

基于物理-化学-味觉多维信息融合的枳实薤白桂枝汤基准样品质量评价

李小美^{1,2}, 王雪松^{3,4}, 陶振^{3,4}, 姚雪^{2,3,4}, 徐小龙⁵, 殷洪梅^{2,3,4*}, 王振中^{1,2,4*}

1. 中药制药过程控制与智能制造技术全国重点实验室(江苏康缘药业股份有限公司/南京中医药大学), 江苏 南京 211112
2. 南京中医药大学康缘中药学院, 江苏 南京 210023
3. 江苏省海洋药物和现代中药创制重点实验室, 江苏 连云港 222001
4. 江苏康缘药业股份有限公司, 江苏 连云港 222001
5. 连云港市中医院, 江苏 连云港 222000

摘要: 目的 建立 15 批经典名方枳实薤白桂枝汤(Zhishi Xiebai Guizhi Decoction, ZXGD) 基准样品的物理、化学、味觉指纹图谱及 3 种指标成分的含量测定方法。方法 制备 15 批 ZXGD 基准样品, 以固含量、电导率、折光率、表面张力、密度及 pH 值 6 个物理参数构建物理指纹图谱, 使用相似度评价、主成分分析和聚类分析对其进行分析评价; 采用 HPLC 法建立 ZXGD 基准样品的化学指纹图谱, 并进行相似度评价, 对肉桂酸、桂皮醛和辛弗林 3 种指标成分进行含量测定; 采用电子舌技术对 ZXGD 基准样品的味觉进行分析, 构建味觉雷达图, 并绘制热图分析味觉与化学指标成分含量、物理属性的相关性。**结果** 15 批 ZXGD 基准样品的物理指纹图谱与对照图谱相似度均大于 0.9; 物理属性的聚类结果显示, 15 批 ZXGD 基准样品聚为 2 类, S1、S6、S11、S12、S15 聚为一类, 其余基准样品聚为一类; 3 个指标成分含量的聚类结果与物理指纹图谱一致; 热图分析显示, 桂皮醛、辛弗林与苦味、苦味回味、咸味、碱性苦味回味相关性较强 ($P < 0.05$); pH 值与酸味、丰富性显著相关; 辛弗林与电导率、折光率、pH 值有相关性。**结论** ZXGD 基准样品的物理、化学与味觉属性间具有相关性, 建立的“物理-化学-味觉”多维评价模式能更全面地反映整体质量, 为 ZXGD 基准样品的质量控制和复方制剂开发提供科学依据。

关键词: 枳实薤白桂枝汤; 物理指纹图谱; 化学指纹图谱; 电子舌; 质量控制; 多维信息融合; 基准样品; 肉桂酸; 桂皮醛; 辛弗林

中图分类号: R283.6 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)06-2075-11

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.06.007

Quality evaluation of Zhishi Xiebai Guizhi Decoction benchmark samples based on multidimensional fusion of physical, chemical and taste information

LI Xiaomei^{1,2}, WANG Xuesong^{3,4}, TAO Zhen^{3,4}, YAO Xue^{2,3,4}, XU Xiaolong⁵, YIN Hongmei^{2,3,4}, WANG Zhenzhong^{1,2,4}

1. State Key Laboratory of Technologies for Chinese Medicine Pharmaceutical Process Control and Intelligent Manufacture (Jiangsu Kanion Pharmaceutical Co., Ltd./Nanjing University of Chinese Medicine), Nanjing 211112, China
2. Kanion School of Chinese Materia Medica, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China
3. Jiangsu Key Laboratory on Innovation for Marine Medicine and Modern Chinese Medicine, Lianyungang 222001, China
4. Jiangsu Kanion Pharmaceutical Co., Ltd., Lianyungang 222001, China
5. Lianyungang Traditional Chinese Medicine Hospital, Lianyungang 222000, China

Abstract: Objective To establish the physical, chemical, and taste fingerprints of 15 batches of the classic traditional Chinese medicine formula Zhishi Xiebai Guizhi Decoction (ZXGD, 枳实薤白桂枝汤) benchmark samples, as well as a method for determining the content of three index components. **Methods** Fifteen batches of ZXGD benchmark samples were prepared. A physical fingerprint

收稿日期: 2025-10-31

基金项目: 国家长三角科技创新共同体联合攻关项目(2023CSJGG1700)

作者简介: 李小美(2001—), 女, 硕士研究生, 研究方向为药物制剂与产品研发。E-mail: lcegrant2001@163.com

*通信作者: 王振中, 研究员, 博士生导师, 研究方向为中药新药创制与过程控制研究。E-mail: kyywzz@163.com

殷洪梅, 博士, 研究方向为中药制剂研发。E-mail: yinhongmei1010@126.com

was constructed using six physical parameters: solid content rate, conductivity, refractive index, surface tension, density, and pH value. Similarity evaluation, principal component analysis (PCA), and cluster analysis were employed for analytical evaluation of this physical fingerprint. HPLC was used to establish the chemical fingerprint of ZXGD, followed by similarity evaluation of the chemical fingerprint. Additionally, the contents of three index components (cinnamic acid, cinnamaldehyde, and synephrine) were determined via HPLC. Electronic tongue technology was applied to analyze the taste of ZXGD, construct a taste radar chart, and generate a heatmap to analyze the correlation between taste, chemical component contents, and physical properties. **Results** The similarity between the physical fingerprint of each of the 15 batches of benchmark samples and the control fingerprint was greater than 0.9. Results of hierarchical cluster analysis showed that the 15 batches of samples were clustered into two groups: one group included samples S1, S6, S11, S12, and S15, while the remaining benchmark samples formed the other group. Cluster analysis based on the contents of the three index components showed results consistent with those of the physical fingerprint analysis. The heatmap revealed that cinnamaldehyde and synephrine were strongly correlated with bitterness, bitter aftertaste, saltiness, and alkaline bitter aftertaste ($P < 0.05$); pH value was significantly associated with sourness and richness; while synephrine exhibited correlation with electrical conductivity, refractive index, and pH value. **Conclusion** There is a correlation among the physical, chemical and taste attributes of ZXGD benchmark samples. The established “physical-chemical-sensory” multi-dimensional evaluation model can more comprehensively reflect the overall quality, providing a scientific basis for the quality control of ZXGD benchmark samples and the development of compound preparations.

Key words: Zhishi Xiebai Guizhi Decoction; physical fingerprint; chemical fingerprint; electronic tongue; quality control; multidimensional fusion; benchmark sample; cinnamic acid; cinnamaldehyde; synephrine

枳实薤白桂枝汤 (Zhishi Xiebai Guizhi Decoction, ZXGD) 出自汉代张仲景的《金匱要略》, 曰: “枳实四枚, 厚朴四两, 薤白半斤, 桂枝一两, 瓜蒌实一枚 (捣)。上五味, 以水五升, 先煮枳实、厚朴, 取二升, 去滓, 内诸药, 煮数沸, 分温三服”。全方由枳实、厚朴、薤白、桂枝、瓜蒌 5 味中药组成, 具有行气祛痰、通阳散结的功效, 是用于治疗胸痹的名方^[1]。现代药理学表明, ZXGD 具有保护心肌细胞、增强心功能等作用, 临床用于治疗冠心病、心绞痛、心肌梗死等疾病, 疗效确切^[2-3]。其中桂皮醛、辛弗林为桂枝、枳实 2 味药材在《中国药典》2025 年版中的质控指标。肉桂酸、桂皮醛为桂枝的核心活性成分, 具有抗炎、改善微循环作用^[4]; 辛弗林作为枳实的主要活性生物碱成分, 具有强心、升压作用^[5], 是该方“行气”功效的关键物质基础, 故选择这 3 种成分作为化学成分质控指标。

