

## 不同产地槐角 HPLC 指纹图谱建立及化学模式识别研究

李晶峰<sup>1</sup>, 杨海南<sup>2</sup>, 邱慧<sup>1</sup>, 高旭<sup>1</sup>, 杨小倩<sup>1</sup>, 张辉<sup>1\*</sup>

1. 长春中医药大学, 吉林 长春 130117

2. 吉林北药药材加工有限公司, 吉林 长春 130000

**摘要:** 目的 测定不同产地槐角 *Sophorae Fructus* 中槐角苷、芦丁、染料木苷含量, 并建立其 HPLC 指纹图谱, 结合化学模式识别建立槐角有效的质量评价方法, 为槐角药材的质量标准制定提供依据。方法 采用 Agilent Zorbax SB C<sub>18</sub> 色谱柱在检测波长为 260 nm, 体积流量为 0.6 mL/min, 甲醇-乙腈-0.07%磷酸水(12:20:68)为流动相进行等度洗脱, 并运用中药色谱指纹图谱相似度评价系统结合化学模式识别技术进行数据分析, 确定共有峰并筛选差异性成分。结果 10 个不同产地槐角样品的指纹图谱中有 9 个共有峰为特征峰, 与对照图谱相似度均在 0.98 以上。不同产地槐角的槐角苷、芦丁、染料木苷平均含量分别为 8.9%、4.2%、6.45%。聚类分析将 10 批不同产地的槐角分为 2 类, 主成分分析、正交偏最小二乘-判别分析结果与聚类分析一致, 并筛选出不同批次的差异性成分为 9、1、2、6、3 号峰, 其中 9、6 号峰分别指认为槐角苷、染料木苷。结论 建立了槐角的 HPLC 指纹图谱及化学模式识别下寻找不同产地槐角质量差异成分的方法, 为全面评价槐角药材的质量提供有效手段。

**关键词:** 槐角; HPLC; 指纹图谱; 槐角苷; 芦丁; 染料木苷; 化学模式识别

中图分类号: R286.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2021)21-6677-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2021.21.026

## Establishment of HPLC fingerprint and chemical pattern recognition of *Sophorae Fructus* from different cultivation places

LI Jing-feng<sup>1</sup>, YANG Hai-nan<sup>2</sup>, ZHI Hui<sup>1</sup>, GAO Xu<sup>1</sup>, YANG Xiao-qian<sup>1</sup>, ZHANG Hui<sup>1</sup>

1. Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China

2. Jilin Beiyao Medicine Processing Co., Ltd., Changchun 130000, China

**Abstract: Objective** To determine the content of *Sophorae Fructus*, rutin and genistein in *Sophorae Fructus* from different cultivation places, and establish their HPLC fingerprint. Combined with chemical pattern recognition, an effective quality evaluation method of *Sophorae Fructus* was established to provide basis for the quality research of *Sophorae Fructus*. **Methods** The ethanol extract of *Sophorae Fructus* was eluted on Agilent Zorbax sb C<sub>18</sub> column at the detection wavelength of 260 nm and the flow rate of 0.6 mL/min. The mobile phase consisted of methanol-acetonitrile-0.07% phosphoric acid water (12:20:68). The similarity evaluation system of chromatographic fingerprint of traditional Chinese medicine and chemical pattern recognition technology were used for data analysis to determine the common peaks and screen the different components. **Results** Nine common peaks were characteristic peaks in the fingerprints of 10 *Sophorae Fructus* samples from different cultivation places, and the similarity with the control fingerprint was more than 0.98. The average contents of Sophoricoside, rutin and genistein in *Sophorae Fructus* from different habitats were 0.89%, 0.42% and 6.45%, respectively. The results of principal component analysis and orthogonal partial least squares discriminant analysis were consistent with those of cluster analysis. The difference components of different batches were selected as 9, 1, 2, 6 and 3, among which peaks 9 and 6 refer to Sophoricoside and genistein respectively. **Conclusion** In this paper, HPLC fingerprint and chemical pattern recognition method were established to find the quality difference components of *Sophorae Fructus* from different habitats, which provided an effective means for comprehensive evaluation of the quality of *Sophorae Fructus*.

