

[ 科研报道 ]

## 基于 HPLC 指纹图谱、化学计量学评价不同花色红花质量

李钰, 叶霄, 曾静, 樊骏钦, 黄位年, 杨晓, 尹存平, 邓洁琼\*  
(四川省农业科学院经济作物研究所, 四川 成都 610300)

**摘要:** **目的** 评价不同花色红花的质量。**方法** 建立白色、黄色、红黄色、红色药材的 HPLC 指纹图谱, 并进行层次聚类分析 (HCA)、主成分分析 (PCA) 和正交偏最小二乘判别分析 (OPLS-DA), 筛选差异性标志物, 并测定关键成分含量。**结果** 48 批样品指纹图谱中有 54 个共有峰, 其中白色、黄色、红黄色、红色药材分别具有 20、22、24、23 个特征峰。HCA 和 PCA 将药材分为白色组和非白色组; OPLS-DA 筛选出 8 个差异性标志物, 其中烟花苷、紫云英苷、羟基红花黄色素 A 的 VIP 值较高, 含量差异显著, 烟花苷和紫云英苷在白色组中含量最高, 而羟基红花黄色素 A 仅在非白色组中检出。**结论** 不同花色红花中的化学成分存在显著差异, 烟花苷、紫云英苷和羟基红花黄色素 A 可作为关键质量标志物。

**关键词:** 红花; 花色; 质量评价; HPLC 指纹图谱; 层次聚类分析 (HCA); 主成分分析 (PCA); 正交偏最小二乘判别分析 (OPLS-DA)

中图分类号: R282

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2026)03-0940-06

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2026.03.032

红花 *Carthamus tinctorius* L. 是菊科红花属一年生草本植物, 广泛应用于医药、染料、食用油料等领域, 主要分布于亚洲、美洲和欧洲<sup>[1]</sup>, 其花冠颜色有红色、红黄色、黄色和白色, 不同花色积累的主要代谢成分的组成、含量存在差异。代谢组学分析显示, 红色花冠药材中富含羟基红花黄色素 A、红花素等 C-葡萄糖基喹诺查尔酮类化合物, 黄酮醇、查尔酮含量较低; 红黄色花冠药材中 C-葡萄糖基喹诺查尔酮含量低于红色花冠药材, 黄酮、查尔酮含量相对丰富; 黄色花冠药材中富含含有黄酮、查尔酮, 而 C-葡萄糖基喹诺查尔酮含量较低; 白色花冠药材中不含 C-葡萄糖基喹诺查尔酮, 黄酮醇及其糖苷含量较高<sup>[2-3]</sup>, 上述情况为其实际应用的多样性提供了基础。

目前, 已有研究采用 HPLC 指纹图谱分析不同产地及品种红花的质量差异<sup>[4-6]</sup>, 但尚未涉及不同花色者。因此, 本实验首次建立白色、黄色、红黄色、红色红花 HPLC 指纹图谱, 并结合化学计量学对其质量进行评价, 以期为该药材质量控制提供科学依据, 也为该资源合理开发利用及新品种选育提供参考。

### 1 材料

1.1 仪器 AUW220D 电子天平 (日本 Shimadzu 公司); Agilent 1200 高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司); Milli-Q<sup>®</sup> 超纯水仪 (美国 Millipore 公司); KQ-250VDB 双频数控超声波清洗器 (昆山市超声仪器有限公司)。

1.2 试剂 羟基红花黄色素 A (批号 20120816)、烟花苷 (批号 20131021)、紫云英苷 (批号 20130124)、槲皮素 (批号 20110926) 对照品均购自上海永恒生物科技有限公司, 纯度  $\geq 98\%$ ; 槲皮素-3-葡萄糖苷 (批号 PS001041/PS0400-0020)、柚皮素 (批号 PS001115/PS0240-0025)、柚皮素查尔酮 (批号 PS170320-04)、山柰酚 (批号 PS001201/PS0207-0025) 对照品均购自成都普思生物科技股份有限公司, 纯度  $\geq 98\%$ 。磷酸、甲醇、乙腈均为色谱纯; 其他试剂均为分析纯; 水为超纯水。

1.3 药材 红花共 16 种, 采自我国主要产区, 包括新疆、云南、四川等地, 经四川省农业科学院经济作物研究所杨晓研究员鉴定为正品, 具体见表 1。所有种质资源均引种至四川省成都市青白江区姚渡镇红花资源圃科研基地, 统一秋季播种, 采用

收稿日期: 2025-08-29

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-21); 四川省“十四五”农作物及畜禽育种攻关项目 (2021YFYZ0012); 四川省财政自主创新专项项目 (2022ZZCX077)

作者简介: 李钰 (1988—), 女, 硕士, 助理研究员, 从事中药材遗传育种及其质量控制研究。E-mail: 258694939@qq.com

\* 通信作者: 邓洁琼 (1984—), 女, 博士, 助理研究员, 从事中药材遗传育种与代谢调控研究。E-mail: deng.dawn@gmail.com

统一的栽培管理措施，并于次年5月盛花期统一采摘管状花。本实验所用红花采自盛花期，为不带子房的管状花，在40℃下恒温干燥后粉碎，过5目药典筛（孔径0.18 mm），密封，避光保存。