当前, 含量测定、化学指纹图谱是 ZXGD 质量一致性评价的常用方法, 但这类方法多聚焦于化学成分的定性定量分析, 并没有考量中药复方制剂的物理属性, 无法全面表征中药复方制剂的品质^[6-8]。制剂的物理属性作为基础属性常被忽视, 其与中药的成分、药效之间同样存在着必然联系^[9]。在物理指标中, 电导率 (σ) 与药液中离子的含量相关; pH 值为氢离子浓度指数, 是溶液中氢离子活动的一种标志; 汤剂中固体物质的含量 (solid content, SC) 是制剂研究和质量控制的重要参考指标, 通常采用

烘干法进行测定; 表面张力 (γ) 反映了药液中药物的溶解性, 折光率 (n) 反映了药液的澄明度, 均对制剂质量产生一定的影响^[10-12]。

同时, 传统感官评价依赖人工主观判断, 即便引入电子舌, 也多停留在基础味觉数据记录以及与化学成分的相关性分析, 未建立味觉特征与物理属性、化学成分的关联性^[13], 难以形成“物理-化学-味觉”协同的多维评价体系, 影响基准样品的质量一致性与可控性。故本研究将物理指纹图谱、化学指纹图谱、含量测定以及味觉指纹图谱相结合, 构建多维度质量评价模式, 系统、深入地表征基准样品的质量特征, 为中药复方制剂质量控制及其一致性评价水平提供参考。

1 仪器与材料

1.1 仪器

SA402B Plus-EX 型电子舌, 日本 Insent 公司; Waters e2695 型高效液相色谱仪, 美国 Waters 公司; DDS-307A 型电导率仪, 上海仪电科学仪器股份有限公司; WAY-2W 型阿贝折射仪, 上海仪电物理光学仪器有限公司; QBZY 型系列全自动表面张力仪, 上海方瑞仪器有限公司; Seven Direct SD20 pH 计、AL204 型电子分析天平 (精度 0.1 mg)、XP6 电子分析天平 (精度 1.0 mg), 梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司; TG16MW 型台式高速离心机, 湖南赫西仪器装备有限公司; DHG-9145A 型电热鼓风干燥箱、HWS26 型电热恒温水浴锅, 上海一恒科学仪

器有限公司; Milli-Q 纯水仪, 德国 Merck 公司。

1.2 药材与试剂

对照品紫丁香苷(批号 111574-202106, 质量分数 94.3%)、木兰花碱(批号 112090-202201, 质量分数 99.9%)、毛蕊花糖苷(批号 111530-202315, 质量分数 97.6%)、新橙皮苷(批号 111857-202305, 质量分数 99.6%)、橙皮苷(批号 110721-202220, 质量分数 97.2%)、柚皮苷(批号 110722-202417, 质量分数 96.1%)、肉桂酸(批号 110786-202305, 质量分数 99.8%)、厚朴酚(批号 110729-202316, 质量分数 99.2%)、和厚朴酚(批号 110730-202416, 质量分数 99.8%)、桂皮醛(批号 110710-202424, 质量分数 99.2%)、辛弗林(批号 110727-202110, 质量分数 99.8%), 中国食品药品检定研究院。乙腈、甲醇为色谱纯, 湖北弗顿科学技术有限公司; 磷酸、磷酸二氢钾、冰醋酸、氯化钾为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 十二烷基磺酸钠为分析纯, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司; 水为实验室自制超纯水。

ZXGD 中 5 味药材均各收集 15 个批次, 编号及产地信息见表 1。实验所用药材枳实、厚朴、薤白、桂枝、瓜蒌均经沈阳药科大学中药学院中药资源学教研室贾景明教授鉴定, 枳实为芸香科柑橘属小乔木植物酸橙 *Citrus aurantium* L. 及其栽培变种的干燥幼果, 厚朴为木兰科木兰属植物厚朴 *Magnolia officinalis* Rehd. et Wils. 的干燥干皮、根皮及枝皮, 薤白为百合科葱属植物小根蒜 *Allium macrostemon* Bge. 的干燥鳞茎, 桂枝为樟科樟属植物肉桂 *Cinnamomum cassia* Presl 的干燥嫩枝, 瓜蒌为葫芦科栝楼属植物栝楼 *Trichosanthes kirilowii* Maxim. 的干燥成熟果实。各味中药均符合《中国药典》2025 年版的规定。

表 1 ZXGD 各 15 批药材饮片编号及产地信息

Table 1 Number and origin information of 15 batches of each herbal decoction piece of ZXGD prescription

饮片	编号	产地	饮片	编号	产地
枳实	ZS-01~ZS-05	江西新干	薤白	XB-11~XB-15	山东临沂
枳实	ZS-06~ZS-10	江西樟树	桂枝	GZ-01~GZ-05	广西贵港
枳实	ZS-11~ZS-15	湖南益阳	桂枝	GZ-06~GZ-10	广西玉林
厚朴	HP-01~HP-05	四川江都	桂枝	GZ-11~GZ-15	广东肇庆
厚朴	HP-06~HP-10	四川绵阳	瓜蒌	GL-01~GL-05	江苏宿迁
厚朴	HP-11~HP-15	重庆武隆	瓜蒌	GL-06~GL-10	山西运城
薤白	XB-01~XB-05	山西运城	瓜蒌	GL-11~GL-15	安徽安庆
薤白	XB-06~XB-10	陕西渭南			

2 方法与结果

2.1 ZXGD 基准样品的制备

称取枳实饮片 55.20 g、厚朴饮片 55.20 g, 加水 1 000 mL, 武火煎煮 20 min 至沸后转至文火继续煎煮 110 min 至 400 mL, 去渣, 下入薤白饮片 110.00 g、桂枝饮片 13.80 g、瓜蒌饮片 60.00 g, 煮三沸(沸腾后离火, 不沸后再加热, 重复 3 次), 滤过, 即得 ZXGD 基准样品。按照上述方法制备 15 批 ZXGD 基准样品, 分别编号为 S1~S15。饮片混批样品信息见表 2。

表 2 15 批 ZXGD 基准样品的饮片混批样品信息

Table 2 Information of mixed batch of 15 batches of ZXGD benchmark samples

ZXGD 基准样品	药材编号				
	枳实	厚朴	薤白	桂枝	瓜蒌
S1	ZS-15	HP-10	XB-05	GZ-10	GL-09
S2	ZS-01	HP-07	XB-14	GZ-11	GL-10
S3	ZS-13	HP-03	XB-13	GZ-13	GL-04
S4	ZS-06	HP-06	XB-04	GZ-01	GL-05
S5	ZS-08	HP-14	XB-03	GZ-07	GL-13
S6	ZS-05	HP-13	XB-01	GZ-15	GL-14
S7	ZS-04	HP-02	XB-07	GZ-08	GL-06
S8	ZS-11	HP-05	XB-08	GZ-04	GL-02
S9	ZS-02	HP-04	XB-02	GZ-02	GL-07
S10	ZS-12	HP-09	XB-12	GZ-12	GL-08
S11	ZS-03	HP-08	XB-15	GZ-06	GL-11
S12	ZS-07	HP-11	XB-09	GZ-05	GL-15
S13	ZS-09	HP-01	XB-06	GZ-09	GL-03
S14	ZS-10	HP-12	XB-10	GZ-03	GL-01
S15	ZS-14	HP-15	XB-11	GZ-14	GL-12

2.2 ZXGD 基准样品物理指纹图谱的构建

2.2.1 ZXGD 基准样品物理参数的测定 参考《中国药典》2025 年版四部通则及文献报道^[14-15], 对 15 批 ZXGD 基准样品物理参数进行测定, 参数均平行测定 3 次, RSD 均小于 2.0%。具体检测方法如下, 结果见表 3。

