

槐米炒炭过程中颜色、成分含量的变化规律和相关性分析

付毛毛^{1,2}, 任润馨^{1,2}, 武旭³, 党明^{1,2}, 李康杰^{1,2}, 张桥^{1,2}, 王昌利^{1,2}, 杜升旗⁴, 孙静^{1,2}, 赵重博^{1,2*}

1. 陕西中医药大学/陕西省中药饮片工程技术研究中心, 陕西 咸阳 712046
2. 国家中医药管理局中药炮制技术传承基地(陕西), 陕西 咸阳 712046
3. 天津中医药大学中药学院, 天津 301617
4. 陕西兴盛德药业有限责任公司, 陕西 铜川 727000

摘要: 目的 研究槐米 *Sophorae Japonicae* 炒炭过程中化学成分、颜色与止血凝血作用的相关性, 以期为槐米炒炭过程中的质量控制提供参考依据。方法 制备不同炮制程度的槐米炭样品, 采用 HPLC 法测定其中芦丁、异槲皮苷、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷、槲皮素、异鼠李素的含量, 采用紫外-可见分光光度法测定不同炮制程度槐米炭样品的炭吸附力, 采用分光测色仪测定不同炮制程度槐米炭样品的 L^* (亮度值)、 a^* (红绿色值)、 b^* (黄蓝色值)、 E_{ab}^* (总色值), 通过 SPSS 26.0 和 SIMCA 14.1 软件进行颜色与指标成分的相关分析。采用剪尾法及玻片法评价不同炮制程度槐米炭样品对正常小鼠止血及凝血时间的药效, 并取新西兰兔血浆进行凝血酶原时间 (prothrombin time, PT)、活化部分凝血活酶时间 (activated partial thromboplastin time, APTT) 指标的测定加以验证。结果 在槐米炭炮制过程中, 随着炭化程度的增加, 样品中芦丁、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷在炮制过程中逐步减少, 异槲皮苷、槲皮素、异鼠李素均呈先增后降的趋势, L^* 、 b^* 和 E_{ab}^* 与芦丁、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷成分呈显著正相关 ($P < 0.01$), 与异槲皮苷、槲皮素、异鼠李素呈负相关; a^* 值先升后降, 与芦丁、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷呈负相关, 与异槲皮苷、槲皮素、异鼠李素呈正相关, 随着炭化程度的增加, 止血及凝血作用先增后降。结论 槐米炒炭过程中的颜色与化学成分的变化存在相关性, 可为其质量控制提供参考。

关键词: 槐米炭; 止血; 颜色; 化学成分; 主成分分析; 凝血; 质量控制; HPLC; 芦丁; 异槲皮苷; 山柰酚-3-*O*-芸香糖苷; 水仙苷; 槲皮素; 异鼠李素; 炭吸附力; 相关性分析

中图分类号: R283.6 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2025)18-6602-10

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.18.010

Change rule and correlation analysis of color and chemical components contents of *Sophorae Japonicae* during frying charcoal process

FU Maomao^{1,2}, REN Runxin^{1,2}, WU Xu³, DANG Ming^{1,2}, LI Kangjie^{1,2}, ZHANG Qiao^{1,2}, WANG Changli^{1,2}, DU Shengqi⁴, SUN Jing^{1,2}, ZHAO Chongbo^{1,2}

1. Shaanxi University of Chinese Medicine/Shaanxi Provincial Engineering Technology Research Center for Traditional Chinese Medicine Decoction Pieces, Xianyang 712046, China
2. Traditional Chinese Medicine Processing Techniques Heritage Base (Shaanxi), National Administration of Traditional Chinese Medicine, Xianyang 712046, China
3. School of Chinese Materia Medica, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 301617, China
4. Shaanxi Xingshengde Pharmaceutical Co., Ltd., Tongchuan 727000, China

Abstract: Objective To study the correlation between chemical composition, color and hemostatic and coagulant effects of Huaimi (*Sophorae Japonicae*, SJ). In order to provide a reference basis for the quality control of SJ in the process of frying charcoal. **Methods**

收稿日期: 2025-04-30

基金项目: 陕西省高水平中医药重点学科中药炮制学 (陕中医药函[2023]83 号); 陕西省重点研发计划 (2024SF-ZDCYL-03-11); 秦创原铜川“科学家+工程师”队伍建设项目 (2024KJ-KXJGCS-01); 王昌利全国老药工传承工作室 (国中医药人教函[2024] 255 号); 秦创原中医药产业创新聚集区项目 (L2024-QCY-ZYYJQ-X34)

作者简介: 付毛毛, 硕士研究生, 从事中药炮制与饮片质量标准研究。E-mail: 19916452962@163.com

***通信作者:** 赵重博, 副教授, 硕士生导师, 从事中药炮制与饮片质量标准研究。E-mail: zhao_chongbo@126.com

Charcoal samples of SJ with different degrees of processing were prepared, the contents of rutin, isoquercitrin, kaempferol-3-*O*-rutinoside, narcissin, quercetin, and isorhamnetin were determined by HPLC. The charcoal adsorption of the SJ charcoal samples with different degrees of processing was determined by ultraviolet-visible spectrophotometry, and the L^* (brightness value), a^* (red-green value), b^* (yellow-blue value), and E_{ab}^* (total color value) of the SJ charcoal samples with different degrees of processing were measured by spectrophotometry. The correlation analysis of the color and the index components was carried out by the software of SPSS 26.0 and SIMCA 14.1. The efficacy of the samples of Huaimitan (*Sophorae Japonicae Carbonisata*, SJC) with different degrees of processing on hemostasis and coagulation time in normal mice was evaluated by tail clipping and slide method, and verified by taking plasma of New Zealand rabbits for the determination of prothrombin time (PT) and activated partial thromboplastin time (APTT) indicators. **Results** In the processing process of SJC, rutin, kaempferol-3-*O*-rutinoside, and narcissin glycoside in the samples gradually decreased during the processing process with the increase of the degree of carbonization, isoquercitrin, quercetin, and isorhamnetin showed a tendency to increase and then decrease, and the L^* , b^* , and E_{ab}^* showed a positive correlation with the composition of rutin, kaempferol-3-*O*-rutinoside, narcissin and a negatively correlation with the composition of isoquercitrin, quercetin, isorhamnetin; a^* values first increased and then decreased, negatively correlated with rutin, kaempferol-3-*O*-rutinoside, and narcissin, and positively correlated with isoquercitrin, quercetin, and isorhamnetin, and the hemostatic and coagulant effects first increased and then decreased with increasing charring. **Conclusion** There is a correlation between the color and chemical composition changes during the frying charcoal process of SJ, which can provide a reference for its quality control.

