质量标志物的预测分析 [J]. 中华中医药学刊, 2022, 40(9): 184-192.

[24] Qin J Y, Chen J R, Peng F, *et al*. Pharmacological activities and pharmacokinetics of liquiritin: A review [J]. *J Ethnopharmacol*, 2022, 293: 115257.

[25] 曾铃, 刘耕, 王庆伟, 等. 甘草苷、甘草酸提取工艺优化及抗氧化活性 [J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2026, 46(3): 105-114.

[26] Zhao X Y, Zhou M W. Review on chemical constituents of *Schizonepeta tenuifolia* Briq. and their pharmacological effects [J]. *Molecules*, 2022, 27(16): 5249.

[27] 刘英男, 牛凤菊, 辛义周, 等. 荆芥的化学成分、药理作用及临床应用研究进展 [J]. 中国药房, 2020, 31(11): 1397-1402.

[28] Wang Y, Wu L Y, Wang H L, *et al*. *Ligusticum chuanxiong*: A chemical, pharmacological and clinical review [J]. *Front Pharmacol*, 2025, 16: 1523176.

[29] 冯雪, 郭晓松, 谢菲, 等. 茯苓化学成分及药理作用的研究进展 [J]. 中草药, 2026, 57(5): 1947-1957.

[30] Zhang S N, Chai X Y, Hou G G, *et al*. *Platycodon grandiflorum* (Jacq.) A. DC.: A review of phytochemistry, pharmacology, toxicology and traditional use [J]. *Phytomedicine*, 2022, 106: 154422.

[31] 杨柳, 姚晨, 武红娜, 等. 多指标成分定量结合化学计量学评价腰息痛胶囊质量 [J]. 现代药物与临床, 2026, 41(6):1636-1642.

[32] 袁梦如, 姚雪, 闫明, 等. 基于多指标定量指纹图谱及大类成分分析的芍药甘草汤基准样品质量评价 [J]. 药物评价研究, 2025, 48(7): 1920-1933.

[责任编辑 郑礼胜]