花色分类时，参照《红花植物新品种 DUS 测试指南》（NY/T 2753-2015）及《红花种质资源数据质量控制规范》中的标准花色分级方法，并参照 Wang 等<sup>[3]</sup>和 Kizil 等<sup>[7]</sup>报道的四分类方式（白、黄、橙黄、红）。在资源圃盛花期（50%花球开放），于标准光照下选取开花第3天的管状花花冠，进行颜色观察与花色划分，最终分为白色、黄色、红黄色、红色，每类选取4个具有代表性的种质资源，具体见表1，重复3次，共48批。

表1 红花信息

编号	花冠颜色	产地	编号	花冠颜色	产地
W1	白色	四川简阳	O1	红黄色	四川简阳
W2	白色	四川简阳	O2	红黄色	四川青白江
W3	白色	四川青白江	O3	红黄色	云南丽江
W4	白色	云南楚雄	O4	红黄色	新疆伊犁
Y1	黄色	四川简阳	R1	红色	四川简阳
Y2	黄色	四川简阳	R2	红色	四川青白江
Y3	黄色	云南保山	R3	红色	新疆塔城
Y4	黄色	甘肃定西	R4	红色	四川简阳

## 2 方法与结果

### 2.1 溶液制备

2.1.1 对照品溶液 精密称取羟基红花黄色素 A、烟花苷、紫云英苷、槲皮素-3-葡萄糖苷、槲皮素、柚皮素、柚皮素查尔酮、山柰酚对照品适量，70%甲醇溶解并定容至量瓶中，制成质量浓度分别为150、120、50、29、33、27、28、28 μg/mL 的溶液 A，稀释10倍，制成溶液 B，避光低温保存。

2.1.2 供试品溶液 参照文献[8]报道，精密称取不带子房的管状花粉末0.2 g，加入50 mL 57%甲醇，177 W、45 kHz 超声45 min，冷却，57%甲醇补足减失的质量，12 000 r/min 离心3 min，取续滤液，即得。

2.2 色谱条件 Agilent XDB-C<sub>18</sub> 色谱柱（150 mm×4.6 mm，5 μm）；梯度洗脱，程序<sup>[8]</sup>见表2；体积流量1.0 mL/min；柱温30℃；检测波长337 nm；进样量10 μL。

2.3 方法学考察 参照文献[9]报道。

2.3.1 精密度试验 以供试品溶液（R1）中的13号峰（羟基红花黄色素 A）为参照，测得共有峰相对保留时间、相对峰面积 RSD 分别为0.07%~0.46%、0.61%~2.13%，表明仪器精密度良好。

表2 梯度洗脱程序

时间/min	A 0.2% 磷酸/%	B 乙腈/%	C 甲醇/%
0~6.5	80	9	11
12	75	15	10
17	70	20	10
25	65	25	10
35	64	25	11
40~50	80	9	11

2.3.2 重复性试验 各共有峰相对保留时间、相对峰面积 RSD 分别为0.06%~0.53%、1.62%~2.73%，表明该方法重复性良好。

2.3.3 稳定性试验 各共有峰相对保留时间、相对峰面积的 RSD 分别为0.05%~0.55%、1.82%~2.94%之间，表明溶液在24 h内稳定性良好。

2.4 图谱生成 取48批药材，按“2.1”项下方法制备供试品溶液，在“2.2”项色谱条件下测定，将数据导入“中药色谱指纹图谱相似度评价系统”（2012版），设定时间窗宽度为0.5 min，通过中位数法、多点校正和全 Mark 峰匹配，发现各批药材有54个共有峰，其中白色的标定了20个特征峰，见图1A；黄色的标定了22个特征峰，见图1B；红黄色的标定了24个特征峰，见图1C；红色的标定了23个特征峰，见图1D，并且峰1、3、4、10、11、28、30、35、37、39、53为4种花色药材共同的共有峰，峰2、14、17、32、38、42、45、54为白色药材特有峰，峰6、46为黄色药材特有峰，峰8为红黄色药材特有峰，红色无特有峰。