Key words: *Sophorae Japonicae Carbonisata*; hemostasis; color; chemical composition; principal component analysis; coagulation; quality control; HPLC; rutin; isoquercitrin; kaempferol-3-*O*-rutinoside; narcissin; quercetin; isorhamnetin; carbon adsorption force; correlation analysis

槐米 *Sophorae Japonicae* (SJ) 为豆科槐属植物槐 *Sophora japonica* L. 的干燥花蕾, 具有凉血止血、清肝泻火的功效, 常用于治疗便血、痔血、血痢、崩漏、吐血、衄血、肝热目赤、头痛眩晕等症^[1-2]。槐米炭 *Sophorae Japonicae Carbonisata* (SJC) 作为槐米的炮制品之一, 炒炭后苦寒之性降低, 收涩之性增加, 进而止血作用增强^[3]。明代缪希雍所编著的《炮炙大法》^[4]中记载槐米道: “未开时采收, 陈久者良。入药拣净, 酒浸, 未炒。若止血, 炒黑”。《鸡鸣录》^[5]中记载槐米需炒炭后使用, 该方可用于治疗痔血肠红、便血等病症。《中国药典》自 1990 年版后, 将槐米收载于槐花项下, 目前对槐米炭的炮制方法未作出明确规定。各省炮制规范中部分虽有收载槐米炭, 但炮制方法大多不一, 实际操作中难以控制槐米炭的质量稳定性^[6]。

中药在实际的炮制过程中, 主要是依据饮片的颜色来判断其炮制程度, 主观性过强, 且因人而异。近几年, 色差分析技术在中药鉴别、中药炮制等领域被广泛应用^[7]。诸多文献研究表明, 中药的颜色与其成分、药效具有一定的相关性^[8-10], 如朱奎霖等^[11]对橘核炮制过程中颜色与主要有效成分含量进行了相关分析, 结果表明, 其主要成分含量与外观颜色的相关性显著, 可通过分析橘核粉末色度值为橘核炮制品质量与炮制终点的判断提供参考依据; 段浩瀚等^[12]对不同产地牛膝炮制过程中的化学

成分及色度进行定量分析, 建立了检验牛膝炮制程度的快速鉴别函数, 弥补了传统炮制程度肉眼鉴别的主观性和模糊性。槐米中主要成分为黄酮类, 其中所含的芦丁、槲皮素等成分具有良好的止血作用, 且炭品的止血效果优于生品^[13]。梁清光等^[14]通过测定不同炮制程度槐米炭样品的色素吸附力、鞣质质量分数、pH 值及电导率, 并采用主成分分析 (principal component analysis, PCA) 与层次聚类分析 (hierarchical cluster analysis, HCA) 法评价不同炮制程度的槐米炭质量, 结果表明, 不同炮制程度的槐米炭样品以上 4 个指标差异较大, 同一炮制程度的样品差异极小, 但未进行药效方面的评价; 徐春梦等^[15]对槐花、槐米炒炭过程中的化学成分变化进行了探究, 并分析其“炒炭存性”表征物质, 但未进行槐米颜色与成分的关联分析以及止血凝血方面相关的药效研究。基于此, 本研究拟采用分光测色仪结合高效液相色谱法进行颜色以及成分含量的测定, 并用 PCA、Pearson 分析以及回归分析探讨不同炮制程度槐米炭的颜色与成分的相关性, 除此之外, 以炭吸附力、止血、凝血效果加以辅助, 作为药效评价依据, 以期对槐米炭的炮制终点和质量标准提供数据参考。

1 仪器与材料

1.1 仪器

LC-2030 Plus 型岛津高效液相色谱仪, 配置 LC-

2030 UV 检测器, 日本岛津公司; New Classic MS-S 型电子天平, 上海梅特勒-托利多仪器有限公司; XM-P102H 型无极调功超声波清洗机, 昆山超声仪器有限公司; HH-2 型电热恒温水浴锅, 北京科伟永兴仪器有限公司; MTN-11 型半自动凝血分析仪, 长春市曼特诺医疗器械有限公司。

1.2 试药

槐米饮片, 批号 20240102, 购自陕西兴盛德药业有限责任公司, 经陕西中医药大学药学院赵重博副教授鉴定为豆科槐属植物槐 *S. japonica* L. 的干燥花蕾。对照品山柰酚-3-*O*-芸香糖苷 (批号 012599, 质量分数 $\geq 98.5\%$)、槲皮素 (批号 012980, 质量分数 $\geq 99.0\%$)、异鼠李素 (批号 012557, 质量分数 $\geq 99.0\%$)、芦丁 (批号 012233, 质量分数 $\geq 98.5\%$)、水仙苷 (批号 011997, 质量分数 $\geq 99.0\%$)、异槲皮苷 (批号 011802, 质量分数 $\geq 98.0\%$) 均购自成都普思生物科技股份有限公司; 对照品柠檬黄, 批号 H21S11R125315, 上海源叶生物科技有限公司; 对照品柠檬酸, 批号 20240309, 天津市河东区红岩试剂厂。云南白药, 批号 ZCA2307, 云南白药集团股份有限公司; 3.2% 枸橼酸钠抗凝剂, 批号 20241022, 飞净生物科技有限公司; 乌拉坦, 批号 JS306007, 上海源叶生物科技有限公司; 活化部分凝血活酶时间 (activated partial thromboplastin time, APTT) 试剂盒 (批号 24090903)、凝血酶原时间 (prothrombin time, PT) 试剂盒 (批号 24110406), 长春市曼特诺医疗器械有限公司; 乙腈, 批号 1024QH125, 天津市彪仕奇科技发展有限公司; 水为娃哈哈纯净水, 其余试剂均为分析纯。

1.3 动物

SPF 级 ICR 雄性小鼠, 体质量 (25 $\pm$ 2) g, 购自陕西中医药大学实验中心, 许可证号 SYXK (陕) 2021-001; 新西兰兔, 体质量 2.5 kg, 雄性, 购自成都达硕实验动物有限公司, 许可证号 SCXK (川) 2022-0039。本实验已通过陕西中医药大学伦理委员会审批, 伦理授权号 SUCMDL20241105005。

2 方法与结果

2.1 槐米炭不同炮制程度样品的制备

按照《中国药典》2020 年版炒炭法 (通则 0213) 项下法进行炮制, 结合相关文献报道^[16]和预实验结果, 确定槐米炒制温度为 190 $^{\circ}\text{C}$, 称取 10 份槐米饮片, 每份约 50 g, 置于锅内, 分别炒制 0、1.5、3.0、4.5、6.0、7.5、9.0、10.5、12.0、13.5 min, 晾