(1) 固含量(SC): 称取 ZXGD 基准样品 20 g, 置于已干燥至恒定质量的蒸发皿 (m_1) 中, 再将其置于电热鼓风干燥箱 105 °C 下干燥至恒定质量 (m_2)。按公式计算如下。

$$\text{固含量} = (m_2 - m_1) / 20$$

(2) 电导率(σ): 采用电导率仪测定 ZXGD 基准样品的 σ , 测定前需校正电极常数, 将 ZXGD 基准样品恒温水浴至 25 °C。

表3 ZXGD 基准样品物理参数检测结果

Table 3 Test results of physical parameters of ZXGD benchmark samples

样品	SC/%	$\sigma/$ (mS·cm ⁻¹)	n	$\gamma/$ (mN·m ⁻¹)	$\rho/$ (g·mL ⁻¹)	pH值
S1	10.62	5.71	1.351 5	40.14	1.03	4.72
S2	12.02	6.23	1.354 0	43.21	1.03	4.71
S3	12.58	5.99	1.355 5	42.00	1.02	4.53
S4	10.72	6.47	1.353 0	41.90	1.03	4.72
S5	11.38	6.11	1.353 0	42.65	1.03	4.89
S6	10.76	5.53	1.351 5	43.25	1.03	4.87
S7	11.30	5.84	1.355 5	42.13	1.02	4.66
S8	12.30	6.24	1.355 0	42.17	1.03	4.76
S9	12.08	6.46	1.355 0	41.73	1.05	4.63
S10	11.42	5.80	1.353 5	40.76	1.05	4.64
S11	10.80	5.51	1.350 5	42.80	1.05	4.84
S12	10.68	5.53	1.351 0	42.83	1.05	4.90
S13	11.80	6.44	1.354 5	41.12	1.02	4.62
S14	11.16	6.22	1.352 5	41.85	1.02	4.64
S15	11.72	5.51	1.355 5	42.65	1.02	4.87

(3) 折光率 (n): 采用折光率仪进行 ZXGD 基准样品 n 测定, 测定前用纯水进行校准, 吸取 2~3 滴 ZXGD 基准样品滴于棱镜上, 通过目镜观察, 待明暗分界线清晰且与十字交点重合时, 读取并记录刻度盘上的 n 数值, 将 ZXGD 基准样品恒温水浴至 20 °C。

(4) 表面张力 (γ): 采用表面张力仪测定 ZXGD 基准样品 γ , 测定前对仪器进行满量程校准, 将铂环浸入液体中进行测试, 将 ZXGD 基准样品恒温水浴至 25 °C。

(5) 密度 (ρ): 采用密度计进行 ZXGD 基准样品 ρ 测定。

(6) pH 值: 采用 pH 计测定 ZXGD 基准样品 pH 值, 测定前使用标准缓冲液校正仪器, 将 ZXGD 基准样品恒温水浴至 25 °C。

2.2.2 物理参数的标准转换 由于各物理参数的数值大小与量纲存在差异, 直接分析易导致评价结果偏离准确性, 参考相关文献中的物理性质指标数值范围及检测结果, 对所有物理参数进行标准化处理以统一尺度^[16-17], 使转换后的数值控制在 0~10 范围内, 各物理参数的数值范围及转换公式见表 4, 15 批 ZXGD 基准样品的物理参数转换后的结果见表 5。

2.2.3 ZXGD 基准样品物理指纹图谱的构建及相似

表4 ZXGD 基准样品提取液物性数据的标准化转化方法

Table 4 Standardized conversion method of ZXGD benchmark sample extract physical parameters

物理指标	单位	数值范围 (x)	转换公式
SC	%	0~20	$x/2$
σ	mS·cm ⁻¹	1~7	-
n	-	0~2	$5x$
γ	mN·m ⁻¹	0~100	$x/10$
ρ	g·mL ⁻¹	0~1.5	$20x/3$
pH值	-	0~10	-

表5 ZXGD 基准样品物理参数标准化数值

Table 5 Standardized values of physical parameters of ZXGD benchmark samples

样品	SC	σ	n	γ	ρ	pH值
S1	5.31	5.71	6.757 5	4.01	6.87	4.72
S2	6.01	6.23	6.770 0	4.32	6.87	4.71
S3	6.29	5.99	6.777 5	4.20	6.80	4.53
S4	5.36	6.47	6.765 0	4.19	6.87	4.72
S5	5.69	6.11	6.765 0	4.27	6.87	4.89
S6	5.38	5.53	6.757 5	4.33	6.87	4.87
S7	5.65	5.84	6.777 5	4.21	6.80	4.66
S8	6.15	6.24	6.775 0	4.22	6.87	4.76
S9	6.04	6.46	6.775 0	4.17	7.00	4.63
S10	5.71	5.80	6.767 5	4.08	7.00	4.64
S11	5.40	5.51	6.752 5	4.28	7.00	4.84
S12	5.34	5.53	6.755 0	4.28	7.00	4.90
S13	5.90	6.44	6.772 5	4.11	6.80	4.62
S14	5.58	6.22	6.762 5	4.19	6.80	4.64
S15	5.86	5.51	6.777 5	4.27	6.80	4.87

度评价 采用 Origin 2024 软件绘制雷达图^[18], 作为物理指纹图谱, 该图以 15 批 ZXGD 基准样品转换后的物理参数数值为半径, 结果见图 1。以 15 批基准样品中各物理参数的均值构建对照图谱 (R), 使用 SPSS 27 统计软件的 Pearson 相关性分析计算各批次 ZXGD 基准样品间相似度, 15 批 ZXGD 基准样品的相似度均大于 0.9, 表明不同批次的 ZXGD 基准样品物理性质差异较小。

2.2.4 ZXGD 基准样品物理指纹图谱的层次聚类分析 (hierarchical cluster analysis, HCA) 和主成分分析 (principal component analysis, PCA)

(1) HCA: 使用 SPSS 27 软件进行 HCA, 结果见图 2, 当平方欧式距离 $d=15$ 时, 15 批 ZXGD 基准样品聚为 2 类, 其中 S1、S6、S11、S12、S15 聚为一类, 其余 ZXGD 基准样品聚为一类^[19]。

(2) PCA: 使用 SPSS 27 软件对数据进行 KMO

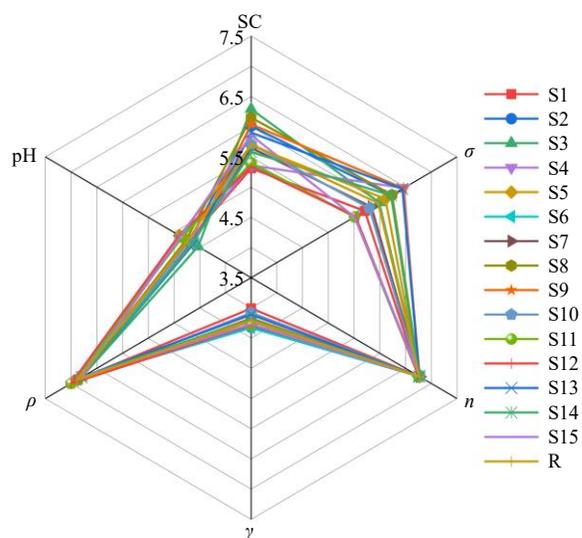


图1 15批ZXGD基准样品叠加物理指纹图谱及对照物理指纹图谱

Fig. 1 Superimposed physical fingerprint of 15 batches of ZXGD benchmark samples and control physical fingerprint

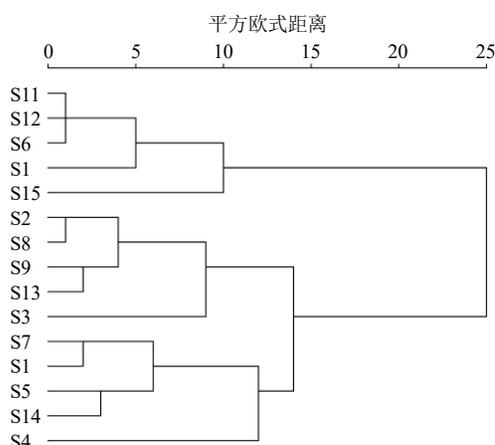


图2 15批ZXGD基准样品的物理指纹图谱HCA图
Fig. 2 HCA of physical fingerprint of 15 batches of ZXGD benchmark samples