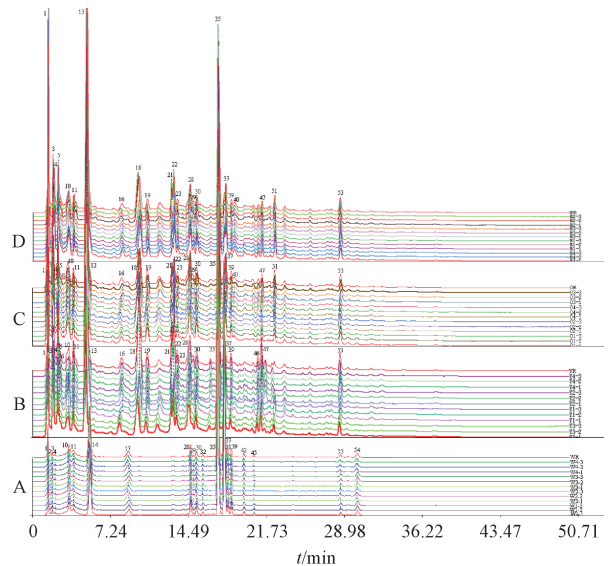


图1 不同花色红花 HPLC 指纹图谱

通过对照品对比，鉴定出7个共有峰，分别为13号峰羟基红花黄色素 A、30号峰槲皮素-3-葡萄糖苷、35号峰烟花苷、37号峰紫云英苷、52号峰

槲皮素、53号峰柚皮素查尔酮、54号峰山柰酚。其中，槲皮素-3-葡萄糖苷、烟花苷、紫云英苷、柚皮素查尔酮（峰30、35、37、53）为4种花色药材共有，山柰酚（峰54）为白色药材特有峰。

### 2.5 相似度分析与化学计量学研究

**2.5.1 相似度分析** 将指纹图谱导入“中药色谱指纹图谱相似度评价系统”，与对照图谱进行相似度评价。结果，白色药材相似度为0.999~1，黄色药材相似度为0.944~0.995，红黄色药材相似度为0.993~0.997，红色药材相似度为0.985~0.998；白色药材花冠的管状花中成分组成极为相似，而黄色药材的组内差异相对更大。

**2.5.2 层次聚类分析 (HCA)** 以不同花色药材特征峰峰面积为变量，采用SIMCA 14.1软件进行分析，发现当组间距离为7.5时，48批药材聚为2类，白色的为一类，黄色、红黄色、红色的为一类，表明各批药材根据其成分组成可分为白色组和非白色组，并且2组间有较大差异，见图2。

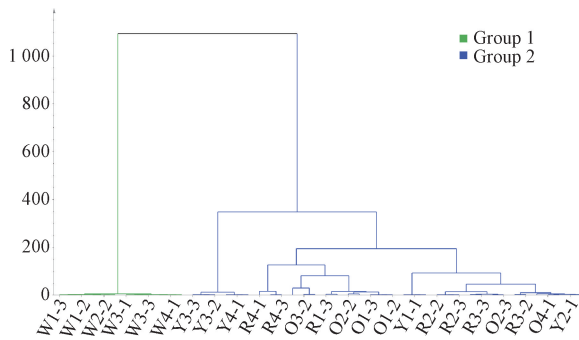
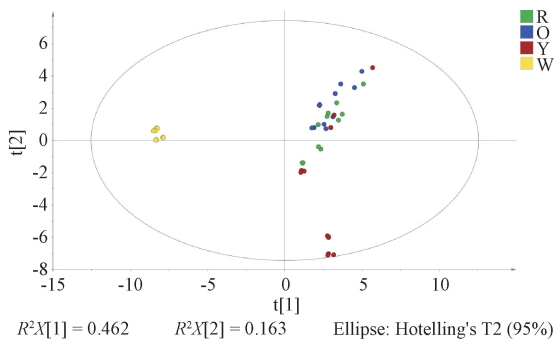


图2 不同花色红花HCA图

**2.5.3 主成分分析 (PCA)** 采用SIMCA 14.1软件对不同花色药材特征峰峰面积进行分析，发现白色组和非白色组能较好地分开，与HCA一致，见图3。

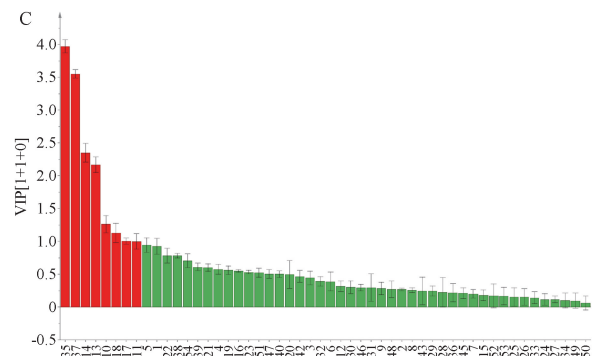
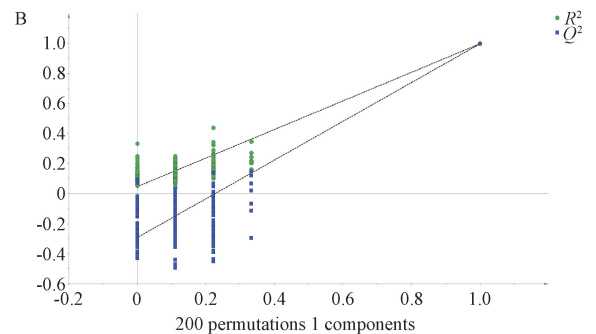
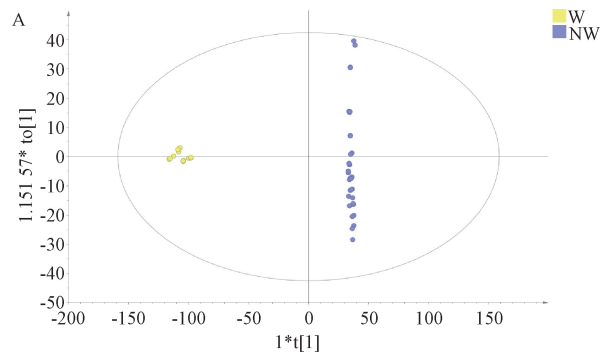