干。粉碎后过四号筛, 得到不同炮制程度的槐米炭样品, 编号为 M1~M10。

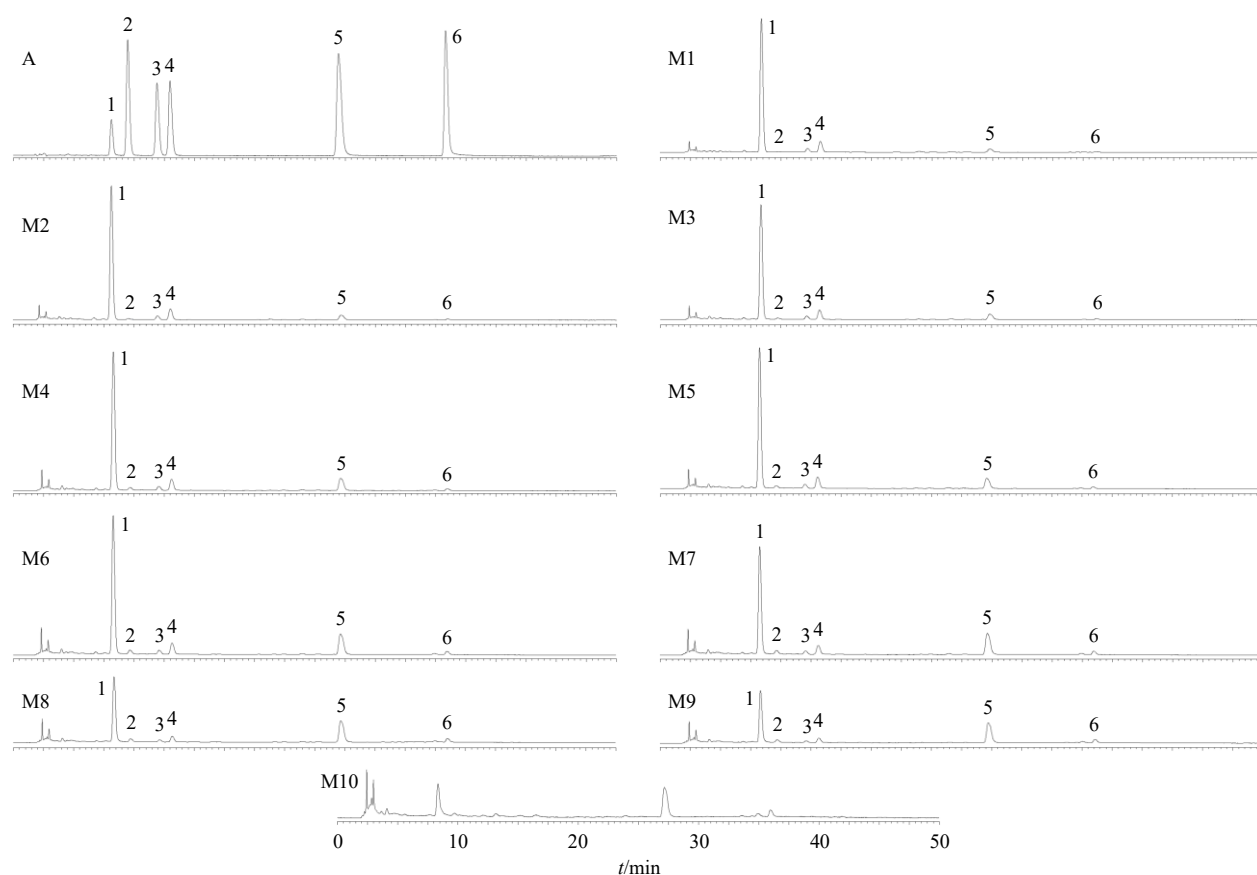
2.2 槐米炭不同炮制样品中 6 种单体成分的含量测定

2.2.1 对照品溶液的制备 分别精密称取芦丁、异槲皮苷、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷、槲皮素、异鼠李素适量, 加入甲醇制成质量浓度分别为芦丁 48.40 $\mu\text{g/mL}$ 、异槲皮苷 41.00 $\mu\text{g/mL}$ 、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷 44.00 $\mu\text{g/mL}$ 、水仙苷 43.60 $\mu\text{g/mL}$ 、槲皮素 41.20 $\mu\text{g/mL}$ 、异鼠李素 40.00 $\mu\text{g/mL}$ 的混合对照品溶液。

2.2.2 供试品溶液的制备 取不同炮制程度的槐米炭粉末约 0.1 g, 精密称定, 置具塞锥形瓶中, 精密加入甲醇 50 mL, 称定质量, 超声处理 (功率 300 W、频率 60 Hz), 30 min, 放冷, 再称定质量, 用甲醇补足减失的质量, 摇匀, 滤过, 取续滤液, 即得供试品溶液。

2.2.3 色谱条件 色谱柱为 Thermo Hypersil BDS C_{18} 柱 (250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μm); 流动相为乙腈-0.1% 磷酸水溶液, 梯度洗脱: 0~15 min, 17%~20% 乙腈; 15~25 min, 20%~25% 乙腈; 25~35 min, 25%~35% 乙腈; 35~50 min, 35%~45% 乙腈; 体积分流量 1.0 mL/min; 柱温 30 $^{\circ}\text{C}$; 检测波长 257 nm; 进样量 10 μL ^[17]。混合对照品溶液和供试品溶液的 HPLC 图见图 1。

2.2.4 线性关系考察 取“2.2.1”项下混合对照品溶液逐级稀释, 使之成为不同质量浓度的混合对照品溶液, 按照“2.2.3”项下色谱条件进行测定, 以对照品溶液的质量浓度为横坐标 (X), 峰面积为纵坐标 (Y), 分别绘制标准曲线, 进行线性回归, 得回归方程分别为芦丁 $Y=2\times 10^8 X-2\times 10^6$, $r=0.999\ 6$, 线性范围 9.68~48.40 $\mu\text{g/mL}$; 异槲皮苷 $Y=1\times 10^7 X-102\ 692$, $r=0.999\ 7$, 线性范围 8.20~41.00 $\mu\text{g/mL}$; 山柰酚-3-*O*-芸香糖苷 $Y=8\times 10^6 X-64\ 482$, $r=0.999\ 3$, 线性范围 8.80~44.00 $\mu\text{g/mL}$; 水仙苷 $Y=2\times 10^7 X-148\ 189$, $r=0.999\ 8$, 线性范围 8.72~43.60 $\mu\text{g/mL}$; 槲皮素 $Y=5\times 10^7 X-273\ 534$, $r=0.999\ 4$, 线性范围 8.24~41.20 $\mu\text{g/mL}$; 异鼠李素 $Y=2\times 10^7 X-1\ 144\ 899$, $r=0.999\ 5$, 线性范围 8.00~40.00 $\mu\text{g/mL}$; 由各对照品的线性关系考察结果可知各成分在线性范围内均呈现出良好的线性关系。芦丁、异槲皮苷、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷、槲皮素、异鼠李素的检测限分别为 1.40、1.90、2.50、1.10、



1-芦丁; 2-异槲皮苷; 3-山柰酚-3-O-芸香糖苷; 4-水仙苷; 5-槲皮素; 6-异鼠李素。

1-rutin; 2-isoquercitrin; 3-kaempferol-3-O-rutinoside; 4-narcissin; 5-quercetin; 6-isorhamnetin.

图 1 混合对照品溶液 (A) 及不同炮制程度槐米炭样品 (M1~M10) 的 HPLC 图

Fig. 1 HPLC of mixed control solution (A) and samples of SJC with different degrees of processing (M1—M10)

1.70、1.30 $\mu\text{g/mL}$; 定量限分别为 4.50、6.10、7.80、3.60、5.40、3.20 $\mu\text{g/mL}$ 。

2.2.5 精密度试验 取“2.2.1”项下混合对照品溶液,按照“2.2.3”项下色谱条件连续进样测定 6 次,记录芦丁、异槲皮苷、山柰酚-3-O-芸香糖苷、水仙苷、槲皮素、异鼠李素的峰面积,计算其 RSD 分别为 1.09%、1.87%、1.47%、1.73%、1.06%、1.33%。

2.2.6 稳定性试验 取 M1 供试品溶液,分别于配制后 0、2、4、6、8、10、12、16、24 h 进样测定,记录芦丁、异槲皮苷、山柰酚-3-O-芸香糖苷、水仙苷、槲皮素、异鼠李素的峰面积,计算其 RSD 分别为 2.00%、1.30%、0.80%、1.17%、1.60%、1.61%。

2.2.7 重复性试验 精密称取 M1 粉末适量,共 6 份,按照“2.2.2”项下方法制备供试品溶液,按照“2.2.3”项下色谱条件进样,计算芦丁、异槲皮苷、山柰酚-3-O-芸香糖苷、水仙苷、槲皮素、异鼠李素质量分数的 RSD 分别为 0.73%、1.86%、0.93%、1.67%、1.49%、1.81%。