(Kaiser-Meyer Olkin) 和巴特利特特检, $KMO > 0.5$, 巴特利特检验显著性 < 0.05 , 表明研究变量之间的相关性良好, 满足PCA条件, 可以进行PCA并计算主成分特征值及方差贡献率^[20]。使用SIMCA 14.1软件绘制15批ZXGD基准样品的PCA得分图, 结果见图3。提取出3个主成分, 累积方差贡献率达到84.20%。由PCA得分图可知, S1、S6、S10、S11、S12、S15较为偏离, 其余较集中, 15批ZXGD基准样品物理参数之间存在差异, 由图1可知, PCA的结果主要受电导率以及固含量的影响。

利用Hotelling's T^2 和 DModX 控制图对15批ZXGD基准样品的质量进行监控, 结果见图4。结果显示, 15批ZXGD基准样品均在 T^2 临界值(95%)

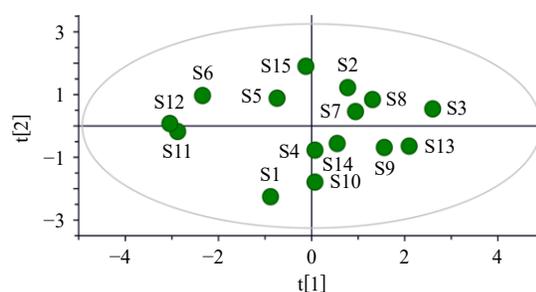


图3 15批ZXGD的PCA图
Fig. 3 PCA diagram of 15 batches of ZXGD

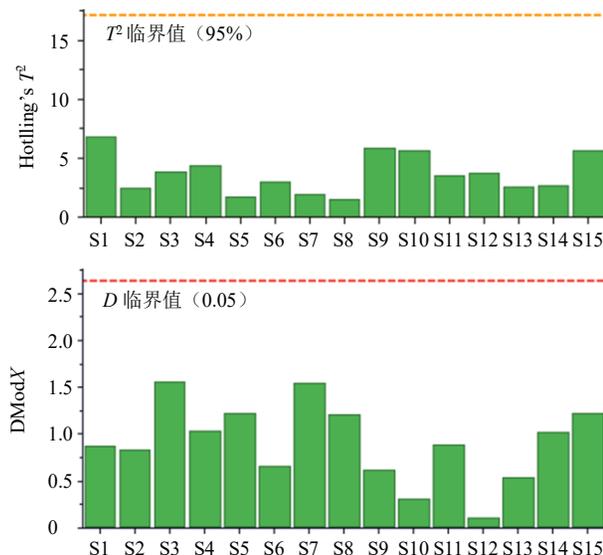


图4 15批ZXGD基准样品的Hotelling's T^2 和 DModX 的控制图

Fig. 4 Control chart of Hotelling's T^2 and DModX of 15 batches of ZXGD benchmark samples

警戒线和 D 临界值 (0.05) 控制限内, 其控制上限分别为 17.088 6 和 2.643, 未出现异常批次, 表明ZXGD基准样品物理性质较稳定^[21]。

2.3 ZXGD 基准样品化学指纹图谱研究

2.3.1 色谱条件 Waters e2695 型高效液相色谱仪; 色谱柱为 Shimadzu Shim-pack Gist C_{18} -AQ (250 mm \times 4.6 mm, 5 μ m) 柱; 流动相为乙腈-0.1%磷酸水溶液, 梯度洗脱: 0~10 min, 10%~15%乙腈; 10~20 min, 15%~20%乙腈; 20~30 min, 20%~22%乙腈; 30~45 min, 22%~35%乙腈; 45~50 min, 35%乙腈; 50~65 min, 35%~95%乙腈; 65~70 min, 95%乙腈; 体积流量 1 mL/min; 柱温 30 $^{\circ}$ C; 进样量 10 μ L; 采用定时波长为 (0~28 min, 235 nm; 28~42 min, 330 nm; 42~70 min, 300 nm)。

2.3.2 供试品溶液的制备 取“2.1”项下ZXGD基准样品, 摇匀, 过 0.22 μ m 微孔滤膜滤过, 取滤液, 即得。同法制备 15 批 ZXGD 供试品溶液。

2.3.3 对照品溶液的制备 精密称取紫丁香苷、木兰花碱、毛蕊花糖苷、柚皮苷、橙皮苷、新橙皮苷、肉桂酸、厚朴酚、和厚朴酚对照品适量，甲醇溶解，制成质量浓度分别为 29.33、31.40、46.36、78.23、36.74、56.92、51.35、39.68、24.90 $\mu\text{g/mL}$ 的混合对照品溶液。

2.3.4 精密度试验 取 ZXGD 基准样品 (S1)，处理成相应的供试品溶液，在“2.3.1”项下色谱条件进样测定 6 次，以分离度、保留时间良好的柚皮苷峰 (12 号峰) 为参照峰，测得各共有峰相对保留时间的 $\text{RSD} < 0.12\%$ ，相对峰面积的 $\text{RSD} < 1.51\%$ ，结果表明该仪器精密度良好。

2.3.5 稳定性试验 取“2.3.2”项下方法制备的供试品溶液 (S1)，分别在制备后 0、2、4、8、12、24 h，按照“2.3.1”项下色谱条件进样测定，以分离度、保留时间良好的柚皮苷峰 (12 号峰) 为参照峰，测得各共有峰相对保留时间的 $\text{RSD} < 1.28\%$ ，相对峰面积的 $\text{RSD} < 1.63\%$ ，结果表明供试品溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.3.6 重复性试验 取同一份基准样品 (S1)，平行制备 6 份供试品溶液，在“2.3.1”项下色谱条件依次进样测定，以分离度、保留时间良好的柚皮苷峰 (12 号峰) 为参照峰，测得各共有峰相对保留时间的 $\text{RSD} < 0.09\%$ ，相对峰面积的 $\text{RSD} < 2.37\%$ ，结果表明该方法重复性良好。

2.3.7 ZXGD 基准样品化学指纹图谱的构建及相似

度评价 将 15 批 ZXGD 基准样品按照“2.3.2”项下方法处理制备成供试品溶液，分别按照“2.3.1”项下色谱条件进样分析，将指纹图谱信息导入《中药色谱指纹图谱相似度评价系统 (2012 版)》，以编号 S1 的样品色谱图为参照图谱，设置时间窗宽度为 0.1 min，经多点校正后进行峰匹配，生成 15 批样品的指纹图谱，并采用中位数法生成对照指纹图谱 (R)。结果 (图 5) 显示，在 15 批 ZXGD 基准样品中共确定 24 个共有峰，经与混合对照品溶液图谱 (图 6) 比对，确认其中的 1 号峰为紫丁香苷，6 号峰为木兰花碱，9 号峰为毛蕊花糖苷，12 号峰为柚皮苷，13 号峰为橙皮苷，14 号峰为新橙皮苷，17 号峰为肉桂酸，24 号峰为厚朴酚，25 号峰为和厚朴酚。以对照指纹图谱 R 为参照，采用《中药色谱指纹图谱相似度评价系统 (2012 版)》计算 15 批 ZXGD 基准样品指纹图谱的相似度，结果见表 6。结果显示，15 批 ZXGD 基准样品的色谱图与对照指图谱的相似度均在 0.960 以上，表明不同批次的 ZXGD 基准样品化学成分较为稳定，所建立的化学指纹图谱质量较为稳定，但样品中各成分含量仍存在差异。

2.4 3 种指标成分含量测定

2.4.1 色谱条件

(1) 辛弗林: 色谱柱为 Waters Symmetry-C₁₈ 柱 (250 mm \times 4.6 mm, 5 μm); 流动相为甲醇-磷酸二氢钾溶液 (取磷酸二氢钾 0.6 g, 十二烷基磺酸钠 1.0 g,