注：R为红色，O为红黄色，Y为黄色，W为白色。

图3 不同花色红花PCA图

**2.5.4 正交偏最小二乘判别分析 (OPLS-DA)** 以

药材共有峰峰面积为变量X，白色组与非白色组分类为变量Y，采用SIMCA 14.1软件进行分析，发现 $R^2X=0.894$ ， $R^2Y=0.997$ ， $Q^2=0.997$ ，表明模型稳定可靠，拟合度良好，见图4A。为了验证模型可靠性，进行200次置换检验，发现 $R^2$ 拟合直线Y轴截距为0.047， $Q^2$ 拟合直线Y轴截距为-0.292，表明模型不存在过度拟合，具有理想的预测能力和鲁棒性，见图4B。以变量重要性投影值 (VIP值) >1为筛选标准，发现峰35 (烟花苷)、37 (紫云英苷)、14、13 (羟基红花黄色素A)、10、18、17、11的VIP值分别为3.974 43、3.554 78、2.353 76、2.170 06、1.264 02、1.132 46、1.005 89、1.000 36，均大于1，表明它们在区分白色组与非白色组药材时贡献显著，可视为关键质量标志物，见图4C。

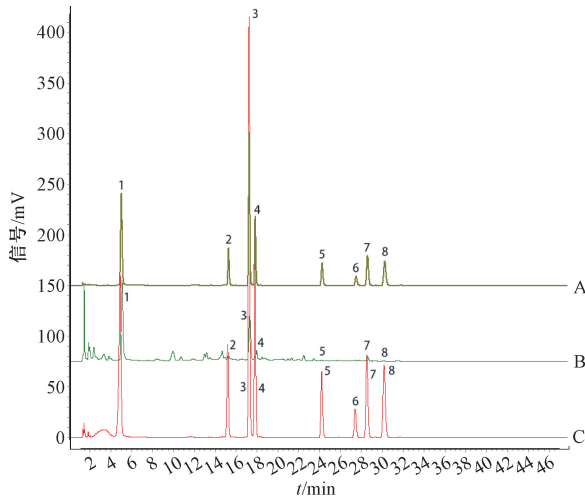


注：W为白色，NW为非白色。

图4 不同花色红花OPLS-DA图

**2.6 含量测定** 采用HPLC法。

2.6.1 系统适用性考察 取“2.1”项下对照品、供试品溶液适量，在“2.2”项色谱条件下进样测定，结果见图5。由此可知，各成分分离度理想，表明该方法系统适用性良好。



1. 羟基红花黄色素 2. 槲皮素-3-葡萄糖苷 3. 烟花苷 4. 紫云英苷 5. 槲皮素 6. 柚皮素 7. 柚皮素查尔酮 8. 山柰酚

图5 对照品(A)、非白色组供试品(B)、白色组供试品(C) HPLC 色谱图

2.6.2 线性关系考察 取“2.1”项下对照品溶液A、B 适量，在“2.2”项色谱条件下分别进样1、5、10、15、20、25 μL 测定。以对照品质量为横坐标(X)，峰面积为纵坐标(Y) 进行回归，结果见表3，可知各成分在各自范围内线性关系良好。

表3 各成分线性关系

成分	回归方程	r	线性范围/μg
羟基红花黄色素 A	$Y=1\ 271.3X-2.312\ 7$	0.999 7	0.015~2.250
槲皮素-3-葡萄糖苷	$Y=2\ 298.9X-3.338\ 2$	0.999 9	0.003~0.725
烟花苷	$Y=2\ 089.8X-2.399\ 0$	1.000 0	0.012~3.000
紫云英苷	$Y=2\ 358.7X-2.482\ 4$	1.000 0	0.005~1.250
槲皮素	$Y=1\ 883.9X-5.419\ 4$	0.999 9	0.003~0.825
柚皮素	$Y=2\ 679.4X-5.235\ 8$	1.000 0	0.023~0.675
柚皮素查尔酮	$Y=902.45X+0.270\ 3$	1.000 0	0.003~0.700
山柰酚	$Y=2\ 762.6X-3.377\ 8$	1.000 0	0.028~0.700

2.6.3 方法学考察 参照文献[10] 报道，精密称定药材(R1) 适量，按“2.1”项下方法制备供试品溶液，在“2.2”项色谱条件下进样测定，结果见表4，可知仪器精密度、溶液稳定性、方法重复性良好。