2.2.8 加样回收率试验 精密称取已知各单体成分含量的样品 (M1) 6 份,每份 0.05 g,按照加标量为待测物含量的 1 倍,分别精密加入各对照品,按照“2.2.2”项下方法制备供试品溶液,进样检测,记录芦丁、异槲皮苷、山柰酚-3-O-芸香糖苷、水仙苷、槲皮素、异鼠李素的峰面积,计算其平均加样回收率分别为 97.47%、102.85%、103.03%、98.87%、100.06%、101.64%,RSD 分别为 1.67%、0.63%、1.80%、1.36%、0.98%、1.88%。

2.2.9 6 种单体成分含量测定 取不同炮制程度的槐米炭样品各 0.1 g,平行 3 份,精密称定,依法制备供试品溶液,进样检测,取其均值,结果见表 1。结果表明,芦丁、山柰酚-3-O-芸香糖苷、水仙苷在炮制过程中逐步减少,异槲皮苷、槲皮素、异鼠李素均呈先增后降的趋势,在槐米炭化过程中,在“特定炮制阶段 (如 M4~M8) 中异槲皮苷、槲皮素、异鼠李素含量显著高于生品”,芦丁、山柰酚-3-O-芸香糖苷、水仙苷的含量显著低于生品。

表 1 不同炮制程度槐米炭样品中 6 种成分质量分数的变化
Table 1 Variation of mass fractions of six components in samples of SJC with different degrees of processing

编号	质量分数/(mg·g ⁻¹)					
	芦丁	异槲皮苷	山柰酚-3-O-芸香糖苷	水仙苷	槲皮素	异鼠李素
M1	190.97	6.181	13.639	9.390	5.676	4.730
M2	184.73	7.632	12.715	6.094	7.207	5.065
M3	171.62	9.042	12.382	5.832	8.042	5.200
M4	133.72	9.672	10.552	5.652	10.410	5.635
M5	118.07	10.613	10.420	5.440	11.302	5.951
M6	93.03	10.928	9.315	5.246	14.387	6.725
M7	72.64	10.711	8.677	4.673	15.008	6.936
M8	68.84	9.477	6.927	4.373	16.047	7.416
M9	59.84	8.902	6.426	4.196	15.558	7.246
M10	53.87	5.960	4.415	3.991	9.504	5.774

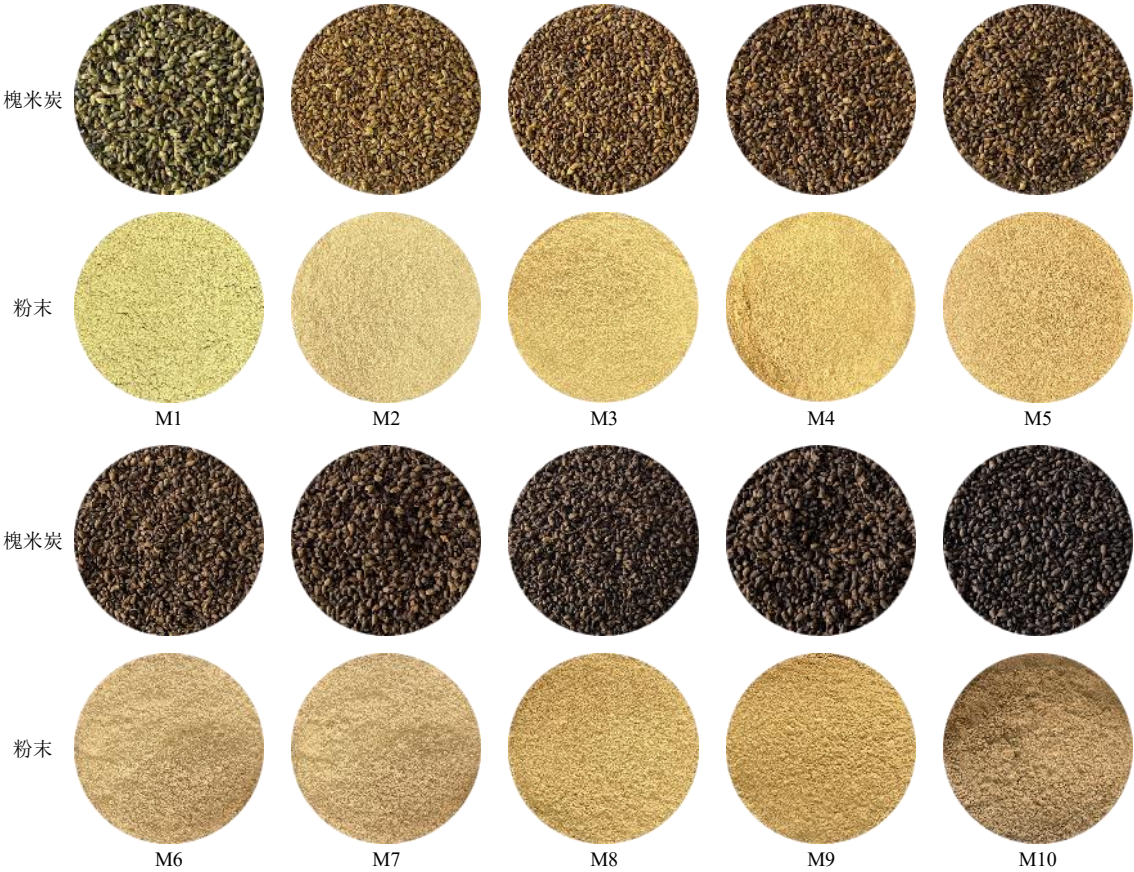


图 2 不同炮制程度槐米炭样品粉末

Fig. 2 Powders of SJC samples with different degrees of processing

品中芦丁、异槲皮苷、山柰酚-3-O-芸香糖苷、水仙苷、槲皮素、异鼠李素 6 种单体成分的质量分数进行 PCA，以其质量分数为基准，共提取到 2 个主成分，累积方差贡献率为 94.193%，能够较好地反映原变量的信息。得分方程为 $Y_1=0.448\ 2\ X_1-0.245\ 6$

2.3 槐米炭饮片粉末色度值测定

采用分光测色仪对不同炮制程度的槐米炭样品色度进行测定，槐米炭不同炮制程度样品粉末见图 2。在光线一致的条件下，取适量样品粉末平铺盘中，重复测定 3 次，记录 L^* 、 a^* 、 b^* 值，其中 L^* 表示明暗度值； a^* 表示红绿色度值； b^* 表示黄蓝色度值，取其平均值，计算 E_{ab}^* 值，结果见表 2。在槐米炮制过程中， L^* 、 b^* 值呈下降趋势， L^* 值从 M1 的 63.45 下降到 M10 的 6.97，明亮度下降 89.01%， b^* 值从 M1 的 28.48 下降到 M10 的 5.14， a^* 值总体呈现出先增后降的趋势，从 M1 的 -3.25 增加到 M3 的 5.85，且在 M3 达到峰值后开始下降，总色差值 E_{ab}^* 呈降低趋势。