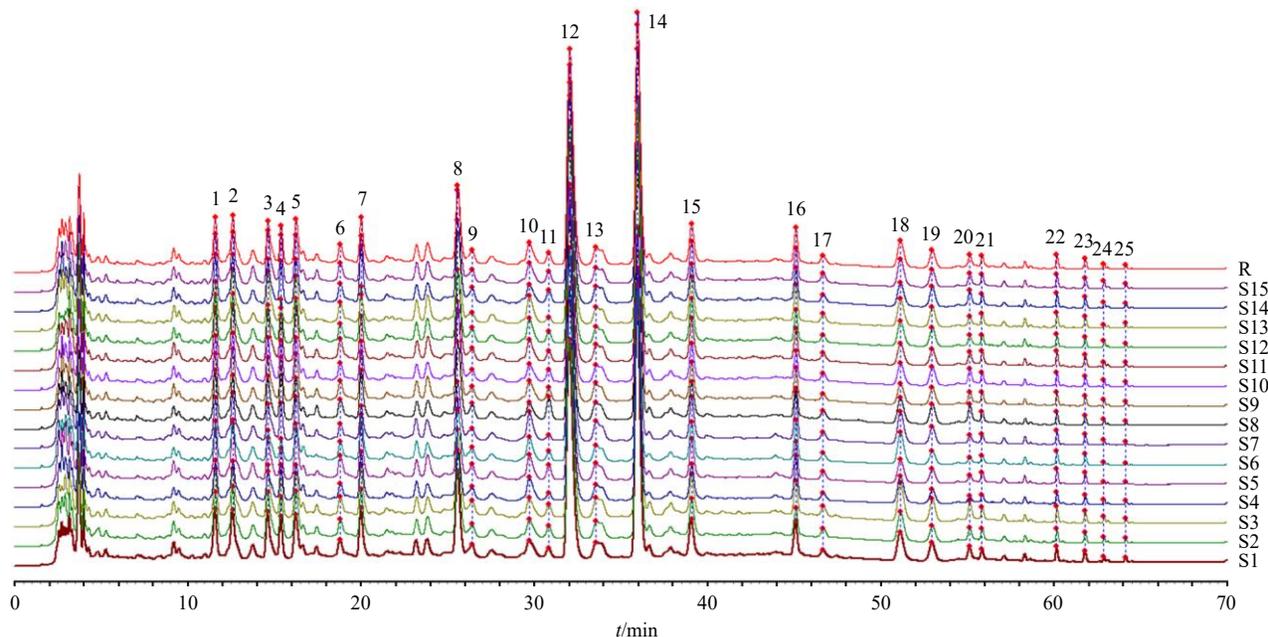
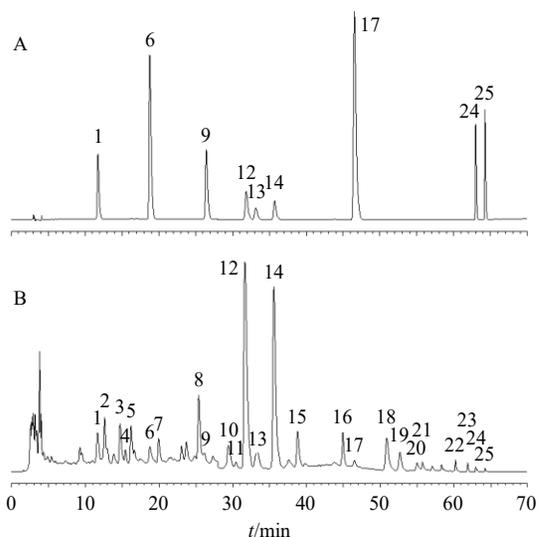


图 5 15 批 ZXGD 基准样品 HPLC 叠加图及对照指纹图谱 (R)

Fig. 5 HPLC superposition diagram and control fingerprint of 15 batches of ZXGD benchmark samples



1-紫丁香苷; 6-木兰花碱; 9-毛蕊花糖苷; 12-柚皮苷; 13-橙皮苷; 14-新橙皮苷; 17-肉桂酸; 24-厚朴酚; 25-和厚朴酚。
1-syringin; 6-magnoflorine; 9-verbascoside; 12-naringin; 13-hesperidin; 14-neohesperidin; 17-cinnamic acid; 24-magnolol; 25-honokiol.

图6 混合对照品溶液 (A) 及 ZXGD 基准样品供试品溶液 (B) 的 HPLC 图

Fig. 6 HPLC of mixed reference substances solution (A) and ZXGD benchmark sample test solution (B)

冰醋酸 1 mL, 加水溶解并稀释至 1 000 mL); 等度洗脱: 0~30 min, 50%甲醇; 柱温 30 °C; 体积流量 1.0 mL/min; 检测波长 275 nm; 进样量 10 μL。

(2) 肉桂酸: 色谱柱为 Symbolic Spire SP-C₁₈ 柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相为乙腈-0.05%磷酸水溶液; 等度洗脱: 0~30 min, 28%乙腈; 柱温 25 °C; 体积流量 1.0 mL/min; 检测波长 285 nm; 进样量 10 μL。

(3) 桂皮醛: 色谱柱为 Kromasil 100-5-C₁₈ 柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相为乙腈-水; 等度洗脱: 0~30 min, 26%乙腈; 柱温 35 °C; 体积流量 1.0 mL/min; 检测波长 290 nm; 进样量 10 μL。

2.4.2 供试品溶液的制备 取“2.1”项下 ZXGD 基准样品, 摇匀, 并移取 2 mL 置于离心管中, 12 000 r/min 离心 5 min (离心半径为 10cm), 取上清液, 即得供试品溶液。

2.4.3 对照品溶液的制备

(1) 辛弗林: 精密称定辛弗林对照品适量, 加水制成含辛弗林 201.06 μg/mL 的对照品溶液, 摇匀, 即得辛弗林对照品溶液。

表 6 15 批 ZXGD 基准样品指纹图谱相似度

Table 6 Fingerprint similarity of 15 batches of ZXGD benchmark samples

样品	相似度															
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	R
S1	1.000	0.999	0.998	0.977	0.986	0.974	0.976	0.995	0.996	0.999	0.999	0.992	0.985	1.000	1.000	0.998
S2	0.999	1.000	0.998	0.974	0.984	0.971	0.973	0.996	0.996	0.999	0.999	0.990	0.983	0.999	0.999	0.997
S3	0.998	0.998	1.000	0.968	0.978	0.964	0.967	0.996	0.993	0.998	0.996	0.985	0.977	0.997	0.997	0.993
S4	0.977	0.974	0.968	1.000	0.992	0.999	0.999	0.969	0.978	0.972	0.978	0.995	0.994	0.980	0.980	0.989
S5	0.986	0.984	0.978	0.992	1.000	0.992	0.992	0.984	0.992	0.983	0.988	0.996	0.993	0.988	0.988	0.994
S6	0.974	0.971	0.964	0.999	0.992	1.000	0.998	0.965	0.975	0.968	0.975	0.993	0.994	0.976	0.976	0.986
S7	0.976	0.973	0.967	0.999	0.992	0.998	1.000	0.968	0.978	0.972	0.978	0.994	0.996	0.978	0.979	0.988
S8	0.995	0.996	0.996	0.969	0.984	0.965	0.968	1.000	0.997	0.996	0.995	0.986	0.976	0.996	0.995	0.993
S9	0.996	0.996	0.993	0.978	0.992	0.975	0.978	0.997	1.000	0.996	0.997	0.992	0.986	0.997	0.997	0.997
S10	0.999	0.999	0.998	0.972	0.983	0.968	0.972	0.996	0.996	1.000	0.999	0.989	0.982	0.999	0.999	0.996
S11	0.999	0.999	0.996	0.978	0.988	0.975	0.978	0.995	0.997	0.999	1.000	0.993	0.987	0.999	1.000	0.998
S12	0.992	0.990	0.985	0.995	0.996	0.993	0.994	0.986	0.992	0.989	0.993	1.000	0.995	0.994	0.994	0.998
S13	0.985	0.983	0.977	0.994	0.993	0.994	0.996	0.976	0.986	0.982	0.987	0.995	1.000	0.986	0.988	0.993
S14	1.000	0.999	0.997	0.980	0.988	0.976	0.978	0.996	0.997	0.999	0.999	0.994	0.986	1.000	0.999	0.998
S15	1.000	0.999	0.997	0.980	0.988	0.976	0.979	0.995	0.997	0.999	1.000	0.994	0.988	0.999	1.000	0.998
R	0.998	0.997	0.993	0.989	0.994	0.986	0.988	0.993	0.997	0.996	0.998	0.998	0.993	0.998	0.998	1.000