表4 各成分方法学考察结果(%)

成分	精密度(n=6)	重复性(n=6)	稳定性(n=6)	加样回收率(RSD)(n=3)		
				低水平(80%)	中水平(100%)	高水平(120%)
羟基红花黄色素 A	0.88	1.36	0.58	100.62(1.78)	97.33(3.32)	101.42(1.53)
槲皮素-3-葡萄糖苷	0.82	1.79	0.39	100.70(2.52)	95.23(3.98)	98.89(3.32)
烟花苷	0.84	0.30	0.44	98.71(2.64)	102.13(2.41)	97.53(1.63)
紫云英苷	0.86	1.65	0.43	98.95(2.12)	94.38(4.82)	101.32(2.21)
槲皮素	0.78	3.71	0.26	95.99(3.71)	93.57(1.11)	95.29(3.19)
柚皮素	0.74	4.35	1.11	94.96(1.84)	95.21(3.27)	95.37(2.28)
柚皮素查尔酮	0.80	0.81	2.96	94.33(3.11)	95.81(4.89)	95.32(3.77)
山柰酚	0.78	2.54	0.29	93.87(2.17)	95.68(4.29)	95.75(2.98)

2.6.4 样品含量测定 取48批药材，按“2.1”项下方法制备供试品溶液，在“2.2”项色谱条件下进样测定，计算含量，再采用统计学方法进行单因素方差分析，结果见表5。由此可知，白色药材中未检出羟基红花黄色素A，烟花苷、紫云英苷、山柰酚含量高于其他花色药材(P<0.05)；红色、红黄色、黄色药材中羟基红花黄色素A 含量最高，但组间差异不显著；其余成分含量在不同花色药材中均无显著差异(P>0.05)。

再将表5 数据导入SIMCA 14.1 软件进行分析。PCA 显示，白色药材聚集在左侧，与聚集在右侧的非白色药材(黄色、红黄色、红色) 完全分离，与“2.5.3”项下结果一致；3种非白色药材虽然有一定分散，但彼此间重叠较大，未形成独立聚类，见图6A。根据白色、非白色药材分类建立的

OPLS-DA 模型拟合度高， $R^2X = 0.982$ ， $R^2Y = 0.994$ ， $Q^2 = 0.993$ ，表明模型预测能力良好，见图6B。200次置换检验显示，模型未过拟合，可靠性高，见图6C。VIP 值>1.0 的差异化合物有3个，由高到低分别为烟花苷(峰35)、紫云英苷(峰37)、羟基红花黄色素A(峰13)，见图6D，可作为区分白色、非白色药材的关键质量标志物。