2.4 不同炮制程度槐米炭样品的 PCA

利用 SPSS 26.0 软件对不同炮制程度槐米炭样

$X_2+0.400\ 9\ X_3+0.417\ 5\ X_4-0.445\ 3\ X_5-0.453\ 4\ X_6$ ， $Y_2=0.242\ 5\ X_1+0.770\ 2\ X_2+0.480\ 4\ X_3-0.169\ 4\ X_4+0.254\ 6\ X_5+0.153\ 7\ X_6$ ，以方差累积贡献率为权重，构建槐米炭样品质量优劣的综合评价模型（ $Y=0.747\ 4\ Y_1+0.194\ 6\ Y_2$ ），得分越高，表明该炮制程

表 2 不同炮制程度槐米炭样品粉末色度值 ($n = 3$)

Table 2 Colorimetric values of powdered SJC samples with different degrees of processing ($n = 3$)

样品	L^*	a^*	b^*	E_{ab}^*	样品	L^*	a^*	b^*	E_{ab}^*
M1	63.45	-3.25	28.48	69.62	M6	25.91	4.79	17.69	31.74
M2	52.61	6.17	27.16	59.53	M7	20.62	4.48	13.51	25.06
M3	49.90	5.85	24.77	56.01	M8	13.18	3.40	10.62	17.29
M4	44.71	4.80	21.20	49.71	M9	8.88	2.99	7.32	11.91
M5	32.57	5.05	19.54	38.32	M10	6.97	1.90	5.14	8.88

度下样品的质量越高, 结果见表 3。

采用 SIMCA 14.1 软件进行槐米炭色度值以及成分含量的 PCA, 结果见图 3, 由图 3-A 可知, M1 归为一类, M2~M4 可归为一类, M5~M7 可归为一类, M8~M10 可归为一类; 由图 3-B 可知, M1~M2 可归为一类, M3~M5 可归为一类, M6~M9 可归为一类, M10 可归为一类。结果表明, 色度值与主要成分含量可以通过 PCA 方法将不同炮制程度的槐米炭样品显著区分。

表 3 不同炮制程度槐米炭样品的综合得分

Table 3 Composite scores of SJC samples with different degrees of processing

编号	Y_1	Y_2	Y	排序	编号	Y_1	Y_2	Y	排序
M1	8.88	6.14	7.83	1	M6	3.55	4.10	3.45	6
M2	8.31	6.04	7.39	2	M7	2.54	3.58	2.59	7
M3	7.60	5.84	6.82	3	M8	2.25	3.32	2.33	8
M4	5.69	4.94	5.22	4	M9	1.89	3.02	2.00	9
M5	4.88	4.66	4.56	5	M10	1.92	2.38	1.90	10

2.5 槐米炭炮制过程中主要成分含量与色度值的 Pearson 相关性分析与回归分析

2.5.1 Pearson 相关性分析 将不同炮制程度槐米炭样品的色度值 (L^* 、 a^* 、 b^* 、 E_{ab}^*) 及 6 种单体成分的含量导入 SPSS 26.0 软件并进行 Pearson 相关性分析, 由表 4 可知, 芦丁、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷与 L^* 、 b^* 、 E_{ab}^* 值呈显著正相关 ($P < 0.01$), 与 a^* 值呈负相关, 其中水仙苷与 a^* 值呈显著负相关 ($P < 0.01$); 异槲皮苷、槲皮素、异鼠李素与 L^* 、 b^* 、 E_{ab}^* 值呈负相关, 与 a^* 值呈正相关, 其中槲皮素、异鼠李素与 L^* 、 b^* 值呈显著负相关 ($P < 0.01$), 异槲皮苷与 a^* 值呈显著正相关 ($P < 0.01$)。

2.5.2 回归分析 采用 SPSS 26.0 软件, 以芦丁、异槲皮苷、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷、槲皮素、异鼠李素的含量为因变量, 以 L^* 、 a^* 、 b^* 值为自变量进行线性回归分析, 研究主要成分含量与色度值

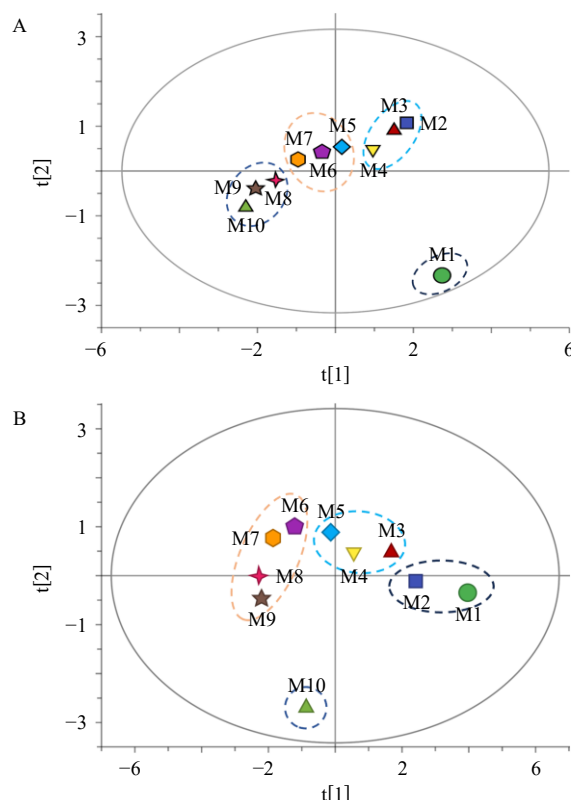


图 3 不同炮制程度槐米炭样品色度值 (A) 和主要成分 (B) 的 PCA 得分

Fig. 3 PCA scores for colorimetric values (A) and main components (B) of SJC samples with different degrees of processing

表 4 不同炮制程度槐米炭样品色度值与内在成分的 Pearson 相关性分析

Table 4 Pearson's correlation analysis of colorimetric values and intrinsic constituents of SJC samples with different degrees of processing

成分	Pearson 相关性系数			
	L^*	a^*	b^*	E_{ab}^*
芦丁	0.983 ^{##}	-0.078	0.967 ^{##}	0.983 ^{##}
异槲皮苷	-0.214	0.621 ^{##}	-0.072	-0.186
山柰酚-3- <i>O</i> -芸香糖苷	0.968 ^{##}	-0.009	0.989 ^{##}	0.976 ^{##}
水仙苷	0.877 ^{##}	-0.548 ^{##}	0.829 ^{##}	0.871 ^{##}
槲皮素	-0.792 ^{##}	0.289	-0.705 ^{##}	-0.776 ^{##}
异鼠李素	-0.848 ^{##}	0.230	-0.772 ^{##}	-0.834 ^{##}

色度值与主要成分含量的 Pearson 相关性: ^{##} $P < 0.01$; 表 5、6 同。

Pearson's correlation between chromaticity value and main component content: ^{##} $P < 0.01$; same as tables 5, 6.

