

红芪蜜炙前后黄酮类、皂苷类成分含量测定与指纹图谱研究

柴梦娜^{1,2}, 窦芬瑜^{1,2}, 吕瑞龙^{1,2}, 马定财^{1,2}, 刘 婷^{1,2}, 辛二旦^{1,2}, 张育贵², 李越峰^{2*}

1. 甘肃中医药大学药学院, 甘肃 兰州 730000

2. 甘肃中医药大学 科研实验中心, 甘肃 兰州 730000

摘要: **目的** 探究红芪 *Hedysari Radix* 蜜炙前后黄酮类、皂苷类成分含量的变化规律, 为红芪蜜炙工艺的质量控制和炮制机制提供科学依据。 **方法** 采用紫外-可见分光光度法测定 10 批次红芪及其蜜炙品中总黄酮和总皂苷的含量。采用 HPLC 法建立以黄酮类成分为主和以皂苷类成分为主的指纹图谱, 并进行相似度评价。采用 HPLC 法测定毛蕊异黄酮苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素、黄芪甲苷、异黄芪皂苷 II 6 种指标性成分的含量。 **结果** 10 批红芪蜜炙后总黄酮含量均显著降低 ($P < 0.01$), 平均降低 25.8%; 总皂苷含量均显著升高 ($P < 0.01$), 平均升高 37.93%。指纹图谱相似度评价显示, 蜜炙未改变红芪基本化学轮廓。HPLC 含量测定表明, 蜜炙后芒柄花素含量在 10 批中有 8 批显著升高 ($P < 0.05, 0.01$), 平均升高 30.49%; 黄芪甲苷和异黄芪皂苷 II 含量分别有 8 批和 7 批显著升高 ($P < 0.05, 0.01$), 平均升高 34.79% 和 26.22%; 毛蕊异黄酮苷和芒柄花苷含量以降低为主; 毛蕊异黄酮含量以升高为主。 **结论** 红芪蜜炙可使黄酮类、皂苷类活性成分发生变化, 调整其药效物质基础结构。

关键词: 红芪; 蜜炙; 黄酮; 皂苷; 指纹图谱; HPLC; 毛蕊异黄酮苷; 芒柄花苷; 毛蕊异黄酮; 芒柄花素; 黄芪甲苷; 异黄芪皂苷 II

中图分类号: R283.6 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)17-6755-11

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.17.009

Determination and fingerprint analysis of flavonoids and saponins in *Hedysari Radix* before and after honey-processing

CHAI Mengna^{1,2}, DOU Fenyu^{1,2}, LYU Ruilong^{1,2}, MA Dingcai^{1,2}, LIU Ting^{1,2}, XIN Erdan^{1,2}, ZHANG Yugui², LI Yuefeng²

1. College of Pharmacy, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China

2. Scientific Research and Experimental Center, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China

Abstract: Objective To investigate the change patterns of flavonoid and saponin contents in Hongqi (*Hedysari Radix*, HR) before and after honey-processing, and to provide a scientific basis for quality control of the honey-processing technology and its processing mechanism. **Methods** UV-Vis spectrophotometry was employed to determine the contents of total flavonoids and total saponins in 10 batches of HR and Zhihongqi (*Hedysari Radix Praeparata Cum Melle*, HRPCM). HPLC was used to establish flavonoid-based and saponin-based fingerprints, and similarity evaluations were conducted. The contents of six marker components calycosin-7-*O*- β -D-glucoside, ononin, calycosin, formononetin, astragaloside IV, and isoastragaloside II were determined by HPLC. **Results** After honey-processing of 10 batches of HR, the total flavonoid contents were significantly decreased ($P < 0.01$), with an average decrease of 25.8%; the total saponin contents were significantly increased ($P < 0.01$), with an average increase of 37.93%. Similarity evaluation of fingerprints indicated that honey-processing did not alter the basic chemical profile of HR. HPLC content determination showed that after honey-processing, formononetin content was significantly increased in 8 out of 10 batches ($P < 0.05, 0.01$), with an average

收稿日期: 2026-03-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (81960713); 国家自然科学基金资助项目 (82160750); 国家自然科学基金资助项目 (82574743); 国家自然科学基金资助项目 (82560778); 甘肃省教育厅产业支撑计划项目 (2021CYZC-21); 甘肃省科技计划 (创新基地与人才计划) 基础研究创新群体项目 (21JR7RA569); 2024 年甘肃省人才重点项目 (2024RCXM77); 甘肃省联合科研基金资助项目 (24JRRA882); 甘肃省高等学校产业支撑计划项目 (2024CYZC-41)

作者简介: 柴梦娜, 女, 硕士研究生, 研究方向为中药炮制与中药制剂工艺。Tel: 17352102827 E-mail: 2361450128@qq.com

***通信作者:** 李越峰, 女, 博士后, 教授, 博士生导师, 研究方向为中药及复方加工炮制机制及活性成分研究。

Tel: (0931)5161175 E-mail: lyftcm@163.com

increase of 30.49%; astragaloside IV and isoastragaloside II contents were significantly increased in 8 and 7 batches, respectively ($P < 0.05, 0.01$), with average increases of 34.79% and 26.22%; calycosin-7-*O*- β -*D*-glucoside and ononin contents were mainly decreased; calycosin content was mainly increased. **Conclusion** Honey-processing of *Hedysari Radix* can alter the active flavonoid and saponin components, thereby adjusting the structure of its pharmacodynamic material basis.

Key words: *Hedysari Radix*; honey-processing; flavonoids; saponins; fingerprint; HPLC; calycosin-7-*O*- β -*D*-glucoside; ononin; calycosin; formononetin; astragaloside IV; isoastragaloside II

红芪为豆科岩黄芪属植物多序岩黄芪 *Hedysarum polybotrys* Hand. -Mazz. 的干燥根，主产于甘肃等地，具有补气固表、利尿托毒、排脓敛疮等功效，临床常用于治疗气虚乏力、食少便溏、中气下陷等^[1]。现代研究表明，红芪中富含黄酮类、皂苷类、多糖类等多种活性成分，其中黄酮类成分如毛蕊异黄酮、芒柄花素及其苷类，以及皂苷类成分如黄芪甲苷、异黄芪皂苷 II 等，是红芪发挥免疫调节、抗氧化、抗炎及抗肿瘤等药理作用的重要物质基础^[2-5]，与其传统“补气健脾”功效密切相关。

中药炮制是中医临床用药的特色之一。研究发现，红芪蜜炙后其补中益气之功增强^[6]。化学成分是中药发挥药理作用的基础，蜜炙过程涉及加热及蜂蜜辅料的介入会引起药材内在化学成分的种类、含量或存在状态的变化，这些变化可能是其药效改变的客观依据。因此，阐明红芪蜜炙前后主要化学成分的差异，对于揭示其“炮制增效”的科学内涵具有重要意义。目前关于红芪蜜炙的研究多集中于单一成分或有限成分的含量测定，尚缺乏对红芪蜜炙前后黄酮类、皂苷类成分的系统比较分析，且已有研究多采用单一产地样品，难以全面反映蜜炙工艺对不同来源红芪化学成分的影响规律。

鉴于此，本研究收集道地产区甘肃省内 10 批不同产地的红芪，采用紫外-可见分光光度法测定红芪蜜炙前后总黄酮和总皂苷的含量变化，建立黄酮类和皂苷类成分的 HPLC 指纹图谱并进行相似度评价，同时测定毛蕊异黄酮苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素、黄芪甲苷、异黄芪皂苷 II 6 种指标性成分的含量，通过多产地综合比较，旨在系统揭示蜜炙工艺对红芪化学成分的影响规律，为红芪及其炮制品的质量控制提供依据，也为后续药效物质基础研究及临床合理用药提供参考。