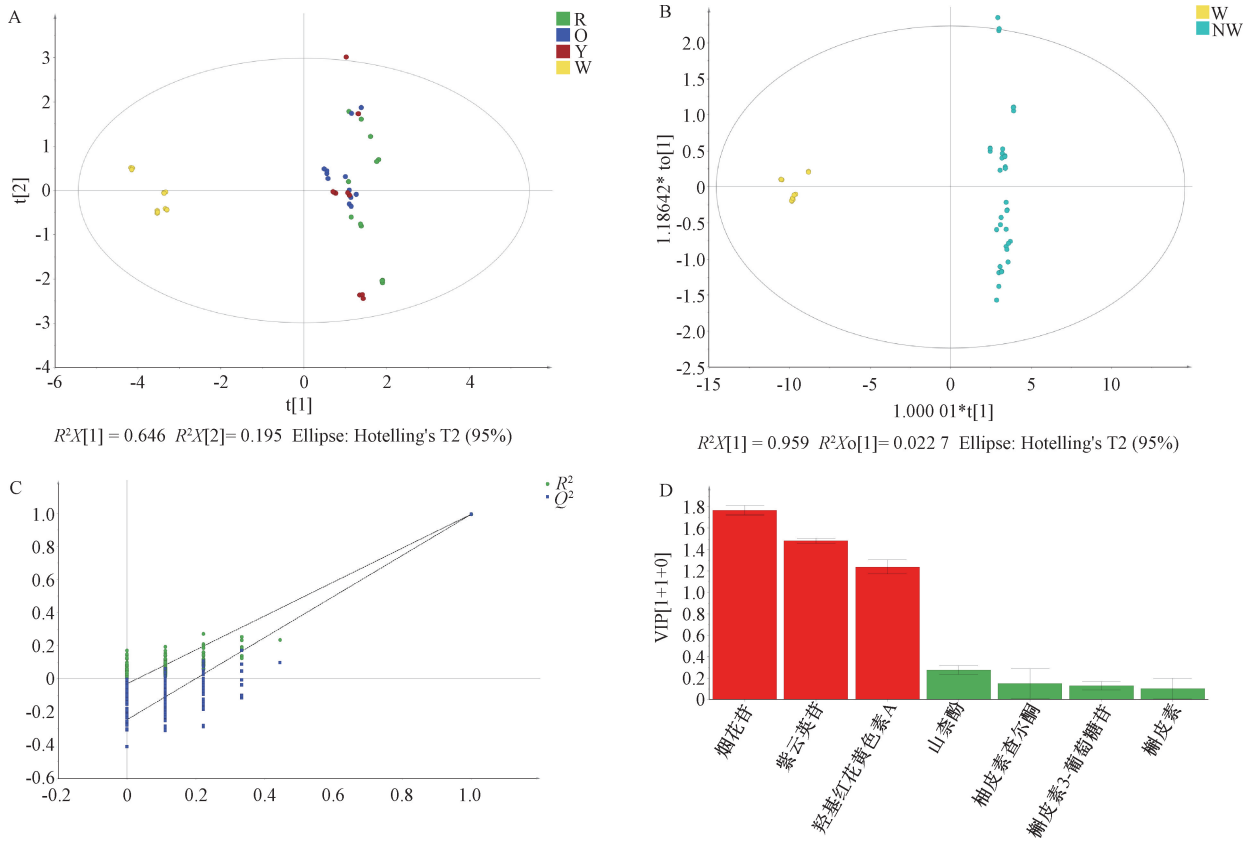
### 3 讨论与结论

本实验发现，4种花色红花可分为白色组和非白色组(黄色、红黄色、红色)，并明确烟花苷、紫云英苷和羟基红花黄色素A 是关键质量标志物。其中，白色组药材不含醌查尔酮<sup>[2-3,11]</sup>，主要富含黄酮醇及其糖苷，如烟花苷、紫云英苷等，它们在抗氧化抗炎<sup>[12-14]</sup>、降血糖<sup>[15]</sup>、神经保护<sup>[16]</sup>、抗癌<sup>[17-18]</sup>、预防骨质疏松<sup>[19]</sup>、促进凝血<sup>[20]</sup>等方面具

表5 各成分含量测定结果 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

材料	花色	含量/(mg·g <sup>-1</sup> )							
		羟基红花黄色素A	槲皮素-3-葡萄糖苷	烟花苷	紫云英苷	槲皮素	柚皮素	柚皮素查尔酮	山柰酚
R1	红色	18.896±0.666 <sup>a</sup>	0.915±0.061 <sup>bc</sup>	6.496±0.059 <sup>ef</sup>	1.141±0.065 <sup>e</sup>	0.290±0.252 <sup>ab</sup>	—	1.249±0.026 <sup>cd</sup>	0.087±0.032 <sup>c</sup>
R2	红色	14.987±0.090 <sup>b</sup>	0.493±0.003 <sup>d</sup>	5.539±0.016 <sup>g</sup>	0.835±0.003 <sup>e</sup>	—	—	1.973±0.018 <sup>b</sup>	0.132±0.038 <sup>c</sup>
R3	红色	18.168±0.759 <sup>ab</sup>	0.676±0.002 <sup>c</sup>	6.438±0.820 <sup>ef</sup>	1.319±0.199 <sup>e</sup>	0.421±0.010 <sup>a</sup>	—	1.342±0.211 <sup>cd</sup>	0.150±0.020 <sup>c</sup>
R4	红色	19.345±0.127 <sup>a</sup>	0.823±0.075 <sup>bc</sup>	8.585±0.127 <sup>de</sup>	1.271±0.054 <sup>e</sup>	—	—	1.710±0.048 <sup>bc</sup>	0.157±0.020 <sup>c</sup>
O1	红黄色	13.938±0.060 <sup>c</sup>	0.954±0.006 <sup>b</sup>	5.910±0.020 <sup>f</sup>	1.636±0.019 <sup>e</sup>	—	—	1.186±0.060 <sup>cd</sup>	0.160±0.042 <sup>c</sup>
O2	红黄色	14.911±0.021 <sup>b</sup>	0.809±0.169 <sup>bc</sup>	6.768±0.196 <sup>de</sup>	1.237±0.431 <sup>e</sup>	—	—	1.241±0.040 <sup>cd</sup>	0.132±0.052 <sup>c</sup>
O3	红黄色	20.478±0.039 <sup>a</sup>	0.818±0.079 <sup>bc</sup>	9.868±0.099 <sup>d</sup>	1.844±0.136 <sup>e</sup>	0.177±0.306 <sup>ab</sup>	—	1.205±0.054 <sup>cd</sup>	0.117±0.046 <sup>c</sup>
O4	红黄色	17.466±0.578 <sup>ab</sup>	0.799±0.092 <sup>bc</sup>	8.339±0.113 <sup>de</sup>	1.765±0.107 <sup>e</sup>	0.168±0.291 <sup>ab</sup>	—	1.222±0.072 <sup>cd</sup>	0.150±0.001 <sup>c</sup>
Y1	黄色	15.131±0.106 <sup>b</sup>	0.705±0.017 <sup>bc</sup>	6.503±0.033 <sup>e</sup>	0.799±0.000 <sup>e</sup>	—	—	1.116±0.013 <sup>d</sup>	0.117±0.038 <sup>c</sup>
Y2	黄色	18.722±0.229 <sup>a</sup>	0.939±0.181 <sup>b</sup>	7.462±0.221 <sup>de</sup>	1.911±0.241 <sup>e</sup>	0.298±0.258 <sup>ab</sup>	—	1.170±0.119 <sup>cd</sup>	0.080±0.027 <sup>c</sup>
Y3	黄色	12.389±0.402 <sup>c</sup>	0.689±0.009 <sup>c</sup>	10.560±0.052 <sup>d</sup>	0.975±0.010 <sup>e</sup>	—	—	2.400±0.029 <sup>a</sup>	0.128±0.041 <sup>c</sup>
Y4	黄色	14.220±0.041 <sup>bc</sup>	0.794±0.025 <sup>bc</sup>	10.803±0.018 <sup>d</sup>	1.525±0.004 <sup>e</sup>	—	—	1.190±0.026 <sup>cd</sup>	0.130±0.004 <sup>c</sup>
W1	白色	—	1.228±0.003 <sup>a</sup>	40.850±0.114 <sup>b</sup>	25.149±0.087 <sup>b</sup>	—	—	1.106±0.009 <sup>d</sup>	0.741±0.004 <sup>b</sup>
W2	白色	—	1.043±0.000 <sup>b</sup>	44.690±0.099 <sup>a</sup>	26.159±0.079 <sup>a</sup>	—	—	1.426±0.016 <sup>c</sup>	0.978±0.007 <sup>a</sup>
W3	白	—	0.922±0.007 <sup>b</sup>	37.842±0.044 <sup>c</sup>	23.398±0.002 <sup>b</sup>	—	—	1.229±0.004 <sup>cd</sup>	0.950±0.009 <sup>a</sup>
W4	白	—	0.920±0.005 <sup>b</sup>	41.051±0.263 <sup>ab</sup>	24.729±0.187 <sup>b</sup>	—	—	1.001±0.014 <sup>d</sup>	0.772±0.005 <sup>b</sup>