之间的定量关系。结果见表 5、6。由表 5 可知, 以色度值为自变量时主要成分芦丁、异槲皮苷、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷、槲皮素、异鼠李素的含量受色度值的影响程度分别为 96.8%、56.5%、97.9%、98.2%、74.5%、80.0%; 由表 6 可知, 所测

表 5 主要成分含量与色度值的回归分析
Table 5 Regression analysis of content of main components and colorimetric values

成分	R^2	调整后的 R^2	标准估计 的误差	P 值
芦丁	0.968	0.964	0.970	0.000 ^{##}
异槲皮苷	0.565	0.515	0.120	0.000 ^{##}
山柰酚-3- <i>O</i> -芸香糖苷	0.979	0.976	0.044	0.000 ^{##}
水仙苷	0.982	0.980	0.021	0.000 ^{##}
槲皮素	0.745	0.715	0.193	0.000 ^{##}
异鼠李素	0.800	0.777	0.434	0.000 ^{##}

表 6 主要成分含量与色度值的回归系数
Table 6 Regression coefficients of content of main components and colorimetric values

成分	L^*		a^*		b^*	
	系数	P 值	系数	P 值	系数	P 值
芦丁	0.985	0.000 ^{##}	0.046	0.295	0.004	0.987
异槲皮苷	-2.521	0.003 ^{##}	0.319	0.056	2.398	0.005 ^{##}
山柰酚-3- <i>O</i> -芸香糖苷	-0.031	0.860	-0.006	0.871	1.019	0.000 ^{##}
水仙苷	-0.003	0.985	-0.543	0.000 ^{##}	0.828	0.000 ^{##}
槲皮素	-2.458	0.000 ^{##}	-0.010	0.937	1.700	0.008 ^{##}
异鼠李素	-2.362	0.000 ^{##}	-0.058	0.597	1.539	0.007 ^{##}

的 6 种成分均具有统计学意义 ($P < 0.01$), 表明可以通过色度值结合回归方程预测成分的含量。

2.6 炭吸附力测定

2.6.1 柠檬酸和柠檬黄标准溶液的制备 取柠檬酸 20.0 g, 加纯水溶解成 100 mL, 摇匀, 用 NaOH 调 pH 值为 6.0, 即得柠檬酸溶液; 精密称取柠檬黄 52.5 mg 于 500 mL 量瓶中, 加柠檬酸溶液溶解并稀释至刻度, 即得柠檬黄标准溶液。

2.6.2 测定波长的选择 以柠檬酸溶液为空白对照, 取柠檬黄标准溶液, 采用紫外分光光度法在波长 400~800 nm 进行扫描, 最终选 419 nm 为测定波长。

2.6.3 线性关系考察 精确吸取柠檬黄标准溶液 0、0.1、0.3、0.5、0.7、0.9、1.1 mL, 用柠檬酸溶液定容至 10 mL, 在 419 nm 处测定吸光度 (A) 值, 以 A 值为纵坐标 (Y), 柠檬黄质量作为横坐标 (X) 建立标准曲线, 进行线性回归, 得回归方程为 $Y = 21.550X + 0.0153$, $r = 0.9994$, 线性范围为 2~22 μg 。

2.6.4 炭吸附力的测定 称取不同炮制程度槐米炭样品粉末 2 份, 每份 0.02 g, 精密称定, 分别置于 20 mL 量瓶中, 1 份加柠檬酸溶液定容, 滤过, 作

为空白溶液, 另 1 份加入含 0.2 mg 柠檬黄的标准溶液, 加柠檬酸溶液定容, 滤过, 作为供试品溶液, 在 419 nm 处测定其 A 值, 根据公式 (吸附力=吸附量/样品量) 计算不同炮制程度槐米炭样品的炭吸附力, M1~M10 的炭吸附力依次为 7.500、8.030、8.054、7.930、7.828、8.247、7.629、7.314、7.329、7.325 mg/g。其中炭吸附力最强的是 M6。

2.7 不同炮制程度槐米炭样品对动物止血和凝血时间的影响研究

2.7.1 不同炒制程度槐米炭样品水煎液的制备 取 M1~M10 样品粉末各 20 g, 加 10 倍量水浸泡 30 min 后, 回流提取 1 h, 滤过, 第 2 次加 8 倍量水, 回流提取 1 h, 滤过, 将 2 次滤液合并, 减压浓缩至 1 g/mL, 即得。

2.7.2 止血、凝血时间的测定 取 72 只 ICR 小鼠, 适应性饲养 1 周后, 随机将其分为 12 组, 每组 6 只, 分别为对照组、云南白药组 (0.26 g/kg)、不同炒制程度槐米炭样品 (M1~M10) 组 (7.50 g/kg), 对照组 ig 生理盐水, 各给药组 ig 相应药物, 每天 1 次, 连续 7 d。末次给药 1 h 后, 采用剪尾法测定各组小鼠的止血时间。于距鼠尾 3 mm 处剪断, 观察小鼠尾部出血情况, 自血液自动溢出时开始计时, 每隔 20 s 用滤纸吸附断尾处 1 次, 至滤纸上无血迹时停止计时, 记录止血时间。

止血测定完成后, 用 20% 的乌拉坦溶液对小鼠进行麻醉, 采用眼科弯镊摘去一侧眼球, 于载玻片两端各滴 1 滴血, 每隔 3 s 用清洁大头针自边缘向里轻轻挑动 1 次, 观察有无血丝出现, 自采血开始至挑起血丝止, 记录凝血时间^[18-19]。

2.7.3 PT、APTT 测定 采集兔新鲜血液与 3.2% 枸橼酸钠按体积比 9:1 混合均匀在 3 000 r/min 转速下离 10 min, 分离得到血浆, 将待测血浆与不同炮制程度的槐米炭样品水提液, 按 49:1 体积比混合均匀, 生理盐水作为对照。取混合样品 50 μL , 37 $^{\circ}\text{C}$ 孵育 3 min, 加入已经预热的 PT 试剂 100 μL , 记录血浆凝固时间。将待测血浆与不同炮制程度的槐米炭样品水提液按 49:1 体积比混合均匀, 生理盐水作为对照。取混合样品 50 μL , 加入 APTT 试剂 50 μL , 混匀后, 37 $^{\circ}\text{C}$ 孵育 3 min, 加入预热的 CaCl_2 溶液 50 μL , 记录血浆凝固时间^[20-21]。

2.7.4 总评归一法评价止血、凝血值 将不同炮制程度的槐米炭样品 (M1~M10) 的止血时间、凝血时间、PT、APTT 这 4 个指标进行归一分析, 其中,

这 4 个指标作用相同,即越小越好。归一值(d_i)= $(Y_{\max}-Y_i)/(Y_{\max}-Y_{\min})$, $OD=(d_i+\dots+d_n)/N$, Y 为指标, N 为指标总数, OD 为 d_i 的算术平均值。最终以这 4 种指标的总评值来评价不同炮制程度槐米炭样品止血程度强弱,且总评值越高越好。

2.7.5 统计学处理 采用 SPSS 26.0 软件进行处理,所有数据均以 $\bar{x} \pm s$ 表示,各组间比较采用单因素方差分析, $P < 0.05$ 表示具有统计学意义。

2.7.6 止血、凝血测定结果 由表 7 可知,在止血方面,与对照组相比,除 M2 组外, M1 组具有显著止血效果 ($P < 0.05$),其余给药组具有极显著止血效果 ($P < 0.01$),且自 M5 组开始,小鼠的止血时间较云南白药组更短,其中 M9 的止血效果最好;在凝血方面,与对照组相比,除 M1、M2 组外,其余给药组具有极显著凝血效果 ($P < 0.01$),且自 M7 组开始,小鼠的凝血时间较云南白药组更短,其中 M8 的凝血效果最好。最后,综合考虑了止血、凝血时间,认为 M8 的止血、凝血效果最佳。由此可见,随着炮制程度的增加,槐米炭的止血和凝血作用显著增强。