**Key words:** *Sophorae Fructus*; HPLC; fingerprint; sophoricoside; rutin; genistein; chemical pattern recognition

收稿日期: 2021-05-06

基金项目: 吉林省地方药材标准化项目-炒槐角 (PZ-2016-71)

作者简介: 李晶峰 (1989—), 女, 博士, 研究方向为中药化学。Tel: 15834638882 E-mail: lijingfeng8161@163.com

\*通信作者: 张辉 (1958—), 男, 学士, 教授, 研究方向为中药化学。E-mail: zhanghui\_8080@163.com

槐角是豆科植物槐 *Sophora japonica* L. 的干燥成熟果实<sup>[1]</sup>, 含有黄酮及异黄酮类、皂苷类、脂肪酸及挥发油类、氨基酸、多糖等成分<sup>[2-4]</sup>, 其主要活性物质为黄酮<sup>[5]</sup>。槐角对阿尔兹海默病模型小鼠认知功能障碍和神经炎症改变及胶原性关节炎有保护作用<sup>[6-7]</sup>; 槐角黄酮提取物通过降低小鼠高血脂症模型中总胆固醇、三酰甘油与低密度脂蛋白的含量, 同时升高高密度脂蛋白的含量来发挥其调脂作用<sup>[8]</sup>, 并能抑制肝癌细胞增殖、迁移及侵袭<sup>[9]</sup>; 槐角染料木黄酮对放射导致的肠损伤具有保护作用<sup>[10]</sup>。

由于槐角的来源广泛、采收季节和加工方法不同, 以及其受气候、土壤等条件的影响, 化学成分的种类及含量有明显的差异, 导致其功效也有一定程度的改变<sup>[11]</sup>。指纹图谱技术能够体现有效成分的整体性、稳定性, 以及不同产地间的共有性图谱片段, 在成分鉴别、质量控制等方面应用广泛<sup>[12-13]</sup>。化学识别方法结合中药指纹图谱信息, 能够快速筛选出不同产地差异性成分, 达到区分不同样品质量目的<sup>[14]</sup>。因此, 本研究采用 HPLC 建立了 10 批不同产地槐角指纹图谱, 通过相似度评价联合聚类分析、主成分分析 (principal component analysis, PCA) 等化学模式识别方法比较不同产地之间的差异性, 为完善槐角的质量控制提供依据。

## 1 仪器与材料

### 1.1 仪器

电子天平 T-500 美国双杰兄弟 (集团) 有限公司; 超声波清洗器 KS-250DE 洁力美超声仪器有限公司; Water purifier 超纯水机 WP-UP-10 上海捷惠科学仪器有限公司; 低速离心机 LXJ-IIIB 上海安亭科学仪器厂; Agilent 1260 高效液相色谱仪美国 Agilent 公司。

### 1.2 试剂

甲醇 (分析纯)、乙醇 (分析纯) 北京化工厂; 甲醇 (色谱纯)、乙腈 (色谱纯) Fisher Chemicals; 磷酸 (色谱纯), ANAQUA Chemicals; 对照品槐角苷 (批号 111695-201703)、染料木苷 (批号 111709-201702) 购自中国食品药品检定研究院 (质量分数均 >98%); 芦丁 (批号 B20771) 购自上海源叶生物科技有限公司 (质量分数 >98%)。

### 1.3 材料

槐角收集于不同地区, 经长春中医药大学张辉教授鉴定为槐 *S. japonica* L. 的干燥成熟果实, 槐角样品来源见表 1。

表 1 槐角样品信息

Table 1 Information of *Sophorae Fructus*

编号	来源
S1	安徽亳州
S2	河北保定
S3	河南信阳
S4	山东菏泽
S5	吉林长春
S6	北京
S7	湖北鄂州
S8	四川成都
S9	江苏徐州
S10	吉林白山

## 2 方法与结果

### 2.1 指纹图谱的建立

**2.1.1 供试品溶液的制备** 槐角粉碎过 3 号筛, 取过筛后的粗粉 1.0 g, 精密称定, 置 100 mL 锥形瓶中, 加入 70%乙醇 25 mL, 称定质量, 超声 (100 W) 45 min, 放冷, 再次称定质量, 乙醇补足质量, 摇匀, 吸取 0.125 mL 于 5 mL 量瓶中, 甲醇定容, 摇匀, 即得。