1 仪器与材料

1.1 仪器设备

Agilent 1260 型高效液相色谱仪，美国 Agilent 公司；SpectraMax i3x 型酶标仪，美谷分子仪器（上海）有限公司；AL104 型万分之一分析天平，上海

梅特勒-托利多仪器有限公司；BT125D 型十万分之一分析天平，北京赛多利斯科学仪器有限公司；KQ-500DE 型数控超声波清洗器，昆山市超声仪器有限公司。

1.2 药材

10 批红芪样品分别采自甘肃省不同产地，具体来源信息见表 1，经甘肃中医药大学药学院中药鉴定教研室王明伟副教授鉴定，均为豆科岩黄芪属植物多序岩黄芪 *H. polybotrys* Hand. -Mazz. 的干燥根，经初加工切制后得红芪饮片，均符合《中国药典》2025 年版要求。

表 1 10 批红芪药材来源信息
Table 1 Source information of 10 batches of *Hedysari Radix* (HR) medicinal materials

编号	产地	采集时间
S1	甘肃省陇南市武都区米仓山	2024-10-17
S2	甘肃省定西市陇西县	2024-10-19
S3	甘肃省陇南市武都区双庙村	2024-10-18
S4	甘肃省定西市岷县	2024-10-21
S5	甘肃省定西市中都乡	2024-10-24
S6	甘肃省陇南市武都区马街镇半山村	2024-10-27
S7	甘肃省陇南市武都区龙凤乡	2024-10-27
S8	甘肃省陇南市武都区安化镇祁家坡	2024-10-20
S9	甘肃省陇南市武都区宕昌县八力镇	2024-10-24
S10	甘肃省陇南市武都区李家庙村	2024-10-23

1.3 试剂

对照品芒柄花素（批号 PS000674）、芒柄花苷（批号 PS000671）、毛蕊异黄酮苷（批号 PS010706）、毛蕊异黄酮（批号 PS010885），质量分数均≥98.0%，均购自成都普思生物科技股份有限公司；对照品黄芪甲苷（批号 25020810）、芦丁（批号 23110710），质量分数均≥98.0%，均购自成都普菲德生物技术有限公司；对照品异黄芪皂苷 II，批号 YJ1143，质量分数≥98.0%，江苏永健医药科技有限公司；乙腈（批号 20240507，色谱纯）、磷酸（批号 20160307，色谱纯）、异丙醇（批号 20210115，色谱纯）、正丁醇（批号 20230301，分析纯）、氢氧化钠（批号 20231201，分析纯）均购自天津大茂化学试剂厂；

甲醇,批号 172435,色谱纯,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;水,批号 20250605120,哇哈哈集团有限公司;甲醇(批号 20200511)、亚硝酸钠(批号 20210927),分析纯,均购自国药集团化学试剂有限公司;硝酸铝九水合物 $[\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}]$,批号 C16680041,分析纯,山东科源生化有限公司;氨水,批号 2109081,质谱级,西陇科学股份有限公司;冰醋酸,批号 23061501,分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;高氯酸,批号 20240326,分析纯,天津政成化学试剂有限公司;香草醛,批号 F2420336,分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

2 方法与结果

2.1 炙红芪的制备

红芪蜜炙方法为课题组前期优化所得^[7],具体工艺为将一定量红芪饮片加入炼蜜中,闷润 1 h,每 100 g 红芪用炼蜜 25 g,将烘箱温度设为 70 ℃,饮片厚度为 3 cm,烘制 2.5 h,烘制完成后,取出放凉,备用。将 10 批红芪(S1~S10)依次炮制后得对应编号为 Z1~Z10 的炙红芪。

2.2 红芪蜜炙前后总黄酮含量测定^[8]

2.2.1 对照品溶液的制备 精密称取芦丁对照品 2.21 mg,甲醇溶解并定容至 10 mL 量瓶中,得 0.221 mg/mL 芦丁对照品溶液。

2.2.2 供试品溶液的制备 称取各批次红芪、炙红芪粉末 0.15 g,精密称定,加甲醇 1.5 mL,超声(功率 500 W、频率 40 kHz)提取 2 次,每次 1 h,甲醇补足减失的质量,以 12 000 r/min 离心(离心半径 8.3 cm)10 min,取上清液,即得供试品溶液。

2.2.3 线性关系考察 吸取不同体积的芦丁对照品溶液,加入 15 μL 5% NaNO_2 溶液,混匀静置 6 min,再加入 30 μL 10% $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液,定容至 1 mL 量瓶中,混匀静置 6 min,再加入 105 μL 4% NaOH 溶液,混匀静置 15 min,于 510 nm 处测定吸光度(A)值,以芦丁质量浓度为横坐标(X), A 值为纵坐标(Y),绘制标准曲线,进行线性回归,所得的回归方程为 $Y=3.165\ 7 X+0.100\ 6$, $R^2=0.999\ 6$,结果表明芦丁在 10.3~287.5 $\mu\text{g/mL}$ 线性关系良好。

2.2.4 精密度试验 精密吸取 0.3 mL 芦丁对照品溶液(0.221 mg/mL),按照“2.2.3”项下方法测定 A 值,连续测定 6 次。结果芦丁 A 值的 RSD 为 0.16%,结果表明该仪器精密度良好。

2.2.5 稳定性试验 精密吸取“2.2.2”项下红芪供

试品溶液(S2)50 μL ,按照“2.2.3”项下方法反应后分别于 0、10、20、30、40、50、60 min 测定 A 值。结果显示,红芪供试品溶液在 60 min 内 A 值的 RSD 为 1.88%,结果表明供试品溶液在 60 min 内稳定性良好。

2.2.6 重复性试验 取同一批红芪样品(S2)共 6 份,按照“2.2.2”项下方法制备供试品溶液,分别精密吸取 50 μL ,按照“2.2.3”项下方法测定 A 值。结果显示,红芪样品总黄酮含量测定值的 RSD 为 1.60%,结果表明该方法重复性良好。

2.2.7 加样回收率试验 称取已测知总黄酮含量的同一批红芪样品(S2)6 份,每份约 0.075 g,精密称定,精密加入适量芦丁对照品,按照“2.2.2”项下方法制备供试品溶液,按照“2.2.3”项下检测条件测定 A 值。结果红芪中芦丁的平均加样回收率为 99.12%,RSD 为 1.46%,结果表明该方法加样回收率良好,具有可行性。

2.2.8 样品中总黄酮含量测定 按照“2.2.2”项下方法分别制备 10 批红芪供试品溶液、10 批炙红芪供试品溶液,按照“2.2.3”项下方法进行分析,计算红芪、炙红芪中总黄酮含量,结果见表 2。

2.3 红芪蜜炙前后总皂苷含量测定^[8]

2.3.1 对照品溶液的制备 精密称取黄芪甲苷对照品 1.15 mg,甲醇溶解并定容至 10 mL 量瓶中,得 0.115 mg/mL 黄芪甲苷对照品溶液。

2.3.2 供试品溶液的制备 称取红芪、炙红芪粉末各 0.15 g,精密测定,加甲醇 10 mL,超声(功率 500 W、频率 40 kHz)提取 1 h,甲醇补足减失的质量,以 8 000 r/min 离心(离心半径 10.5 cm)10 min,取上清液,即得供试品溶液。

2.3.3 线性关系考察 精密吸取不同体积的黄芪甲苷对照品溶液,置于 5 mL 具塞试管中,70 ℃水浴挥干,加入 0.2 mL 5%香草醛-冰醋酸溶液 0.2 mL 和高氯酸 0.8 mL,55 ℃水浴 20 min,取 40 μL 加至 96 孔板中,再加 200 μL 冰醋酸,混匀,589 nm 处测定 A 值,以黄芪甲苷质量为横坐标(X), A 值为纵坐标(Y),绘制标准曲线,并进行线性回归,所得回归方程为 $Y=2.442\ 6 X-0.0556$, $R^2=0.999\ 4$,结果表明黄芪甲苷在 10.3~287.5 μg 线性关系良好。