2.7.7 PT、APTT 测定结果 由表 8 可知,与空白组相比, M1、M2 组测得的 PT、APTT 时间无显著变化, M3~M10 测得的 PT、APTT 时间极显著减

表 8 不同炮制程度槐米炭样品对新西兰兔血浆 PT、APTT 影响结果 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 8 Results of effect of samples of SJC with different degrees of processing on plasma PT and APTT in New Zealand rabbits ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

组别	给药剂量/(g·kg ⁻¹)	PT/s	APTT/s
对照	—	15.07±0.12	35.17±0.47
M1	7.50	14.97±0.25	34.57±0.40
M2	7.50	15.10±0.26	34.43±0.49
M3	7.50	11.50±0.44 ^{***}	32.97±0.57 ^{**#}
M4	7.50	10.20±0.36 ^{***}	30.97±0.78 ^{**#}
M5	7.50	7.33±0.90 ^{***}	29.17±0.60 ^{***}
M6	7.50	6.67±0.25 ^{***}	28.40±0.36 ^{**#}
M7	7.50	5.83±0.25 ^{***}	29.97±0.51 ^{**#}
M8	7.50	6.57±0.35 ^{***}	31.33±0.74 ^{**#}
M9	7.50	7.40±0.35 ^{***}	32.07±0.40 ^{**#}
M10	7.50	6.60±0.30 ^{***}	32.77±0.32 ^{**#}

少 ($P < 0.01$),与 M1 组比较, M2 组测得的 PT、APTT 时间无显著变化, M3~M10 测得的 PT、APTT 时间极显著减少 ($P < 0.01$), M3 组测得的 APTT 时间显著减少 ($P < 0.05$),综合考虑 PT 和 APTT 测得的时间, M6 组的效果最佳。

2.7.8 总评归一法评价止血、凝血值结果 由表 9 可以看出,随着槐米炮制程度的增加,总评值也随之增加,其中 M8 的总评值最高,在 M8 之后,总评值出现下降,由此得出, M8 效果最好。

表 9 总评归一分析结果

Table 9 Results of normalized analysis of overall ratings

组别	止血时间/ min	凝血时间/ min	PT/s	APTT/s	总评值
M1	9.22±0.18	1.17±0.10	14.97±0.25	34.57±0.40	0.02
M2	9.27±0.56	1.00±0.08	15.10±0.26	34.43±0.49	0.07
M3	8.10±0.82	0.99±0.08	11.50±0.44	32.97±0.57	1.01
M4	8.20±0.84	0.98±0.11	10.20±0.36	30.97±0.78	1.49
M5	7.09±0.68	0.76±0.07	7.33±0.90	29.17±0.60	2.51
M6	7.10±0.44	0.56±0.07	6.67±0.25	28.40±0.36	2.93
M7	5.20±0.50	0.47±0.07	5.83±0.25	29.97±0.51	3.15
M8	3.87±0.96	0.30±0.10	6.57±0.35	31.33±0.74	3.24
M9	2.48±0.71	0.42±0.07	7.40±0.35	32.07±0.40	3.09
M10	3.04±0.80	0.38±0.06	6.60±0.30	32.77±0.32	3.03

3 讨论

本研究按照《中国药典》2020 年版炒炭法,设置了不同时间点进行槐米炭的炮制。槐米中主含黄酮类成分,具有止血、抗炎、抗氧化等诸多药理作用^[22-23]。中药炒炭的主要目的是增强或产生止血或

表 7 不同炮制程度槐米炭样品对小鼠止血及凝血时间的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 6$)

Table 7 Effects of samples of SJC with different degrees of processing on hemostasis and coagulation time in mice

($\bar{x} \pm s, n = 6$)

组别	给药剂量/(g·kg ⁻¹)	止血时间/min	凝血时间/min
对照	—	10.55±0.84	1.29±0.08
云南白药	0.26	7.11±0.32 ^{ΔΔ##}	0.54±0.04 ^{ΔΔ##}
M1	7.50	9.22±0.18 ^Δ	1.17±0.10
M2	7.50	9.27±0.56	1.00±0.08
M3	7.50	8.10±0.82 ^{ΔΔ}	0.99±0.08 ^{ΔΔ##}
M4	7.50	8.20±0.84 ^{ΔΔ}	0.98±0.11 ^{ΔΔ##}
M5	7.50	7.09±0.68 ^{ΔΔ##}	0.76±0.07 ^{ΔΔ##}
M6	7.50	7.10±0.44 ^{ΔΔ##}	0.56±0.07 ^{ΔΔ##}
M7	7.50	5.20±0.50 ^{ΔΔ##}	0.47±0.07 ^{ΔΔ##}
M8	7.50	3.87±0.96 ^{ΔΔ##}	0.30±0.10 ^{ΔΔ##}
M9	7.50	2.48±0.71 ^{ΔΔ##}	0.42±0.07 ^{ΔΔ##}
M10	7.50	3.04±0.80 ^{ΔΔ##}	0.38±0.06 ^{ΔΔ##}

与对照组比较: ^Δ $P < 0.05$ ^{ΔΔ} $P < 0.01$; 与 M1 (槐米生品) 比较:

[#] $P < 0.05$ ^{##} $P < 0.01$; 表 8 同。

^Δ $P < 0.05$ ^{ΔΔ} $P < 0.01$ vs control group; [#] $P < 0.05$ ^{##} $P < 0.01$ vs M1 (raw product) group; same as table 8.

止泻作用^[24]，文献研究表明，凉血止血药经炒炭后止血效果与大多黄酮类成分之间存在相关性^[25]，如槐米中所含的芦丁、槲皮素具有止血、抗菌、抗氧化等药理作用^[13,16]，异槲皮苷能够显著缩短兔血浆 PT 和 APTT，具有较好的凝血活性^[26]，水仙苷能够显著缩短正常大鼠出血时间和血浆复钙时间，具有较好的止血作用^[27]，本实验中，选取了槐米中的黄酮类成分也是活性成分展开了研究，即文中的芦丁、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷、异槲皮苷、槲皮素、异鼠李素 6 种成分，最后将这 6 种成分与颜色进行了关联分析。

由颜色与成分的 PCA 结果可以看出，PCA 方法可将不同炮制程度的槐米炭样品显著区分，Pearson 相关分析结果表明，槐米经过不同炒制时间炮制后， L^* 、 b^* 和 E_{ab}^* 逐步下降，与芦丁、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷成分呈正相关，与异槲皮苷、槲皮素、异鼠李素呈负相关； a^* 值先升后降，与芦丁、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷呈负相关，与异槲皮苷、槲皮素、异鼠李素呈正相关，即随着炮制时间的增加，芦丁、山柰酚-3-*O*-芸香糖苷、水仙苷的含量逐渐降低，可能是由于苷键断裂，继而转化为相应的黄酮苷元类成分和鞣质等成分，异槲皮苷、槲皮素、异鼠李素含量出现先升后降的趋势，其中异槲皮苷先升高原因可能是黄酮苷类成分之间出现了相互转化，槲皮素、异鼠李素先升高可能是苷类分解使其增多，而后出现下降，可能是因为炭化程度太过成分受到破坏或分解^[28-30]，这些成分之间的变化或转化可能是槐米炭发挥止血作用的物质基础。