**2.1.2 对照品溶液的制备** 分别精密称定槐角苷、芦丁、染料木苷加甲醇配制为 0.602、0.324、0.638 mg/mL 的单品对照品溶液, 再分别精密吸取上述对照品 0.5 mL 混匀, 即得混合对照品。

**2.1.3 色谱条件** Agilent Zorbax SB C<sub>18</sub> 色谱柱 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm), 流动相甲醇 (A) - 乙腈 (B) - 0.07%磷酸水溶液 (C) 等度洗脱, 0~20 min, 12% A, 20% B, 68% C; 体积流量 0.6 mL/min<sup>[1]</sup>; 柱温 30 °C; 进样量 10 μL; 检测波长 260 nm。

**2.1.4 精密度试验** 精密称定样品 (S1), 按 2.1.1 下方法制备供试品溶液, 在“2.1.3”项下条件连续进样 6 次, 以 9 号峰 (槐角苷) 为参照峰, 计算指纹图谱中各共有峰相对保留时间及相对峰面积, 结果各共有峰相对保留时间的 RSD 值在 0.07%~0.60%, 共有峰相对峰面积的 RSD 值在 0.63%~2.76%, 表明仪器精密度良好。

**2.1.5 稳定性试验** 精密称定样品 (S1), 按“2.1.1”项下方法制备供试品溶液, 在“2.1.3”项条件下进样, 分别于配制后 0、4、8、12、24 h 进样, 以槐角苷色谱峰为参照峰, 计算指纹图谱中各共有峰相对保留时间及相对峰面积, 结果各共有峰相对保留时间的 RSD 值在 0.02%~0.21%, 共有峰相对峰面积的 RSD 值在 1.66%~2.68%, 说明样品在 24 h 内

稳定。

**2.1.6 重复性试验** 精密称定 S1 样品, 按“2.1.1”项方法平行制备 6 份供试品溶液, 以槐角苷色谱峰为参照峰, 计算指纹图谱中各共有峰相对保留时间及相对峰面积, 结果各共有峰相对保留时间的 RSD 值在 0.03%~0.66%, 共有峰相对峰面积的 RSD 值在 1.69%~2.91%, 表明所用方法重复性良好。

**2.1.7 指纹图谱相似度评价** 取 10 批不同产地槐角按“2.1.1”项制备样品溶液, 在“2.1.3”项条件下进样并记录色谱数据, 将其导入国家药典委员会中药色谱指纹图谱相似度评价系统软件(2004A 版), 多点校正得到槐角样品的指纹图谱与对照图谱并进行相似度分析, 见图 1 和表 2, 共得到 9 个共有峰, 9 号峰为槐角苷, 该化合物具有较好的峰形, 且为槐角特征性成分, 故以 9 号峰为参照峰, 共有模式图中相对保留时间(相对峰面积)分别为 0.319 (0.206)、0.412 (0.14)、0.443 (0.083)、0.533 (0.208)、0.61 (0.055)、0.763 (0.138)、0.825 (0.046)、0.896 (0.621)、1.00 (1.00)。

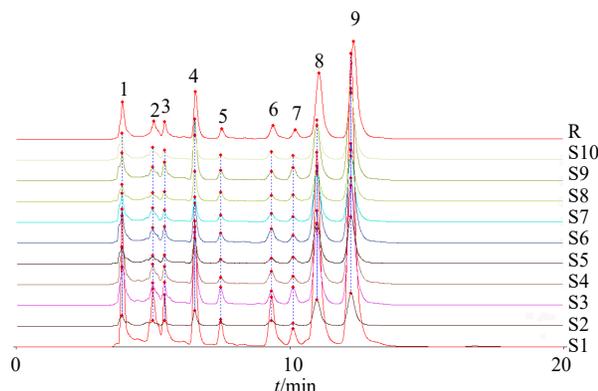


图 1 不同产地槐角药材 HPLC 指纹图谱

Fig. 1 HPLC fingerprints of different kinds of *Sophorae Fructus* samples from different cultivation places

S1~S10 样品的相似度均高于 0.98 以上, 表明 10 批槐角药材的整体质量相对稳定, 但各成分含量存在较大差异。经与对照品比对, 指认了其中 3 种黄酮类化合物, 分别为 5 号峰(芦丁)、6 号峰(染料木苷)、9 号峰(槐角苷), 样品及混合对照品色谱图见图 2、3。