2.3.4 精密度试验 精密吸取 0.5 mL 黄芪甲苷对照品溶液,按照“2.3.3”项下方法测定 A 值,连续测定 6 次。结果显示黄芪甲苷 A 值的 RSD 为 0.06%,结果表明该仪器精密度良好。

表 2 红芪蜜炙前后总黄酮和总皂苷含量测定结果 ($\bar{x} \pm s$, $n = 3$)

Table 2 Determination results of total flavonoids and total saponins content in HR before and after honey-processing ($\bar{x} \pm s$, $n = 3$)

样品	总黄酮/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	总皂苷/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
S1	181.9 $\pm$ 1.4	16 305.9 $\pm$ 4.0
S2	543.9 $\pm$ 4.0	10 554.3 $\pm$ 3.0
S3	607.7 $\pm$ 1.9	6 716.0 $\pm$ 2.0
S4	420.0 $\pm$ 2.4	10 315.1 $\pm$ 3.0
S5	434.6 $\pm$ 2.6	12 898.8 $\pm$ 3.0
S6	1 062.5 $\pm$ 2.3	7 688.5 $\pm$ 3.0
S7	633.9 $\pm$ 3.2	9 084.1 $\pm$ 2.0
S8	475.3 $\pm$ 1.0	11 380.4 $\pm$ 2.0
S9	671.5 $\pm$ 1.1	12 990.7 $\pm$ 4.0
S10	1 173.7 $\pm$ 3.0	11 832.6 $\pm$ 4.0
Z1	160.2 $\pm$ 3.0 ^{##}	18 400.2 $\pm$ 6.0 ^{##}
Z2	429.0 $\pm$ 4.8 ^{##}	14 398.1 $\pm$ 6.0 ^{##}
Z3	465.5 $\pm$ 1.1 ^{##}	12 939.8 $\pm$ 5.0 ^{##}
Z4	396.2 $\pm$ 3.7 ^{##}	13 634.8 $\pm$ 4.0 ^{##}
Z5	387.8 $\pm$ 6.0 ^{##}	14 769.3 $\pm$ 4.0 ^{##}
Z6	866.5 $\pm$ 8.8 ^{##}	12 106.4 $\pm$ 3.0 ^{##}
Z7	564.1 $\pm$ 7.2 ^{##}	14 729.3 $\pm$ 4.0 ^{##}
Z8	344.9 $\pm$ 3.8 ^{##}	14 367.2 $\pm$ 3.0 ^{##}
Z9	103.9 $\pm$ 2.8 ^{##}	14 538.2 $\pm$ 4.0 ^{##}
Z10	885.6 $\pm$ 2.3 ^{##}	15 776.4 $\pm$ 6.0 ^{##}

与对应批次红芪比较: ^{##} $P < 0.01$ 。

^{##} $P < 0.01$ vs corresponding batch of HR.

2.3.5 稳定性试验 精密吸取“2.3.2”项下红芪供试品溶液(S2) 0.5 mL, 按照“2.3.3”项下方法反应后分别于 0、10、20、30、40、50、60 min 测定 A 值。结果显示, 红芪供试品溶液在 60 min 内 A 值的 RSD 为 1.20%, 结果表明供试品溶液在 60 min 内稳定性良好。

2.3.6 重复性试验 取红芪样品(S2) 共 6 份, 按照“2.3.2”项下方法制备供试品溶液, 分别吸取 50 μL , 按照“2.3.3”项下方法测定 A 值。结果显示红芪样品中总皂苷含量的 RSD 为 0.52%, 结果表明该方法重复性良好。

2.3.7 加样回收率试验 精密称取已测知总皂苷含量的同一批红芪样品(S2) 6 份, 每份约 0.075 g, 精密称定, 精密加入适量黄芪甲苷对照品, 按照“2.3.2”项下方法制备供试品溶液, 按照“2.3.3”项下方法测定 A 值。结果红芪中黄芪甲苷的平均加样回收率为 98.44%, RSD 为 2.63%, 结果表明该方法

加样回收率良好, 具有可行性。

2.3.8 样品中总皂苷含量测定 按照“2.3.2”项下方法分别制备 10 批红芪供试品溶液、10 批炙红芪供试品溶液, 按照“2.3.3”项下方法进行分析, 测定不同红芪、炙红芪中总皂苷含量, 结果见表 2。

2.4 红芪蜜炙前后黄酮类、皂苷类成分 HPLC 指纹图谱的建立

2.4.1 色谱条件

(1) 黄酮类: Agilent 1260 型高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司); Agilent Zorbax Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱(250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μm , 美国 Agilent 公司); 流动相为乙腈-0.01%磷酸水溶液, 梯度洗脱: 0~5 min, 2%~5%乙腈; 5~20 min, 5%~14%乙腈; 20~40 min, 14%~30%乙腈; 40~48 min, 30%~35%乙腈; 48~60 min, 35%~50%乙腈; 60~75 min, 50%~75%乙腈; 体积流量 1 mL/min; UV 检测波长 214 nm; 柱温 30 $^{\circ}\text{C}$; 进样量 10 μL 。

(2) 皂苷类: Agilent 1260 型高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司); Agilent Zorbax Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱(250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μm , 美国 Agilent 公司); 流动相为乙腈-水, 梯度洗脱: 0~2 min, 10%乙腈; 2~5 min, 10%~20%乙腈; 5~25 min, 20%~28%乙腈; 25~30 min, 28%~35%乙腈; 30~39 min, 35%~38%乙腈; 39~42 min, 38%~50%乙腈; 42~55 min, 50%~80%乙腈; 55~65 min, 80%乙腈; 65~68 min, 80%~90%乙腈; 68~75 min, 90%乙腈; 体积流量 1 mL/min; 蒸发光检测器: 1260 Infinity II ELSD, 漂移管温度为 90 $^{\circ}\text{C}$, 载气体积流量为 1.6 L/min; 柱温为 35 $^{\circ}\text{C}$; 进样量为 10 μL 。

2.4.2 对照品溶液的制备 称取各对照品适量, 甲醇溶解并定容, 制成含毛蕊异黄酮苷 170.4 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、芒柄花苷 117.6 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、毛蕊异黄酮 131.2 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、芒柄花素 116.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的混合对照品溶液。同法制得含黄芪甲苷 0.283 2 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、异黄芪皂苷 II 206.4 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的混合对照品溶液, 备用。

2.4.3 供试品溶液的制备

(1) 红芪、炙红芪黄酮类成分供试品溶液: 称取红芪、炙红芪饮片粉末各 3.00 g, 精密称定, 加甲醇 30 mL, 超声(功率 500 W、频率 40 kHz)提取 2 次, 每次 1 h, 滤过, 滤液浓缩定容至 10 mL, 混匀, 用 0.22 μm 滤膜滤过, 取续滤液, 即得。

(2) 红芪、炙红芪皂苷类成分供试品溶液: 称取红芪、炙红芪饮片粉末 1.00 g, 精密测定, 置于

圆底烧瓶中,加甲醇 10 mL,超声(功率 500 W、频率 40 kHz)提取 2 次,每次 2 h,滤过,减压回收甲醇,残渣加水 2.5 mL,用水饱和的正丁醇萃取 2 次,每次 10 mL,合并正丁醇,加入氨试液洗涤 2 次(10 mL/次),弃去氨试液,减压回收正丁醇,残渣加适量甲醇使溶解,定容至 1 mL 量瓶中,混匀,用 0.22 μm 滤膜滤过,取续滤液,即得。