注：—表示未检出，同列不同小写字母表示有显著差异 ( $P<0.05$ )。



注：R、O、Y、W、NW 分别为红色、红黄色、黄色、白色、非白色。

图6 各成分含量 PCA、OPLS-DA 图

有显著效果，故在相关药物开发过程中可侧重于上述功能的研究；非白色组药材富含红花特有的醌式查尔酮，其中羟基红花黄色素 A 是与非白色组区分的关键质量标志物，为红花活血化瘀的主要有效成分，在治疗心脑血管疾病，尤其是抗凝血、抗血栓形成<sup>[21]</sup>方面显示出良好效果，还具有显著的神

经保护作用<sup>[22-23]</sup>，故它们更适合被开发为心脑血管保护、神经保护药物，同时其所含的天然色素优质安全<sup>[24]</sup>，在食品、化妆品、纺织染料领域也可广泛应用<sup>[24-28]</sup>。

综上所述，本实验采用 HPLC 指纹图谱结合化学计量学评价不同花色红花质量，为该药材精细化

分类和功能开发提供了科学依据。基于所测成分含量的差异性, 本实验建议将花色作为红花质量控制指标之一, 结合关键成分含量和 HPLC 指纹图谱, 建立“花色-成分-功能”三位一体的分类质量控制模式, 有助于推动该药材从单一标准向多元质量控制体系转变, 提升其在临床和产业中的应用效率和安全性。

### 参考文献:

[ 1 ] Ekin Z. Resurgence of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) utilization; a global view[J]. *J Agronomy*, 2005, 4(2): 83-87.

[ 2 ] 齐书艺. 基于红花花冠空间代谢组学和转录组学分析的黄酮类成分生物合成途径 Ctf3' H 的功能验证[D]. 上海: 中国人民解放军海军军医大学, 2023.

[ 3 ] Wang R, Ren C, Dong S, et al. Integrated metabolomics and transcriptome analysis of flavonoid biosynthesis in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) with different colors[J]. *Front Plant Sci*, 2021, 12: 712038.

[ 4 ] 白皓天, 杨 婧, 李娅兰, 等. 基于指纹图谱与化学模式识别的红花质量评价[J]. *中药材*, 2022, 45(10): 2432-2436.

[ 5 ] 黄亚威, 周慧娟, 刘旭云, 等. 不同品种红花 HPLC 指纹图谱及其化学成分差异性研究[J]. *中成药*, 2023, 45(1): 155-160.

[ 6 ] 张 戈, 郭美丽, 张汉明, 等. 不同种质红花的高效液相色谱法指纹图谱研究[J]. *第二军医大学学报*, 2006(3): 280-283.

[ 7 ] Erbaş S, Mutlucan M. Investigation of flower yield and quality in different color safflower genotypes[J]. *Agronomy*, 2023, 13(4): 956.

[ 8 ] 李 钰, 杨 晓, 叶 霄, 等. 超声辅助提取红花中主要活性成分的工艺优化[J]. *植物研究*, 2021, 41(5): 824-835.