随后，进行了炭吸附力的测定以及相关药理实验，研究发现，随着炭化程度的增加，炭吸附力逐渐增强，可能是药材经炮制后产生更多的活性炭，同时使得药材疏松多孔，炭素含量增加，进而增强其止血作用；此外，出血时间、凝血时间的显著缩短表明槐米炒炭后能够增强止血作用，凝血 2 项 PT、APTT 的降低表明槐米炭可通过影响外源性凝血系统中凝血因子 I、II、V、VII、X 的活性和内源性凝血系统中凝血因子 VIII、IX、XI、XII 的活性，进而发挥止血作用^[31]，上述结果表明槐米炒炭后止血作用增强是多成分协同作用的结果。

对于槐米炭最佳炮制品的确定，从外观、颜色角度出发，参考了《中国药典》1983 年版^[6]和《山东省中药饮片炮制规范》（2012 年版）等地方标准

规定的槐米需炒至表面焦褐色或焦黑色的要求，M5~M7 的颜色较为适中；从内在成分角度出发，M6~M9 较好；从炭吸附力角度出发，M6 最好；从止血凝血角度出发，总评归一分析结果显示从 M5 开始，止血凝血作用开始显著增强，且 M5~M10 的止血凝血效果优于 M1~M4；考虑到中药饮片的质量与外观颜色和内在成分都有一定的相关性，综上分析，认为 M6 样品效果最佳，即在 190 °C 下炒制 7.5 min。

本研究将不同炮制程度槐米炭的颜色与其指标成分进行了关联分析，结果表明颜色在一定程度上可反映成分的含量，除此之外，进行了止血、凝血相关实验加以验证，为槐米炒炭过程中的质量控制提供科学依据。但实验中也存在不足之处，槐米可凉血止血，本研究侧重止血方面，未对凉血方面进行探究，后续可建立相关动物模型加以验证，以期对槐米炭的质量控制研究提供新思路。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部: 2020: 370.
- [2] He X R, Bai Y J, Zhao Z F, *et al.* Local and traditional uses, phytochemistry, and pharmacology of *Sophora japonica* L.: A review [J]. *J Ethnopharmacol*, 2016, 187: 160-182.
- [3] 王笑, 王雨, 张冰, 等. 槐不同药用部位本草学、化学成分和药理作用研究进展 [J]. 中草药, 2018, 49(18): 4461-4467.
- [4] 缪希雍. 炮炙大法 [M]. 太原: 山西科学技术出版社, 2009: 128.
- [5] 王孟英. 鸡鸣录 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 1999: 372.
- [6] 曲珍妮, 吕畅, 朱娟娟, 等. 中药炭药历代本草、现代标准及炮制经验辑要 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(1): 81-93.
- [7] 李星, 敖明月, 强梦琴, 等. 炮姜饮片炮制过程中颜色变化与其成分含量的相关性分析 [J]. 中药材, 2022, 45(5): 1087-1094.
- [8] 栾飞, 邹俊波, 张小飞, 等. 茜草炒炭过程中颜色-成分变化相关性与其“炒炭存性”探索 [J]. 中草药, 2025, 56(6): 1945-1955.
- [9] 董宁, 陈西, 李旭博, 等. 基于颜色-多糖-抗氧化活性关联分析探究黄精九蒸九制质量变化 [J]. 中草药, 2025, 56(2): 476-486.
- [10] 张媛, 朱月健, 尹磊, 等. 炮制程度对大蓟炭有效成分含量、颜色及止血作用的影响 [J]. 中成药, 2024, 46(11): 3754-3758.

- [11] 朱奎霖, 邹金莲, 邓徐丽, 等. 橘核炮制品颜色-成分相关性及其成分转化机制研究 [J]. 中国中药杂志, 2025, 50(9): 2382-2390.
- [12] 段浩瀚, 贾豪, 雷敬卫, 等. 基于颜色-成分关联分析比较不同产地牛膝炮制过程中质量变化的规律 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2024, 30(5): 143-51.
- [13] 胡明月, 梁艳, 王丽. 槐米化学成分与药理作用研究进展 [J]. 实用中医杂志, 2021, 37(12): 2141-2143.
- [14] 梁清光, 周苏娟, 孟江, 等. 运用主成分分析与聚类分析法评价不同炮制程度槐米炭的质量 [J]. 广东药科大学学报, 2017, 33(1): 47-51.
- [15] 徐春梦, 刘占, 张倩倩, 等. 槐花、槐米炒炭过程的成分变化及其“炒炭存性”表征研究 [J]. 中国药房, 2024, 35(21): 2622-2628.
- [16] 李秋红, 栾仲秋, 王继坤. 中药槐米的化学成分、炮制研究及药理作用研究进展 [J]. 中医药学报, 2017, 45(3): 112-116.
- [17] 任晶, 刘俊潼, 鄢必新, 等. 槐米药材、饮片、标准汤剂与配方颗粒的 HPLC 特征图谱相关性研究及量值传递分析 [J]. 中南药学, 2024, 22(1): 129-133.
- [18] 杨海玲, 刘振杰, 陆东萍, 等. 广山楂炭止血活性部位药效学筛选及作用机制初步研究 [J]. 中国医院药学杂志, 2022, 42(21): 2220-2224.
- [19] 陈奇. 中药药理研究方法学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1993: 564-566.
- [20] 张青萍, 刘泰, 周军, 等. 疏血通脉胶囊对大鼠下腔静脉血栓干湿重及 APTT、PT、TT、FIB 的影响研究 [J]. 时珍国医国药, 2014, 25(4): 824-825.
- [21] 胡哲, 杨曼曼. 土家药鸡血七不同萃取部分 PT、APTT、TT 的检测 [J]. 西部中医药, 2019, 32(3): 26-28.
- [22] 李焱, 黄晓巍, 律广富, 等. 槐米化学成分及药理作用研究进展 [J]. 人参研究, 2024, 36(6): 74-77.
- [23] 刘琳, 程伟. 槐花化学成分及现代药理研究新进展 [J]. 中医药信息, 2019, 36(4): 125-128.
- [24] 王本业, 李振辉, 陈思妙, 等. 虎杖炭炮制工艺优选及其凝血作用研究 [J]. 时珍国医国药, 2025, 36(8): 1482-1488.
- [25] 陈叶青. 凉血止血药炒炭时黄酮类成分的变化规律与止血作用的相关性研究 [D]. 南京: 南京中医药大学, 2016.
- [26] 刘洋, 张学兰, 李慧芬, 等. 荷叶不同饮片黄酮和生物碱类成分对兔体外凝血功能影响的比较 [J]. 中成药, 2014, 36(4): 842-845.
- [27] 赵雍, 郭静, 刘婷, 等. 槐花制炭后新止血成分的药理研究 [J]. 中国中药杂志, 2010, 35(17): 2346-2349.
- [28] 乔瑞瑞, 刘硕, 白亚亚, 等. 黄芩炒炭过程中主要成分与色度值的变化规律及其止血作用研究 [J]. 中草药, 2024, 55(15): 5083-5092.
- [29] 张贺, 徐园园, 王明慧, 等. 中药炮制“炭药止血”理论的现代研究进展 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2023, 25(4): 1502-1510.
- [30] 杨海玲, 黄冰, 陆丽前. 炒炭程度对广山楂色差值、7 种化学成分及止血作用影响 [J]. 中药药理与临床, 2023, 39(12): 78-83.
- [31] 单鸣秋. 侧柏叶的干燥加工与炒炭止血机制研究 [D]. 南京: 南京中医药大学, 2013.

[责任编辑 郑礼胜]