2.4.4 精密度试验 取红芪粉末(S1),按照“2.4.3”项下方法制备各供试品溶液,按照“2.4.1”项下色谱条件,连续进样测定 6 次,分别以 6 号峰(芒柄花素)和 9 号峰(异黄芪皂苷 II)为参照峰,计算各共有峰的相对保留时间和相对峰面积。结果显示,各共有峰的相对保留时间及相对峰面积的 RSD 均小于 3.0%,表明该仪器精密度良好。

2.4.5 稳定性试验 取“2.4.3”项下同一红芪供试品溶液(S1),在“2.4.1”项色谱条件下,分别于制备后 0、2、4、6、8、12、24 h 进行进样分析,分别以 6 号峰(芒柄花素)和 9 号峰(异黄芪皂苷 II)为参照峰,计算各共有峰的相对保留时间和相对峰面积。结果表明,各共有峰相对保留时间及相对峰面积的 RSD 值均小于 3.0%,符合方法学要求,表明样品在 48 h 内稳定。

2.4.6 重复性试验 取同一批红芪粉末(S1),按照

“2.4.3”项下方法平行制备供试品溶液,在“2.4.1”项色谱条件下进样测定,分别以 6 号峰(芒柄花素)和 9 号峰(异黄芪皂苷 II)为参照峰,记录各共有峰保留时间和峰面积。结果表明,各共有峰相对保留时间及相对峰面积的 RSD 值均小于 3.0%,表明该方法重复性良好。

2.4.7 指纹图谱的建立及相似度评价 将 10 批红芪和 10 批炙红芪的 HPLC 数据,导入《中药色谱指纹图谱相似度评价系统》2012A 版,以 S1 号样品的图谱为参照,通过多点校正进行色谱峰匹配,生成指纹图谱叠加图及其对照指纹图谱(R),对各批次图谱的共有峰进行指认并计算相似度。

指纹图谱叠加图见图 1、2,共有峰指认图谱见图 3、4,相似度评价结果见表 3、4。依据指纹图谱的特征性和整体性,共标定了 9 个共有峰,其中,6 号峰(芒柄花素)、9 号峰(异黄芪皂苷 II)与相邻峰分离的较好,故选定其分别作为以黄酮类成分为主、皂苷类成分为主的指纹图谱的参照峰(S)。

在以黄酮类成分为主的指纹图谱(图 1)中,分别以红芪、炙红芪对照指纹图谱 R 为参照,计算 10 批红芪(S1~S10)、10 批炙红芪(Z1~Z10)指纹图谱的相似度。10 批红芪的相似度在 0.676~0.972,其中 8 批样品相似度大于 0.8;10 批炙红芪的相似度

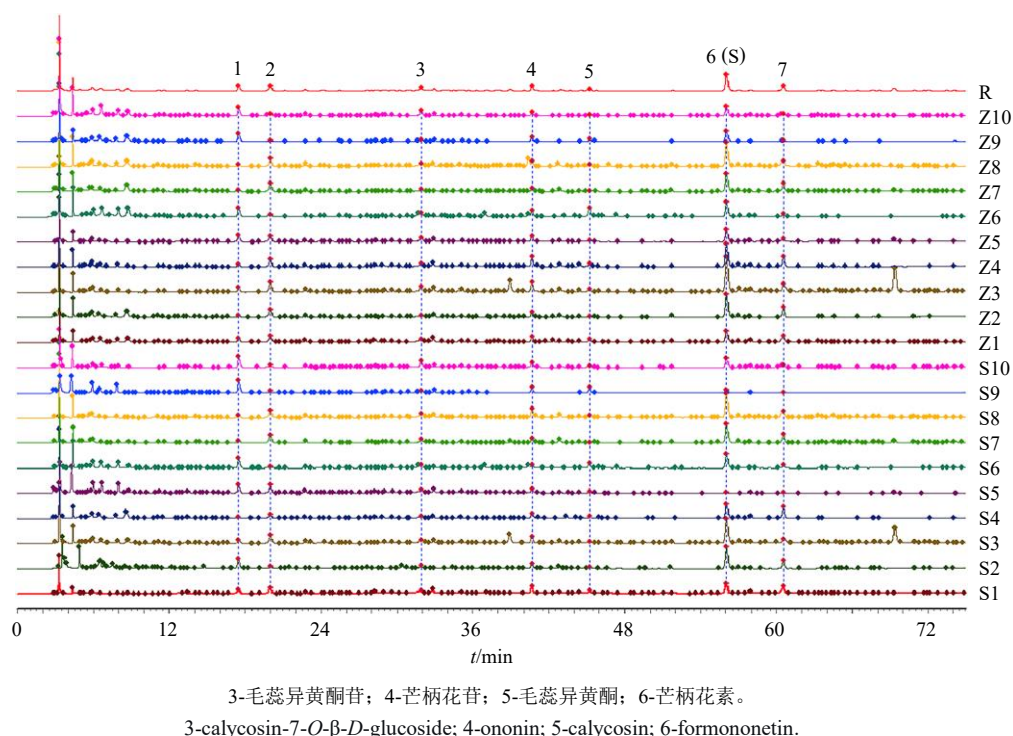


图 1 10 批红芪、10 批炙红芪以黄酮类为主的指纹图谱及其对照指纹图谱 (R)

Fig. 1 Flavonoid-based fingerprints of 10 batches of HR and HRPCM and their corresponding reference fingerprint (R)

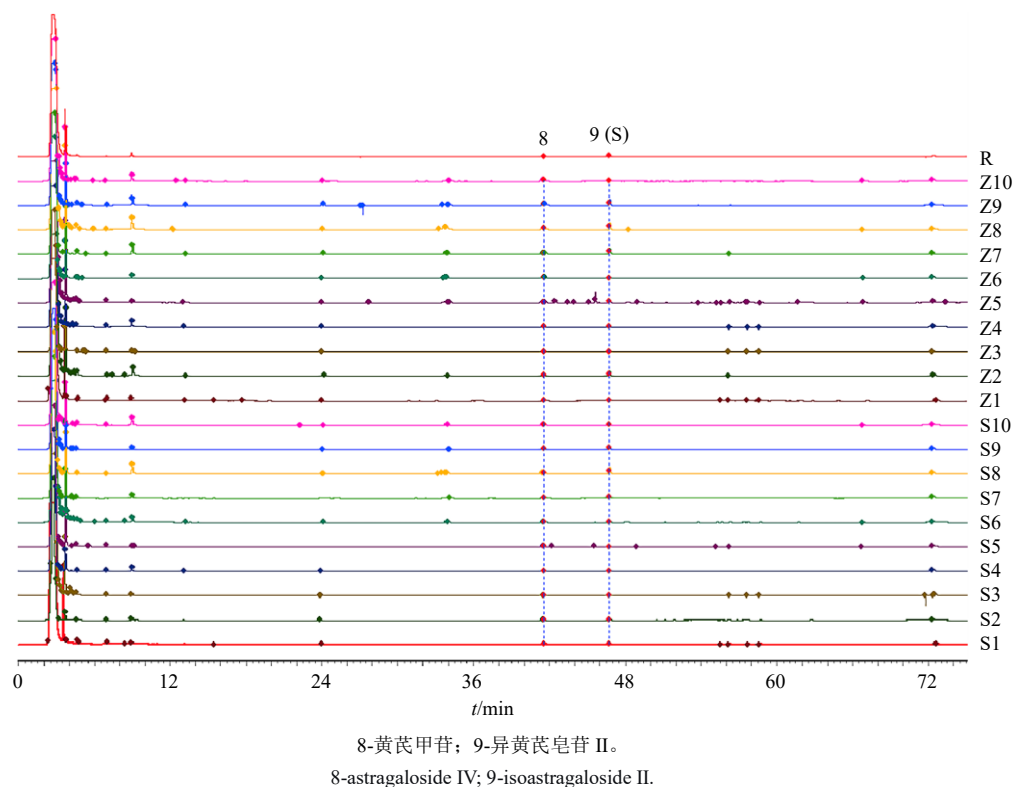


图 2 10 批红芪、10 批炙红芪以皂苷类成分为主的指纹图谱及其对照指纹图谱 (R)