[ 9 ] 杨莎莎, 林 夏, 郝怡雯, 等. 附子理中丸大蜜丸、水蜜丸和浓缩丸 3 种剂型的化学特征关键质量属性辨识研究[J]. *中草药*, 2024, 55(9): 2955-2966.

[ 10 ] 李海燕, 王慧然, 那丽莎, 等. 基于主成分分析、正交偏最小二乘判别分析及加权逼近理想解排序-灰色关联度融合模型评价不同产地珠子参质量[J]. *中草药*, 2024, 55(9): 3116-3126.

[ 11 ] Kazuma K, Takahashi T, Sato K, et al. Quinochalcones and flavonoids from fresh florets in different cultivars of *Carthamus tinctorius* L[J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2000, 64(8): 1588-1599.

[ 12 ] Zhou P, Ma Y Y, Peng J Z, et al. Kaempferol-3-O-rutinoside: a natural flavonoid glycosides with multifaceted therapeutic potential[J]. *Neurochem J*, 2023, 17(2): 247-252.

[ 13 ] Kotani M, Matsumoto M, Fujita A, et al. Persimmon leaf extract and astragalins inhibit development of dermatitis and IgE elevation in NC/Nga mice[J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2000, 106(1): 159-166.

[ 14 ] Ruan J, Shi Z, Cao X Y, et al. Research progress on anti-inflammatory effects and related mechanisms of astragalins[J]. *Int J Mol Sci*, 2024, 25(8): 4476.

[ 15 ] Kashyap B, Saikia K, Samanta S K, et al. Kaempferol 3-O-rutinoside from *Antidesma acidum* Retz. stimulates glucose uptake through SIRT1 induction followed by GLUT4 translocation in skeletal muscle L6 cells[J]. *J Ethnopharmacol*, 2023, 301: 115788.

[ 16 ] Yang C Z, Wang S H, Zhang R H, et al. Neuroprotective effect of astragalins via activating PI3K/Akt-mTOR-mediated autophagy on APP/PS1 mice[J]. *Cell Death Discov*, 2023, 9(1): 15.

[ 17 ] Li Y L, Yu X, Wang Y X, et al. Kaempferol-3-O-rutinoside, a flavone derived from tetrastigma hemsleyanum, suppresses lung adenocarcinoma via the calcium signaling pathway[J]. *Food Funct*, 2021, 12(18): 8351-8365.

[ 18 ] Wang Z Q, Lv J, Li X F, et al. The flavonoid astragalins shows anti-tumor activity and inhibits PI3K/Akt signaling in gastric cancer[J]. *Chem Biol Drug Des*, 2021, 98(5): 779-786.

[ 19 ] Liu L, Wang D, Qin Y, et al. Astragalins promotes osteoblastic differentiation in MC3T3-E1 cells and bone formation in vivo[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2019, 10: 228.

[ 20 ] Li C Q, Hu M Y, Jiang S J, et al. Evaluation procoagulant activity and mechanism of astragalins[J]. *Molecules*, 2020, 25(1): 177.

[ 21 ] Ji X Y, Lei C J, Kong S, et al. Hydroxy-safflower yellow A mitigates vascular remodeling in rat pulmonary arterial hypertension[J]. *Drug Des Devel Ther*, 2024, 18: 475-491.

[ 22 ] Shan L Q, Ma S, Qiu X C, et al. Hydroxysafflor yellow A protects spinal cords from ischemia/reperfusion injury in rabbits[J]. *BMC Neurosci*, 2010, 11(1): 98.

[ 23 ] Yu L, Liu Z L, He W D, et al. Hydroxysafflor yellow A confers neuroprotection from focal cerebral ischemia by modulating the crosstalk between JAK2/STAT3 and SOCS3 signaling pathways[J]. *Cell Mol Neurobiol*, 2020, 40(8): 1271-1281.

[ 24 ] Nagaraj G, Devi G N, Srinivas C V S. Safflower petals and their chemical composition [ C ] //Proceedings of the 5th International Safflower Conference. Fargo; Department of Plant Pathology, North Dakota State University, 2001: 301-302.

[ 25 ] Adamska I, Biernacka P. Bioactive substances in safflower flowers and their applicability in medicine and health-promoting foods[J]. *Int J Food Sci*, 2021, 2021(1): 6657639.

[ 26 ] Suzuki S. Carthamin synthase provides new insight into traditional 'beni' red pigment production from safflowers[J]. *Plant Cell Physiol*, 2021, 62(10): 1506-1508.

[ 27 ] Tamburini D, Dyer J, Davit P, et al. Compositional and morphological characterisation of red colourants in archaeological textiles from pharaonic Egypt[J]. *Molecules*, 2019, 24(20): 3761.

[ 28 ] Degano I, Łucejko J J, Colombini M P. The unprecedented identification of safflower dyestuff in a 16th century tapestry through the application of a new reliable diagnostic procedure[J]. *J Cult Herit*, 2011, 12(3): 295-299.