表 2 不同产地槐角药材相似度评价

Table 2 Similarity evaluation of different kinds of *Sophorae Fructus* samples from different cultivation places

编号	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	对照
S1	1.000	0.993	0.994	0.998	0.99	0.995	0.996	0.993	0.990	0.996	0.999
S2	0.993	1.000	0.987	0.994	0.997	0.997	0.992	0.987	0.983	0.988	0.995
S3	0.994	0.987	1.000	0.995	0.988	0.987	0.988	0.998	0.997	0.989	0.996
S4	0.998	0.994	0.995	1.000	0.993	0.995	0.997	0.993	0.991	0.995	0.999
S5	0.990	0.997	0.988	0.993	1.000	0.995	0.990	0.984	0.983	0.983	0.993
S6	0.995	0.997	0.987	0.995	0.995	1.000	0.992	0.986	0.984	0.992	0.996
S7	0.996	0.992	0.988	0.997	0.990	0.992	1.000	0.985	0.983	0.991	0.996
S8	0.993	0.987	0.998	0.993	0.984	0.986	0.985	1.000	0.997	0.992	0.996
S9	0.990	0.983	0.997	0.991	0.983	0.984	0.983	0.997	1.000	0.989	0.993
S10	0.996	0.988	0.989	0.995	0.983	0.992	0.991	0.992	0.989	1.000	0.996
对照	0.999	0.995	0.996	0.999	0.993	0.996	0.996	0.996	0.993	0.996	1.000

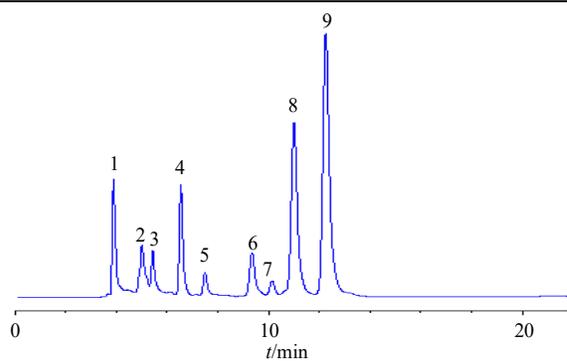
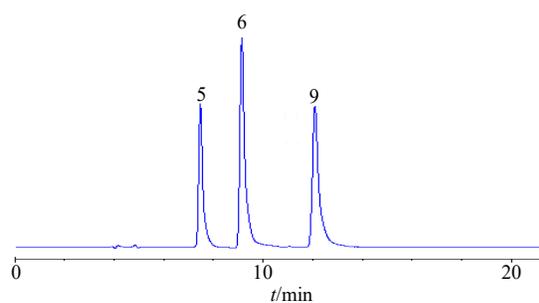


图 2 槐角 HPLC 图谱

Fig. 2 HPLC of *Sophorae Fructus* sample



5-芦丁 6-染料木苷 9-槐角苷  
5-rutin 6-genistein 9-sophoricoside

图 3 混合对照品 HPLC 图谱

Fig. 3 HPLC of mixed reference substances

## 2.2 槐角药材中3种成分含量测定

测定了槐角中3种化合物的含量,为槐角药材的质量标准提供依据。其中芦丁为5,7,3',4'-四羟基-3-芸香糖黄酮,是黄酮苷类化合物<sup>[15]</sup>;槐角苷化学名称为5,7-二羟基异黄酮-4'-O-葡萄糖苷<sup>[16]</sup>;染料木苷为4,5,7-三羟基异黄酮-7-糖苷<sup>[17-18]</sup>,与槐角苷均为异黄酮苷类化合物。

**2.2.1 供试品溶液的制备** 制备方法同“2.1.1”项。

**2.2.2 混合对照品溶液的制备** 制备方法同“2.1.2”项。

**2.2.3 色谱条件** 方法同“2.1.3”项。

**2.2.4 线性关系考察** 按“2.1.3”项下色谱条件测定1、2、4、6、8、10 μL不同进样体积与峰面积的线性关系,以进样量为横坐标( $X$ ),以峰面积为纵坐标( $Y$ ),芦丁的标准曲线为 $Y=231.02 X+4.9$ , $R^2=0.999 6$ ,线性范围为0.201~2.010 μg;染料木苷的标准曲线为 $Y=840.55 X+29.25$ , $R^2=0.998 0$ ,线性范围为0.108~1.080 μg;槐角苷的标准曲线为 $Y=384 X+74.12$ , $R^2=0.999 9$ ,线性范围为0.213~2.130 μg。