Fig. 2 Saponin-based fingerprints of 10 batches of HR and HRPCM and their corresponding reference fingerprint (R)

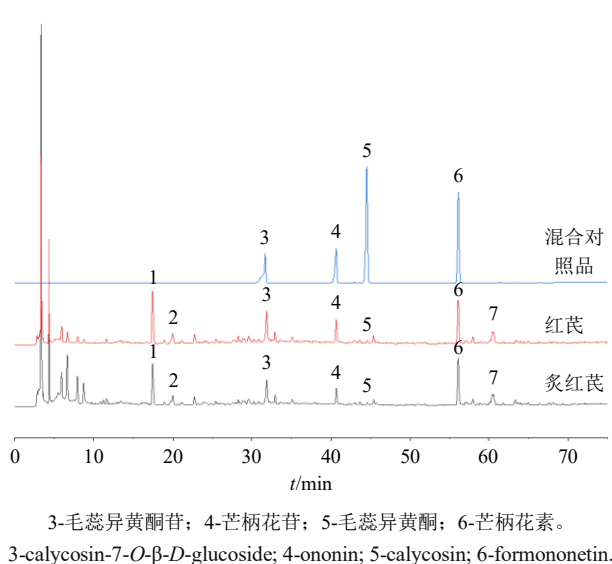


图 3 混合对照品及红芪蜜炙前后以黄酮类成分为主的 HPLC 图

Fig. 3 HPLC of mixed reference substances and HR before and after honey-processing, focusing on flavonoid components

在 0.891~0.988。再以红芪对照指纹图谱为参照, 计算 10 批炙红芪的相似度在 0.904~0.982。

同样可得, 在以皂苷类成分为主的指纹图谱(图

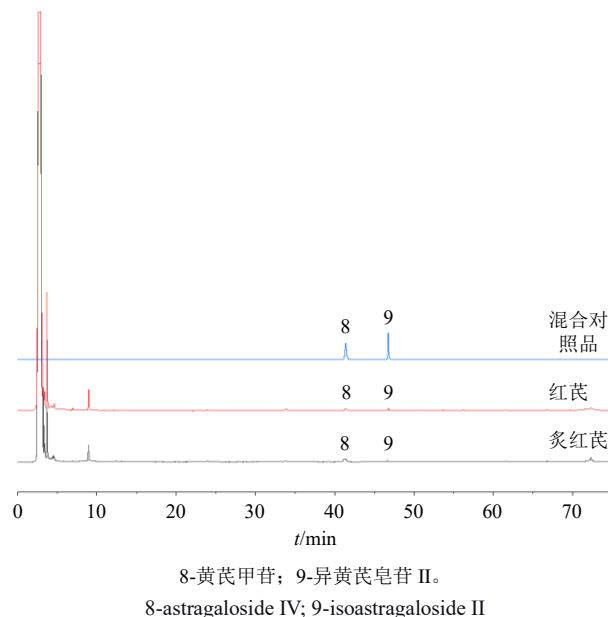


图 4 混合对照品及红芪蜜炙前后以皂苷类成分为主的 HPLC 图

Fig. 4 HPLC of mixed reference substances and HR before and after honey-processing, focusing on saponin components

2) 中, 10 批红芪的相似度在 0.868~0.996; 10 批炙红芪的相似度在 0.794~0.999, 其中 9 批样品相

表 3 10 批红芪、10 批炙红芪以黄酮类成分为主的指纹图谱相似度评价结果

Table 3 Similarity evaluation results of flavonoid-based fingerprints of 10 batches of HR and HRPCM

编号	与对照指纹图谱的相似度		炙红芪与红芪对照指纹图谱的相似度
	红芪	炙红芪	
1	0.960	0.965	0.972
2	0.954	0.976	0.964
3	0.972	0.986	0.976
4	0.949	0.988	0.982
5	0.713	0.961	0.971
6	0.941	0.903	0.910
7	0.953	0.979	0.968
8	0.969	0.987	0.978
9	0.676	0.891	0.904
10	0.900	0.894	0.913

表 4 10 批红芪、炙红芪以皂苷类成分为主的指纹图谱相似度评价结果

Table 4 Similarity evaluation results of saponin-based fingerprints of 10 batches of HR and HRPCM

编号	与对照指纹图谱的相似度		炙红芪与红芪对照指纹图谱的相似度
	红芪	炙红芪	
1	0.869	0.859	0.852
2	0.918	0.990	0.992
3	0.986	0.934	0.929
4	0.868	0.980	0.977
5	0.984	0.992	0.918
6	0.993	0.967	0.904
7	0.996	0.944	0.922
8	0.988	0.999	0.999
9	0.974	0.977	0.944
10	0.989	0.794	0.786

似度大于 0.8。再以红芪对照指纹图谱为参照, 计算 10 批炙红芪的相似度在 0.786~0.999, 其中 9 批样品相似度大于 0.8。

2.5 红芪蜜炙前后黄酮类、皂苷类主要成分定量测定

2.5.1 色谱条件 同“2.4.1”项下。

2.5.2 对照品溶液的制备 同“2.4.2”项下对照品溶液的制备方法。

2.5.3 供试品溶液的制备 同“2.4.3”项下供试品溶液的制备方法。

2.5.4 线性关系考察 分别从“2.5.2”项下黄酮类、皂苷类成分混合对照品溶液中精密移取适量, 加甲醇逐级稀释, 制备得到系列质量浓度不同的对照品

溶液。按照“2.5.1”项下色谱条件进样测定, 以质量浓度为横坐标 (X), 峰面积为纵坐标 (Y), 绘制标准曲线, 进行线性回归, 得各回归方程分别为毛蕊异黄酮苷 $Y=8\,205.7X-19.391$, $R^2=0.999\,8$, 线性范围 $6.4\sim170.4\,\mu\text{g/mL}$; 芒柄花苷 $Y=12\,789.0X-7.387\,9$, $R^2=0.999\,8$, 线性范围 $4.4\sim117.6\,\mu\text{g/mL}$; 毛蕊异黄酮 $Y=37\,318.0X-41.269$, $R^2=0.999\,5$, 线性范围 $4.9\sim32.8\,\mu\text{g/mL}$; 芒柄花素 $Y=35\,983.0X-64.547$, $R^2=0.999\,8$, 线性范围 $4.4\sim116.0\,\mu\text{g/mL}$; 黄芪甲苷 $Y=3\,611.3X-151.67$, $R^2=0.999\,1$, 线性范围 $35.4\sim708.0\,\mu\text{g/mL}$; 异黄芪皂苷 II $Y=4\,395.7X-127.32$, $R^2=0.999\,1$, 线性范围 $25.8\sim516.0\,\mu\text{g/mL}$ 。

2.5.5 精密度试验 精密吸取混合对照品溶液, 在“2.5.1”项色谱条件下连续进样 6 次, 测定各成分的峰面积。结果显示, 毛蕊异黄酮苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素、黄芪甲苷及异黄芪皂苷 II 峰面积的 RSD 分别为 1.60%、1.75%、1.18%、1.66%、1.03%、1.42%, 符合方法学验证要求, 结果表明该仪器精密度良好。