(2) 肉桂酸: 精密称定肉桂酸对照品适量, 加甲醇制成含肉桂酸 83.12 μg/mL 的对照品溶液, 摇匀, 即得肉桂酸对照品溶液。

(3) 桂皮醛: 精密称定桂皮醛对照品适量, 加

50%乙醇制成含桂皮醛 182.37 μg/mL 的对照品溶液, 摇匀, 即得肉桂醛对照品溶液。

2.4.4 线性关系考察 取“2.4.3”项下各对照品溶液逐级稀释, 按照“2.4.1”项下色谱条件测定不同

质量浓度下峰面积,以质量浓度为横坐标(X),峰面积为纵坐标(Y)进行线性回归,得回归方程分别为辛弗林 $Y=4\,631\,564X+328\,748$, $R^2=0.999\,8$,线性范围 $3.14\sim 201.06\ \mu\text{g/mL}$;肉桂酸 $Y=64\,288\,733X+5\,279$, $R^2=0.999\,9$,线性范围 $1.30\sim 83.12\ \mu\text{g/mL}$;桂皮醛 $Y=112\,813X+11\,977$, $R^2=0.999\,9$,线性范围 $3.80\sim 182.37\ \mu\text{g/mL}$ 。

2.4.5 精密度考察 取“2.4.3 (1) (2) (3)”项下制备的对照品溶液,按照“2.4.1 (1) (2) (3)”项下色谱条件连续进样6次,测定峰面积,计算其峰面积的RSD值分别为辛弗林0.26%、肉桂酸0.96%、桂皮醛0.21%,结果表明该仪器精密度良好。

2.4.6 稳定性考察 取ZXGD基准样品(S1),按照“2.4.2”项下方法制备供试品溶液,再按照“2.4.1 (1) (2) (3)”项下色谱条件,分别在制备后0、2、4、6、8、12、24 h进样分析,测定峰面积,计算各色谱峰的RSD值分别为辛弗林0.70%、肉桂酸0.74%、桂皮醛0.68%,结果表明供试品溶液在24 h内稳定性良好。

2.4.7 重复性试验 取同一份ZXGD基准样品(S1),按照“2.4.2”项下方法平行制备6份供试品溶液,在“2.4.1 (1) (2) (3)”项下色谱条件进样测定,记录各指标性成分峰面积,计算得各指标成分质量分数的RSD分别为辛弗林0.55%、肉桂酸0.64%、桂皮醛0.59%,结果表明各方法重复性良好。

2.4.8 加样回收率考察 精密量取已确定指标成分含量的同一批基准样品(S1)9份,分为3组,每组分别按高、中、低质量浓度分别精密加入辛弗林、肉桂酸、桂皮醛对照品溶液,按照“2.4.2”项下方法制备供试品溶液,按照“2.4.1 (1) (2) (3)”项下色谱条件进样分析,计算辛弗林的平均加样回收率为97.04%,RSD为1.58%;肉桂酸的平均加样回收率为102.80%,RSD为2.58%;桂皮醛的平均加样回收率为98.02%,RSD为1.85%。

2.4.9 样品含量测定 取15批ZXGD基准样品,按照“2.4.2”项下方法制备供试品溶液,在“2.4.1 (1) (2) (3)”项下色谱条件进样检测,记录3个指标成分峰面积,计算辛弗林、肉桂酸、桂皮醛含量,结果见表7。

并将结果导入SPSS 27软件进行HCA,结果见图7。平方欧式距离 $d=15$ 时,样品聚为2类,S1、S6、S11、S12、S15聚为一类,其余基准样品聚为一类,与物理指纹图谱结果一致。

表7 15批ZXGD基准样品中3种指标成分含量测定结果

Table 7 Content determination results of three index components in 15 batches of ZXGD benchmark samples

样品	质量浓度/(mg·mL ⁻¹)			样品	质量浓度/(mg·mL ⁻¹)		
	辛弗林	肉桂酸	桂皮醛		辛弗林	肉桂酸	桂皮醛
S1	0.351	0.030	0.110	S9	0.266	0.028	0.123
S2	0.320	0.028	0.110	S10	0.328	0.024	0.085
S3	0.306	0.029	0.117	S11	0.365	0.027	0.097
S4	0.276	0.027	0.108	S12	0.357	0.026	0.100
S5	0.307	0.23	0.101	S13	0.332	0.029	0.106
S6	0.383	0.023	0.090	S14	0.299	0.025	0.094
S7	0.300	0.027	0.115	S15	0.356	0.031	0.095
S8	0.312	0.029	0.102				

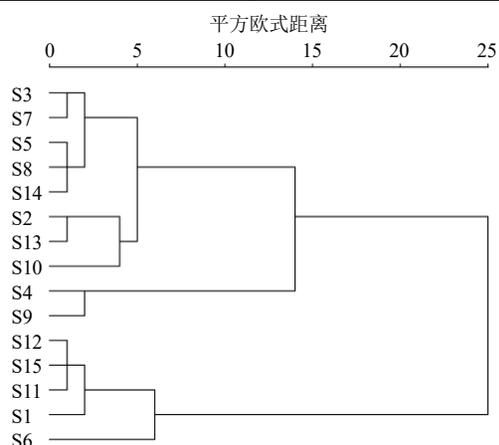


图7 15批ZXGD基准样品中指标成分含量HCA图
Fig. 7 HCA of index component content of 15 batches of ZXGD benchmark samples

2.5 电子舌分析

2.5.1 构建口感雷达图 电子舌是一种能识别、分析样品滋味成分的检测仪器,它通过多传感器阵列获取液体样品的“味觉指纹”^[22]。选择电子舌所配置的传感器对15批ZXGD基准样品进行测定,同时以氯化钾溶液作为空白溶液。以空白氯化钾溶液为起始点依次测定,根据测定程序,循环测试4次,去掉第1次循环,取后3次平均数据作为测试结果,见表8。结果显示,15批样品在碱性苦味回味的响应值处于相对突出的区间,而涩味、甜味维度响应值处于负值,其他滋味响应值处于温和区间,整体契合ZXGD“苦降辛散”的传统药性^[23]。

将味觉信息测定值结果转化为雷达图,结果见图8。以15批基准样品各味觉响应值的均值构建对照味觉指纹图谱(R),使用SPSS 27统计软件的Pearson分析计算各批次间相似度,15批ZXGD相似度均大于0.9,表明不同批次的基准样品口感差异

表 8 15 批 ZXGD 基准样品味觉信息值测定结果 (n = 3)

Table 8 Determination results of taste information values of 15 batches of ZXGD benchmark samples (n = 3)