**2.2.5 精密度试验** 取芦丁、染料木苷、槐角苷按“2.1.3”项下色谱条件连续进样6次,记录峰面积,3种对照品峰面积RSD值分别为1.24%、1.79%、0.48%。

**2.2.6 稳定性试验** 精密称定S1样品,按“2.1.3”项下色谱条件分别于0、4、8、12、24 h进样分析,记录3种黄酮化合物的峰面积,芦丁、染料木苷、槐角苷的峰面积RSD值分别为0.53%、1.42%、2.59%,表明供试品溶液在24 h内稳定。

**2.2.7 重复性试验** 精密称定S1样品,按“2.1.1”项平行制备6份供试品溶液,进样分析,计算3种黄酮化合物的含量,芦丁、染料木苷、槐角苷含量的RSD值分别为1.49%、1.83%、2.68%,表明该方法重复性良好。

**2.2.8 加样回收率试验** 精密称定S1样品,加入一定量的芦丁、染料木苷、槐角苷对照品,按“2.1.1”项平行制备6份供试品溶液,进样分析,芦丁的加样回收率范围是99.26%~102.48%,RSD为2.57%;染料木苷的加样回收率范围是97.58%~102.74%,RSD为0.95%;槐角苷的加样回收率范围是98.46%~101.92%,RSD为1.36%。

**2.2.9 样品测定** 取10批槐角样品,按“2.2.1”项制备供试品溶液,进样分析,分别测定10批样品的芦丁、染料木苷、槐角苷含量,结果见表3,槐角药

表3 不同产地槐角药材中3种黄酮化合物的含量

Table 3 Content of three flavonoids in *Sophorae Fructus* from different cultivation places

编号	质量分数/%		
	芦丁	染料木苷	槐角苷
S1	7.20	4.34	5.30
S2	7.86	4.87	5.36
S3	13.46	4.20	5.62
S4	8.15	5.40	9.96
S5	6.78	3.55	6.32
S6	8.16	4.90	6.55
S7	9.96	4.85	8.12
S8	11.34	3.47	5.48
S9	10.23	3.14	5.57
S10	5.36	3.44	6.24
平均含量	8.85	4.22	6.45

材中芦丁、染料木苷、槐角苷平均含量分别为8.9%、4.2%、6.45%。

## 2.3 基于化学模式识别对槐角药材的分析

**2.3.1 聚类分析** 应用SPSS 21.0软件,以指纹图谱中共有峰的峰面积为变量,对10批槐角样品数据进行聚类分析,结果见图4。对数据进行聚类分析可得:当距离刻度为25时,主要分为2大类,第1大类为安徽亳州(S1)、四川成都(S8)、吉林白山(S10)、江苏徐州(S9)、河北保定(S2)、北京(S6)、河南信阳(S3)、吉林长春(S5),说明这几个产地的槐角在成分和含量上存在相似性,从地理方面来说除吉林白山、吉林长春产地外,其他产地皆处于我国黄河与长江流域之间,在生长环境上有一定的相似性;第2大类为山东菏泽(S4)、湖北鄂州(S7)。

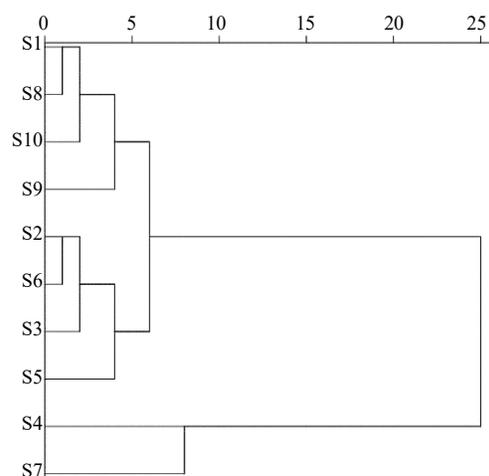


图4 不同产地槐角聚类分析树状图

Fig. 4 Dendrogram of cluster analysis of *Sophorae Fructus* from different cultivation places