2.5.6 稳定性试验 取红芪 (S1) 供试品溶液, 在“2.5.1”项色谱条件下分别于制备后 0、2、4、6、8、12、24、48 h 进样分析, 测定 6 种成分的峰面积。结果显示, 毛蕊异黄酮苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素、黄芪甲苷及异黄芪皂苷 II 峰面积的 RSD 分别为 1.39%、1.21%、1.91%、2.67%、1.80%、1.88%, 结果表明供试品溶液在 48 h 内稳定性良好。

2.5.7 重复性试验 取同一批红芪粉末 (S1) 6 份, 精密称定, 按照“2.5.3”项下方法平行制备供试品溶液, 在“2.5.1”项下色谱条件进样测定, 计算各成分的含量。结果显示, 毛蕊异黄酮苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素、黄芪甲苷及异黄芪皂苷 II 质量分数的 RSD 分别为 1.82%、1.68%、1.88%、1.75%、1.26%、1.37%, 结果表明该方法重复性良好。

2.5.8 加样回收率试验 精密称取 6 份含量已测知的红芪样品 (S1), 分别加入适量混合对照品, 按照“2.5.3”项下方法进行制备, 并在“2.5.1”项色谱条件下进行测定。结果毛蕊异黄酮苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素、黄芪甲苷及异黄芪皂苷 II 的平均加样回收率分别为 98.71%、99.04%、98.84%、98.86%、99.67%、98.65%, RSD 分别为 2.52%、1.62%、1.54%、2.46%、1.54%、1.43%, 各成分加样回收率的 RSD 值均小于 3.0%, 表明该方法具有

可行性。 酮和皂苷供试品溶液，在“2.5.1”项色谱条件下进
2.5.9 样品中黄酮类、皂苷类成分含量测定 按照 样分析，各批次样品中 6 种成分的含量测定结果见
“2.5.3”项下方法分别制备各批次红芪、炙红芪的黄 表 5。

表 5 红芪蜜炙前后 6 种成分含量测定结果 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)
Table 5 Determination results of six components in HR before and after honey-processing ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

编号	质量分数/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)					
	毛蕊异黄酮苷	毛蕊异黄酮	芒柄花苷	芒柄花素	黄芪甲苷	异黄芪皂苷II
S1	336.1±3.2	29.1±0.6	230.1±5.7	118.6±3.4	48.1±0.6	33.6±0.5
S2	148.9±3.4	16.8±0.6	157.4±1.7	231.5±3.1	55.5±1.4	46.7±0.8
S3	324.6±3.8	31.9±0.7	256.7±3.6	272.4±4.5	63.0±1.5	37.2±0.9
S4	174.3±3.8	24.1±0.7	136.9±1.9	152.1±4.4	69.5±1.8	36.7±0.7
S5	335.1±2.5	17.7±0.5	157.4±2.7	26.4±0.6	68.3±1.2	37.6±0.6
S6	164.9±1.8	52.3±1.5	87.3±2.2	144.9±2.4	73.5±1.8	49.7±1.4
S7	234.8±6.9	16.1±0.3	120.4±3.3	204.9±3.7	86.3±1.3	65.9±1.8
S8	373.3±3.9	28.4±0.8	259.4±3.6	264.0±5.7	125.6±3.3	116.0±2.6
S9	49.4±1.4	7.7±0.2	122.1±3.5	36.3±0.8	70.0±2.0	71.3±2.0
S10	375.6±2.7	13.1±0.3	135.2±2.4	96.6±2.1	68.0±1.3	39.2±0.8
Z1	298.2±2.4 ^{##}	25.9±0.6 ^{##}	175.5±3.3 ^{##}	136.5±3.5 ^{##}	48.8±0.6	35.1±0.5
Z2	197.2±3.7 ^{##}	16.9±0.5	140.8±2.4 ^{##}	239.0±5.7 [#]	87.9±2.6 ^{##}	89.2±2.6 ^{##}
Z3	392.2±2.1 ^{##}	27.6±0.7 ^{##}	310.4±5.9 ^{##}	361.8±5.5 ^{##}	64.0±1.7	39.1±0.8
Z4	261.6±3.0 ^{##}	32.3±0.9 ^{##}	279.3±1.9 ^{##}	239.0±5.2 ^{##}	63.4±0.7 [#]	42.8±1.2 ^{##}
Z5	303.2±1.6 ^{##}	17.8±0.3	169.3±3.2 ^{##}	128.0±2.7 ^{##}	88.5±2.3 ^{##}	52.0±1.5 ^{##}
Z6	148.6±3.4 ^{##}	87.1±1.7 ^{##}	82.5±2.1	148.7±3.0	97.6±2.8 ^{##}	42.3±0.8 ^{##}
Z7	219.4±1.2 ^{##}	21.0±0.6 ^{##}	110.8±2.4 [#]	199.6±3.9	146.2±3.6 ^{##}	103.5±3.0 ^{##}
Z8	322.8±2.4 ^{##}	25.4±0.6 ^{##}	228.8±4.2 ^{##}	270.4±5.2 [#]	151.1±4.1 ^{##}	129.8±3.1 ^{##}
Z9	109.0±2.6 ^{##}	8.6±0.2	109.8±2.4 ^{##}	108.2±2.9 ^{##}	126.2±3.3 ^{##}	104.5±1.7 ^{##}
Z10	354.1±3.1 ^{##}	19.5±0.6 ^{##}	125.6±3.1 [#]	115.7±2.6 ^{##}	108.0±2.1 ^{##}	35.8±0.6 [#]

与对应批次红芪比较：[#] $P < 0.05$ ^{##} $P < 0.01$ 。
[#] $P < 0.05$ ^{##} $P < 0.01$ vs corresponding batch of HR.

2.6 统计学分析

本研究实验数据均采用 SPSS 30.0 软件进行统计分析。对于计量资料，首先进行正态性检验，符合正态分布的数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示；多组间比较采用单因素方差分析 (One-Way ANOVA)；若数据不符合正态分布或方差不齐，则采用 Wilcoxon 秩和检验 (W-H 检验)。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义， $P < 0.01$ 为差异极显著。统计图表均通过 Origin 2022 和 GraphPad Prism 10 软件绘制完成。

3 讨论

3.1 实验药材的选择

甘肃是红芪的道地产区，其独特的地理环境和气候条件孕育了品质优良的红芪资源。道地药材的形成与适宜的自然环境、优良的种质、特殊的产地采收和加工、独特的化学成分等因素密切相关，甘肃米仓红芪因其产量大、历史文化积淀深厚而成为

公认的道地药材^[9]。遗传多样性研究表明，甘肃红芪种质资源在不同分布区域具有丰富的遗传变异，武都、宕昌、定西等主要产区的红芪居群遗传基础较宽，种群内的遗传变异占 83.64%，居群间的遗传分化不明显^[10-11]。因此，本研究以甘肃不同产地的红芪为研究对象，能够较好的代表红芪的较为核心的化学特征，同时兼顾了产地间的种质多样性，可反映红芪的质量波动范围，为蜜炙工艺对红芪化学成分影响规律的研究提供具有代表性的样本基础。后续研究将进一步收集其他产区的红芪样品，以验证本研究结论的普适性。

3.2 总黄酮、总皂苷含量测定结果分析

本研究采用紫外分光光度法对 10 批红芪及炙红芪中总黄酮和总皂苷含量进行了测定。结果显示，红芪总黄酮质量分数在 181.9~1 173.7 $\mu\text{g/g}$ ，炙红芪总黄酮质量分数在 103.9~885.6 $\mu\text{g/g}$ 。蜜炙后