样品	味觉信息值										
	酸味	苦味	涩味	苦味回味	涩味回味	鲜味	丰富性	咸味	甜味	碱性苦味回味	碱基盐类苦味
S1	-21.55	8.11	3.04	5.47	3.93	11.09	5.79	16.39	-7.89	44.74	-2.66
S2	-23.77	7.73	3.01	5.27	3.52	11.56	5.73	17.13	-7.92	43.09	-3.17
S3	-18.57	7.44	3.09	5.14	4.10	10.09	5.47	14.09	-7.97	42.06	-2.69
S4	-22.39	6.94	2.64	4.30	3.21	10.98	5.23	19.30	-7.34	37.46	-2.94
S5	-25.61	7.27	2.70	5.23	3.15	11.22	6.63	17.35	-8.95	42.60	-3.16
S6	-24.84	9.01	2.70	5.90	3.01	11.13	5.94	14.99	-8.35	48.88	-2.85
S7	-23.00	7.36	2.48	4.96	3.08	11.13	5.85	19.08	-7.14	39.40	-2.87
S8	-23.59	7.48	3.08	5.24	3.95	11.38	6.28	18.60	-7.39	42.99	-3.11
S9	-20.95	6.93	2.77	4.29	3.69	10.81	5.57	19.66	-8.03	35.80	-2.84
S10	-22.07	7.93	3.04	5.30	3.77	11.10	5.71	18.36	-7.51	44.17	-2.81
S11	-24.70	8.49	3.03	5.85	3.40	11.07	6.53	15.20	-7.80	47.18	-2.77
S12	-24.93	8.17	3.29	5.76	3.54	11.26	6.70	12.66	-7.91	45.93	-2.74
S13	-22.29	8.12	2.81	5.37	3.55	10.91	5.78	18.46	-8.54	44.64	-3.02
S14	-22.19	7.17	2.86	4.33	3.81	10.98	5.79	20.69	-7.53	38.23	-3.01
S15	-24.95	8.22	3.16	5.62	3.53	11.22	6.30	15.38	-7.54	45.52	-2.66

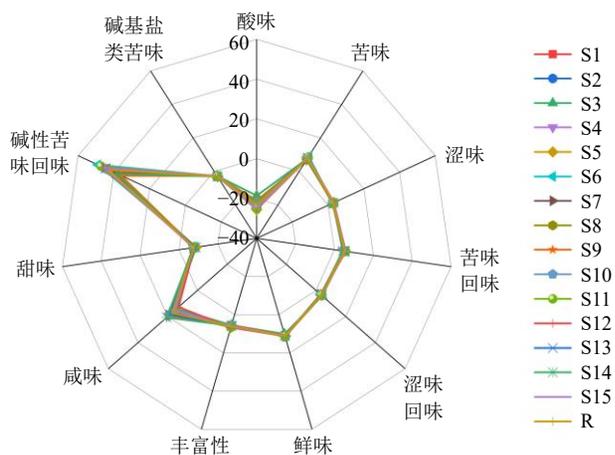


图 8 15 批 ZXGD 基准样品叠加味觉指纹图谱及对照味觉指纹图谱 (R)

Fig. 8 Superimposed taste fingerprint of 15 batches of ZXGD benchmark samples and control taste fingerprint (R)

较小。雷达图显示, 15 批 ZXGD 基准样品的雷达图轮廓高度重叠, 各口感维度的数值波动范围较小, 说明 15 批基准样品的口感特征稳定、均一。

2.5.2 相关性分析热图 将测得的物理参数、化学含量测定结果与味觉信息值采用 Origin 24 软件进行 Pearson 相关性分析, 结果见图 9。

图中红色代表正相关, 蓝色代表负相关, 颜色越深相关性越强^[24]。由图可知桂皮醛、辛弗林与苦味、苦味回味、咸味、碱性苦味回味相关性较强; σ 与苦味、苦味回味、碱基盐类苦味有相关性, pH

值与酸味、丰富性显著性相关; 辛弗林与 σ 、 n 、pH 值有相关性。

3 讨论

中药水煎液作为制剂研发的起点, 其物理化学属性与成分溶出及药效物质基础密切相关。研究发现, 15 批 ZXGD 基准样品的物理指纹图谱与化学指纹图谱相似度均高于 0.9, 且 HCA 结果一致, 表明物理属性与化学组成之间存在稳定的内在关联, 物理指纹图谱可作为评价基准样品整体质量一致性的有效手段。

电子舌与物理参数, 化学成分的相关性分析结果印证了 ZXGD “苦降辛散” 的传统药性特征, 其稳定的味觉指纹也证明了工艺的可靠性。物理属性、化学含测与味觉响应值的相关性分析在一定程度上表明了“物性-成分-味觉”之间的内在联系, 其中桂皮醛、辛弗林与苦味、咸味呈正相关, 说明这 2 个化学成分可能是基准样品主体味觉的物质基础; 同时, 辛弗林与 σ 、 n 的相关性表明其作为水溶性离子型成分对溶液物理性质的直接影响。本研究首次将物理指纹图谱、化学指纹图谱、含量测定与电子舌味觉特征相结合, 系统构建了 ZXGD 的“物理-化学-味觉”多维质量评价体系, 旨在从整体层面科学表征其基准样品质量。

本研究选取的固含量、电导率、pH 值等物理参数, 均能溯源至水煎液中特定成分的溶出行为。固

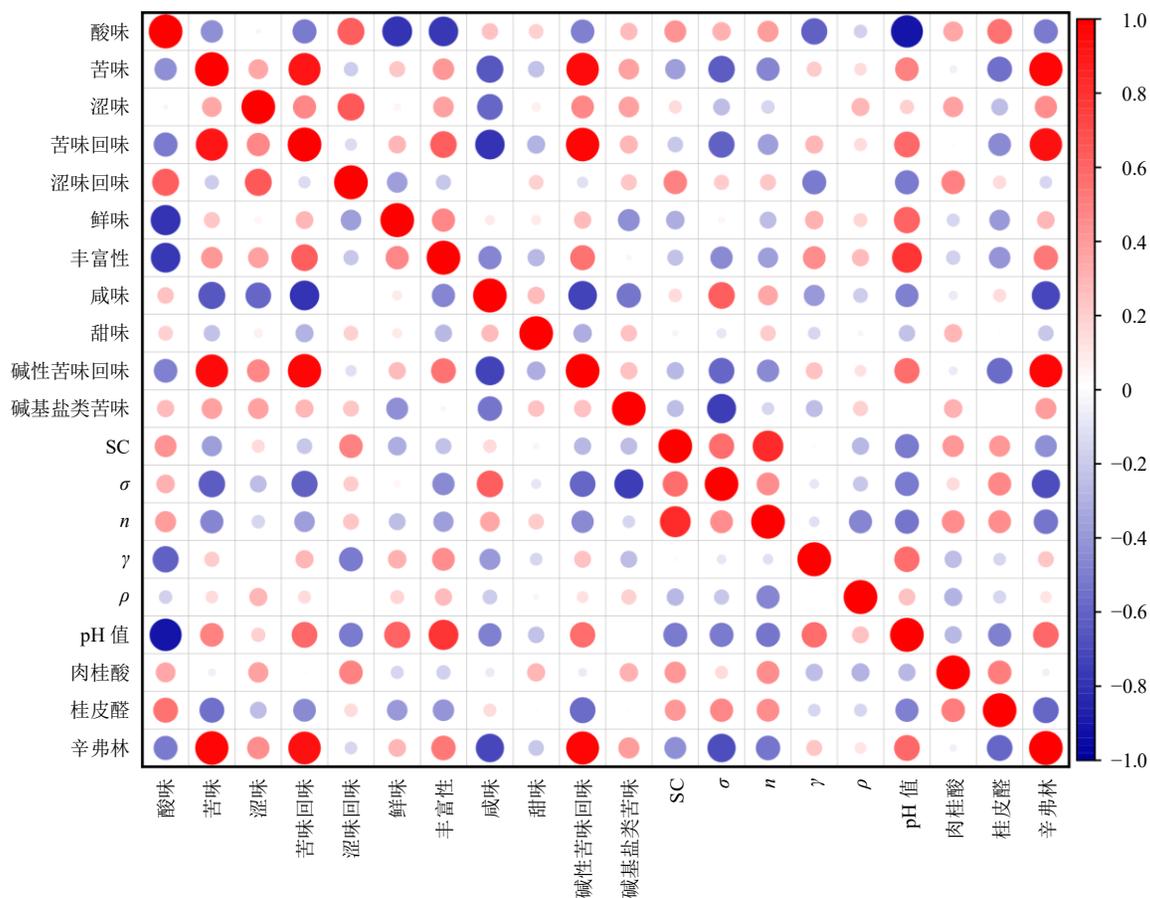


图9 物理参数、含量测定与味觉的相关性分析结果

Fig. 9 Results of correlation analysis between physical properties, content measurement and taste