总黄酮含量呈现显著的下降趋势（每批次 $P < 0.01$ ），平均降低 25.8%，说明蜜炙工艺对总黄酮的含量变化有重要影响。红芪总皂苷质量分数在 6 716 0~16 305.9 $\mu\text{g/g}$ ，炙红芪总皂苷质量分数在 12 106.4~18 400.2 $\mu\text{g/g}$ 。红芪蜜炙后总皂苷含量均呈现显著升高趋势（每批次 $P < 0.01$ ），平均升高 37.93%。这一现象提示，蜜炙过程对红芪中 2 类主要活性成分的影响机制可能存在差异。

总黄酮含量的下降可能与黄酮类成分在蜜炙加热加湿环境下的结构转化有关。黄酮苷类化合物在加热过程中易发生糖苷键的水解，而生成的苷元又可能进一步参与氧化、聚合等反应，共同导致其在总黄酮测定中的显色反应响应值降低^[12-14]。总皂苷含量的上升则可能与皂苷类成分的提取效率提高或结构转化有关。蜜炙过程中的加热处理可能破坏细胞壁结构，促进皂苷类成分的溶出；同时，部分极性较大的皂苷糖链可能发生适度水解，生成保留时间适中、显色反应更灵敏的次级苷，导致总皂苷测定的响应值升高^[12,15]。

3.3 指纹图谱相似度评价分析

以黄酮类成分为主的指纹图谱结果显示，各产地红芪指纹图谱相似度在 0.676~0.972。有研究发现，生红芪相对接近度可至 0.116 1~0.447 3^[16]，而红芪种质的遗传距离在 0.49~0.88^[17]，故本研究中各红芪批次可用，不同产地红芪存在化学多样性是一定的。此外，本研究中生品的分散性（相似度为 0.676~0.972）与蜜炙后样品的组内一致（相似度为 0.891~0.988）形成了鲜明对比，反映了产地、遗传等因素导致的红芪原药的质量差异，另一方面也揭示了蜜炙工艺对红芪的影响，能够使不同来源的红芪经炮制后质量趋于稳定，从一定层面上解释了“增效减毒”等炮制特性。同时，以生红芪样品为参照，计算炙红芪的指纹图谱相似度结果为 0.904~0.982，表明炮制在调整成分含量的同时，并未改变红芪的基本化学轮廓。有研究表明，红芪蜜炙后虽然出现新成分，且毛蕊异黄酮苷、芒柄花苷等成分共有峰峰面积发生变化，但其整体色谱骨架仍得以保留^[18-19]。

以皂苷类成分为主的指纹图谱中，10 批生红芪的组内相似度为 0.868~0.996，表明不同产地生品皂苷类成分的整体一致性较好。10 批炙红芪的组内相似度为 0.794~0.999，其中 9 批样品大于 0.85，仅第 10 批样品为 0.794。以生红芪对照指纹图谱为

参照，10 批炙红芪的相似度为 0.786~0.999，其中 9 批样品大于 0.85，第 10 批样品为 0.786。结果表明皂苷类成分在多数样品中炮制前后整体轮廓较为稳定。个别批次样品可相似度小于 0.8，可能由于皂苷类成分在加热炮制过程中易发生水解反应，若第 10 批生品的皂苷类本底与其他批次存在差异，则炮制后的产物谱可能偏离群体；其次，皂苷类成分紫外吸收较弱，色谱图基线波动可能对相似度计算产生影响；不同结构类型的次生代谢产物对炮制的响应可能存在差异，导致皂苷类成分蜜炙后的有个别差异^[20-23]。

3.4 HPLC 含量测定结果分析

对 10 批红芪及 10 批炙红芪样品中 6 种指标性成分含量测定结果表明，黄酮类成分中，芒柄花素 10 批中有 8 批含量显著升高，2 批升高不显著，平均质量分数从 154.8 $\mu\text{g/g}$ 升至 202.0 $\mu\text{g/g}$ ，平均升高 30.49%；毛蕊异黄酮 10 批中 3 批升高、4 批降低、3 批无显著变化，平均含量升高 18.99%，但个体差异大；毛蕊异黄酮苷 10 批中 6 批降低、4 批升高；芒柄花苷 10 批中 6 批降低、3 批升高、1 批不变。黄酮苷类成分含量以降低为主，黄酮苷元含量以升高为主，可能与黄酮苷类成分在加热加湿条件下发生分解、脱去糖基转化为相应的苷元有关。个别样品中毛蕊异黄酮苷、芒柄花苷含量升高，可能与蜜炙工艺能够影响红芪中主要活性成分的溶出或转化有关^[24]。

而皂苷类成分普遍且一致含量升高。黄芪甲苷 10 批中有 8 批显著升高，异黄芪皂苷 II 10 批中有 7 批显著升高，平均质量分数分别升高 34.79% 和 26.22%。总皂苷含量的上升和单体皂苷含量的上升，共同表明蜜炙对红芪中皂苷类成分整体上具有“增溶”或“富集”作用，为红芪蜜炙后补益功效增强提供了物质基础^[12,25]。

3.5 红芪前后成分差异与补气健脾功效的关联性分析

黄酮类成分是红芪发挥免疫调节和抗炎作用的重要活性物质。本研究结果显示，蜜炙后毛蕊异黄酮苷、芒柄花苷等黄酮苷类成分含量下降，而其对应的苷元毛蕊异黄酮和芒柄花素含量上升。这种由苷向苷元的转化，可能对药效产生重要影响。与苷类成分相比，苷元类成分的相对分子质量更小，脂溶性更强，更易于通过肠道上皮细胞被吸收，进而进入血液循环发挥药理作用^[26-27]。在免疫功能调

节方面,毛蕊异黄酮和芒柄花素已被证实具有增强巨噬细胞吞噬能力、促进淋巴细胞增殖等免疫调节活性,可能对蜜炙红芪“补气”功效的增强有所贡献^[28]。牛江涛等^[6]研究发现,红芪蜜炙后毛蕊异黄酮含量上升 34.18%、芒柄花素上升 17.49%,同时蜜炙红芪在脾气虚大鼠模型中的补中益气作用显著优于生品。

皂苷类成分方面,蜜炙后总皂苷含量升高 37.93%,其中黄芪甲苷和异黄芪皂苷 II 的含量总体呈上升趋势。黄芪甲苷是公认的评价黄芪及红芪质量的指标性成分,具有增强免疫功能、抗疲劳、保护胃肠道黏膜等药理活性。蔡金坊等^[12]研究发现,蜜炙能增加黄芪水溶性浸出物、并保持了皂苷 II 的稳定性、显著增加了异黄酮苷的含量,从化学成分角度证实了蜜炙对药效物质基础的优化作用。且该研究还证实,黄芪蜜炙后总皂苷含量升高,有利于皂苷类成分的溶出,加热过程可能造成某些基团的丢失而产生一些化合物含量的变化。此外,蜂蜜作为炮制辅料,其还原糖与氨基酸在加热过程中可能发生美拉德反应,从而增强补中益气特性^[29-30]。

此外,红芪蜜炙过程中,除本研究上述各指标性成分含量的显著变化外,化学成分种类上的“质变”也是值得关注的问题。已有研究证实^[18-19],红芪蜜炙后有新的色谱峰出现,提示蜜炙过程可能诱导了红芪中新化学成分的产生。本研究中选用的指标性成分研究较为成熟,多个研究明确表明毛蕊异黄酮、芒柄花素、毛蕊异黄酮苷、芒柄花苷可作为红芪黄酮类指标性成分^[18,31],而对于 13-羟基-9-甲氧基紫檀烷相关研究较少,故未将其作为本研究的主要关注成分,后续可对其进行相关研究,并对蜜炙后化学成分的整体改变以及可能产生的新成分进行深入分析。

红芪蜜炙后补中益气作用增强的传统炮制经验,已被现代药理研究证实。蜜炙后化学成分的系统变化,可能是其“炮制增效”的物质基础。实验结果表明,蜜炙对红芪内在化学成分具有差异性影响,黄酮类成分的变化主要表现为毛蕊异黄酮苷、芒柄花苷含量的降低及其苷元毛蕊异黄酮、芒柄花素含量的升高,推测炮制过程中的湿热作用促进了黄酮苷向苷元的转化;而皂苷类成分(黄芪甲苷、异黄芪皂苷 II)的含量则呈上升趋势。这一变化可能是红芪蜜炙后“补脾益气”作用增强的重要物质基础。

4 结论

本研究测定了 10 批次红芪蜜炙前后总黄酮和总皂苷的含量变化,结果表明,蜜炙后总黄酮含量降低,总皂苷含量升高。在此基础上,分别建立了红芪以黄酮类、皂苷类成分为主的 HPLC 指纹图谱,并对 4 种黄酮类成分和 2 种皂苷类成分进行了含量测定,结果表明,蜜炙后毛蕊异黄酮苷、芒柄花苷含量呈现总体下降趋势,毛蕊异黄酮、芒柄花素含量呈现总体上升趋势,黄芪甲苷、异黄芪皂苷 II 的含量总体呈现不同程度的上升趋势,其中以黄芪甲苷、异黄芪皂苷 II 和芒柄花素含量的升高最为明显。上述变化从化学成分层面初步探讨了红芪蜜炙增效的机制,该机制可能与物理溶出增强及化学转化等有关。本研究为阐明蜜炙工艺对红芪化学成分的影响提供了相关依据,也为后续炮制机制研究和临床合理用药提供了参考,体现了中药炮制“增效”的科学内涵。

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. 2025: 163.
- [2] 王波. 基于 UPC² 技术对红芪中化学成分的分离分析及药代动力学的研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2020.
- [3] 陈茂鑫, 侯敏. 黄芪与红芪化学成分及药理作用研究进展与比较 [J]. 中医药导报, 2019, 25(8): 126-128.
- [4] 叶迎. 甘肃红芪和黄芪体内主要活性成分对比研究 [D]. 北京: 中国中医科学院, 2017.
- [5] 燕羽婷, 李昕蓉, 李岩, 等. 补益药红芪免疫调节作用机制研究进展 [J]. 中草药, 2024, 55(16): 5656-5668.
- [6] 牛江涛, 曹瑞, 边甜甜, 等. 红芪与炙红芪补中益气作用对比及成分差异分析 [J]. 中草药, 2019, 50(13): 3107-3112.
- [7] 李越峰, 牛江涛, 曹瑞, 等. 正交设计法优选红芪最佳蜜炙烘制工艺 [J]. 北京中医药大学学报, 2017, 40(2): 166-171.
- [8] 燕玉奎, 郭玫, 邵晶, 等. 红芪及其不同提取部位中主要活性成分的含量测定 [J]. 中兽医医药杂志, 2020, 39(1): 20-23.
- [9] 李越峰, 牛江涛, 曹瑞, 等. 甘肃米仓红芪道地性分析 [J]. 中国药房, 2016, 27(34): 4882-4884.
- [10] 强正泽. 基于 ISSR 标记技术的甘肃地产药材红芪的遗传多样性研究 [D]. 兰州: 甘肃中医药大学, 2016.
- [11] 龚文慧, 高磊, 辛力, 等. 基于指纹图谱及多成分含量测定结合加权 TOPSIS 的红芪及其不同炮制品质量评价 [J]. 天然产物研究与开发, 2025, 37(5): 930-943.
- [12] 蔡金坊, 代云桃, 肖永庆, 等. 系统评价蜜炙对黄芪药

- 效物质基础的改变 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(8): 47-52.
- [13] 田圣志, 杨玉涛, 张振凌, 等. HPLC 测定黄芪蜜炙前后毛蕊异黄酮和芒柄花素的含量 [J]. 中成药, 2010, 32(8): 1365-1368.
- [14] 耿莲, 彭四威, 高秀梅, 等. 一种由 (异) 补骨脂苷制备 (异) 补骨脂素的简单、高效的方法 [J]. 中药材, 2015, 38(9): 1894-1896.
- [15] 刘莹, 余琳琳, 方小伟, 等. 中性解吸电喷雾萃取电离质谱分析研究炙甘草炮制过程中的品质变化机制 [J]. 质谱学报, 2025, 46(4): 440-452.
- [16] 陈宇, 薛志远, 师志强, 等. 红芪活性组分抗骨质疏松作用的谱效关系研究 [J]. 中草药, 2018, 49(1): 160-166.
- [17] 张蔓, 孙红国, 吴海燕, 等. 甘肃不同产地黄芪与红芪的 ISSR 指纹图谱鉴别研究 [J]. 时珍国医国药, 2013, 24(12): 2917-2919.
- [18] 牛江涛, 曹瑞, 司昕蕾, 等. 红芪蜜炙前后化学成分差异的 HPLC 指纹图谱分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(5): 1-6.
- [19] 李成义, 强正泽, 王明伟, 等. 红芪与炙红芪 HPLC 指纹图谱对比研究 [J]. 中药材, 2019, 42(8): 1785-1789.
- [20] 张单丽, 李梦瑶, 王东升, 等. 不同加热方式对丙二酰基人参皂苷降解的影响及抗氧化活性的变化 [J]. 吉林农业大学学报, 2023, 45(6): 773-780.
- [21] 刘志, 夏娟, 李伟, 等. 天冬氨酸降解人参二醇组皂苷及其美拉德反应产物的抗氧化活性 [J]. 食品科学, 2018, 39(7): 20-26.
- [22] 许欢, 李渊源, 王菲, 等. 珠子参皂苷类成分酸性条件下的热转化机制研究 [J]. 西北药学杂志, 2017, 32(5): 559-562.
- [23] 刘博, 靳静, 郭锦鹏, 等. 马钱苷的药动学及药理作用研究进展 [J]. 中草药, 2026, 57(6): 2337-2355.
- [24] 朱子成. 大豆异黄酮及大豆苷元对高尿酸血症的治疗作用和机制研究 [D]. 天津: 天津中医药大学, 2025.
- [25] 刘善茹, 李昕蓉, 刘书斌, 等. 红芪活性成分免疫调节作用及机制研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(5): 130-137.
- [26] 窦芬瑜, 吕瑞龙, 柴梦娜, 等. 红芪蜜炙前后多糖的差异性研究 [J]. 中国中药杂志, 2026, 51(12): 3434-3443.
- [27] 窦芬瑜, 吕瑞龙, 柴梦娜, 等. 蜜炙前后红芪多糖免疫调节作用的差异性研究 [J/OL]. 中国中药杂志, (2026-04-10) [2026-04-20]. <https://doi.org/10.19540/j.cnki.cjcmm.20260408.301>.
- [28] 张淑娟. 基于中药质量标志物的炙黄芪和炙红芪质量控制研究 [D]. 兰州: 甘肃中医药大学, 2021.
- [29] 刘小鸣, 曹文文, 王瑞生, 等. 中药炮制辅料炼蜜制备工艺及质量标准研究 [J]. 中医学报, 2024, 39(3): 631-637.
- [30] 魏小成, 李成义, 孙天雄, 等. 铁元素对红芪异黄酮类成分累积特征分析 [J]. 甘肃中医药大学学报, 2023, 40(1): 21-27.
- [31] 刘海军, 黄涛, 刘可越. 中药蜜炙辅料炼蜜的研究进展及分析 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015(12): 68-70.

[责任编辑 郑礼胜]