含量直观反映了可溶性固体物的总量。 σ 值均显著高于纯水，并呈现批次差异，这很可能源于方中枳实、厚朴等药材所含的生物碱如辛弗林、有机酸等在煎煮过程中电离并扩散至水相，其离子浓度与种类的差异直接导致了 σ 值的波动^[25-26]。pH值则可能受到方中肉桂酸、桂皮醛等有机酸成分溶出平衡的共同影响。 n 与溶液中分子的极性与构型密切相关，其变化推测是黄酮类如柚皮苷、橙皮苷等成分的溶出浓度差异^[27]。因此，物理参数的综合性变化实质上是水煎液复杂化学体系共同作用的宏观体现。

本研究揭示的物理参数、化学成分与味觉特征的相关性，在实际的生产过程中就有一定的应用前景。基于桂皮醛、辛弗林与苦味类特征的强相关性，可设定兼顾药效与口感的成分含量范围，可用于制剂的口感提升；pH值、电导率等物理参数与核心成分、味觉显著关联，使其可作为质量快速筛查指标；整合三者构建的多维度评价体系，既能全面反映汤剂整体质量属性，又能为工艺优化、批间一致性判定及质量标准建立提供直接数据支撑。此外，本研

究所建立的检测方法还可用于工业化生产过程中的中间体与成品的快速质控。然而本研究仍存在一定的局限性，如化学指纹图谱基线不稳定、指标化学成分数量有限、所建立的关联性背后的具体机制未深入分析讨论等。因此，未来可进一步优化化学指纹色谱条件；建立多成分含量测定；结合代谢组学与网络药理学，阐明关键物理参数与药效物质群之间的动态关系，提升经典名方制剂的质量均一性与智能化水平。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 陈志强, 张意林, 陈仁寿. 经典名方枳实薤白桂枝汤的古今文献研究 [J]. 中国中医基础医学杂志, 2023, 29(9): 1515-1522.
 [2] 魏娇霞, 付敏, 李媛, 等. 经典名方枳实薤白桂枝汤的现代研究及展望 [J]. 世界中医药, 2024, 19(19): 3032-3038.
 [3] 陈志强, 张意林, 陈仁寿. 枳实薤白桂枝汤的历史源流考证及临床应用探析 [J]. 南京中医药大学学报, 2023, 39(7): 683-692.

- [4] 王楠, 许陈思菡, 殷洪梅, 等. 经典名方中桂枝的关键信息考证与质量评价研究 [J]. 上海中医药杂志, 2024, 58(3): 10-17.
- [5] 何湛湛, 杨楨, 亓玉婕, 等. 枳实薤白桂枝汤现代药理作用研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(6): 254-259.
- [6] 徐瑞杰, 薛蓉, 梅茜, 等. 经典名方枳实薤白桂枝汤物质基准的量值传递研究 [J]. 中草药, 2022, 53(9): 2650-2658.
- [7] 徐瑞杰, 薛蓉, 梅茜, 等. 基于指纹图谱和网络药理学的枳实薤白桂枝汤质量标志物预测 [J]. 中草药, 2022, 53(2): 372-381.
- [8] 袁海建, 李卫, 祝一飞, 等. 枳实薤白桂枝汤 HPLC 指纹图谱及 10 种指标成分含量测定研究 [J]. 中草药, 2020, 51(9): 2448-2459.
- [9] 朱亚苹, 刘玉鑫, 邵孟其, 等. 基于物理、化学指纹图谱和多成分含量测定的加味六君子汤质量评价方法 [J]. 中国医院药学杂志, 2025, 45(12): 1349-1355.
- [10] 张利恒, 陈新, 邱智东. 不同粉碎粒度对人参败毒标准汤物理指纹图谱和多指标成分含量的影响 [J]. 中草药, 2023, 54(5): 1429-1438.
- [11] 呼玉含, 姚烁, 宋学忠, 等. 基于响应面和 BP 神经网络结合提取液物化特性优化南葶苈子配方颗粒提取工艺研究 [J]. 中草药, 2025, 56(16): 5763-5771.
- [12] 杨婉, 邹海英, 邱智东, 等. 基于物理指纹图谱与多指标成分定量测定构建升陷汤标准煎液质量评价方法 [J]. 中草药, 2023, 54(6): 1804-1813.
- [13] 江如蓝, 雷结语, 陈文礼, 等. 基于人工智能感官技术的中药质量控制方法研究进展 [J]. 药学前沿, 2024, 28(11): 550-556.
- [14] 周蔚昕, 刘涛, 刘钱, 等. 川芎饮片标准汤剂的 HPLC 及物理指纹图谱研究 [J]. 中草药, 2018, 49(21): 5107-5115.
- [15] 滕凯旋, 傅豪, 王中昌, 等. 基于物理指纹图谱的养胃颗粒浸膏质量一致性评价方法 [J]. 中草药, 2022, 53(3): 712-719.
- [16] 梁悦, 刘涛, 蒋天宇, 等. 生脉注射液物理指纹图谱的建立及其质量评价 [J]. 中草药, 2018, 49(11): 2571-2576.
- [17] 陶振, 洪韵, 安双凤, 等. 基于不同算法对杏贝止咳颗粒中间体物料属性与颗粒溶解性的相关性研究 [J]. 中草药, 2024, 55(22): 7644-7652.
- [18] 韩红玉, 牛晓静, 岳亚楠, 等. Box-Behnken 结合 AHP-CRITIC 法优选毅力含片的制粒工艺及物理指纹图谱分析 [J]. 中医学报, 2025, 40(4): 896-904.
- [19] 王嘉琛, 甄会贤, 药雅俊, 等. 蠲痹痛风愈颗粒理化指纹图谱的建立与含量测定的研究 [J]. 山西中医药大学学报, 2025, 26(6): 616-622.
- [20] 杨双玲, 薛艳芳, 陈华师, 等. 指纹图谱分析石菖蒲及不同炮制品挥发性成分 [J]. 江西中医药大学学报, 2024, 36(4): 65-71.
- [21] 雷蓉, 周亚楠, 白洁, 等. 基于 UPLC 指纹图谱及化学模式识别分析的四季三黄片质量一致性评价 [J]. 中国现代中药, 2022, 24(10): 1988-1994.
- [22] 饶智, 陈光宇, 何群, 等. 基于电子舌技术与人工口尝评价相结合的羌活胜湿汤矫味技术研究 [J]. 中药材, 2021, 44(3): 658-663.
- [23] 孙语男, 李军. 辛开苦降法治疗急性冠脉综合征理论探讨及临证辨析 [J]. 北京中医药, 2023, 42(11): 1254-1258.
- [24] 朱田田, 张菁, 晋玲, 等. 基于智能感官技术与化学计量学比较不同采收季节肉苁蓉的品质 [J]. 中草药, 2025, 56(19): 7168-7177.
- [25] 刘伟, 袁洪燕, 张群, 等. 柑橘类生物碱辛弗林的研究进展 [J]. 湖南农业科学, 2016(9): 101-106.
- [26] 张转转, 张文森, 曾元宁, 等. 厚朴化学成分与炮制工艺研究进展 [J]. 现代中药研究与实践, 2025, 39(3): 91-97.
- [27] 范加金, 张晓杰, 王立增, 等. 折射仪法测定氯化钙注射液含量 [J]. 中国药品标准, 2022, 23(3): 326-329.

[责任编辑 郑礼胜]