**2.3.2 PCA 与正交偏最小二乘分析-判别分析 (partial least squares discrimination analysis, OPLS-DA)** 为了更好地区分不同产地槐角质量, 将指纹图谱得到的所有共有峰峰面积数据导入 SIMCA 14.1 软件中进行 PCA<sup>[14]</sup>, 由 PC1 (0.458) 和 PC2 (0.303) 为坐标轴构建的 PCA 得分散点图可以看出不同产地的槐角明显分开, 如图 5。在获得有效模型的基础上 ( $R^2_X=0.617$ ,  $R^2_Y=0.914$ ,  $Q^2=0.754$ ), 进行 OPLS-DA<sup>[19-20]</sup>, 见图 6, OPLS-DA 最大化地凸显模型内部不同组别之间的差异<sup>[21-23]</sup>, PCA、OPLS-DA 结果与聚类分析相互验证, 将不同产地的槐角分为 2 大类, 见图 7。结合相关的反应离子贡献度的变量权重值 (VIP) 进行分析, 以  $VIP>1$  筛选出差异化合物, 由 VIP 得分图 (图 8) 可知, 贡献值较大的差异化合物为 9、1、2、6、3 号峰, 对应的 VIP 值分别为 1.34、1.28、1.23、1.09、1.00, 见表 4, 其中 9 号峰为槐角苷, 6 号峰为染料木苷。

**3 讨论**

本实验采用了 HPLC 法建立了 10 批不同产地

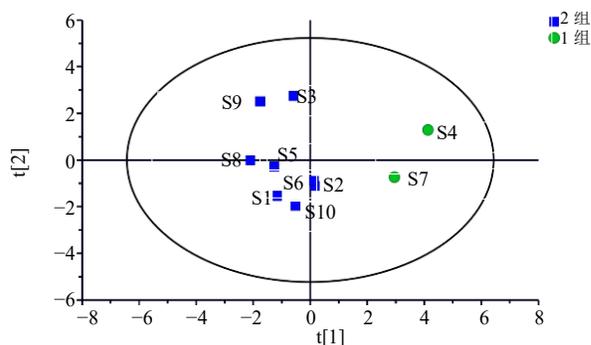


图 5 不同产地槐角 PCA 散点图

Fig. 5 Scatter diagram of PCA of *Sophorae Fructus* from different cultivation places

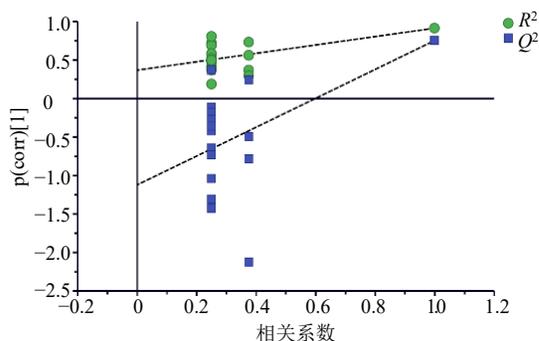


图 6 不同产地槐角 OPLS-DA 模型验证

Fig. 6 Validation diagram of oppls-da model for *Sophorae Fructus* from different cultivation places

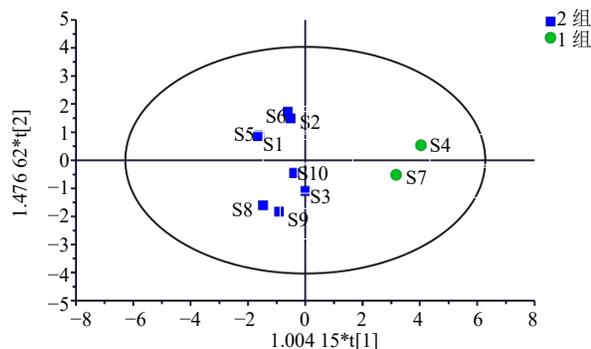


图 7 不同产地槐角 OPLS-DA 散点图

Fig. 7 Scatter diagram of OPLS-DA of *Sophorae Fructus* from different cultivation places

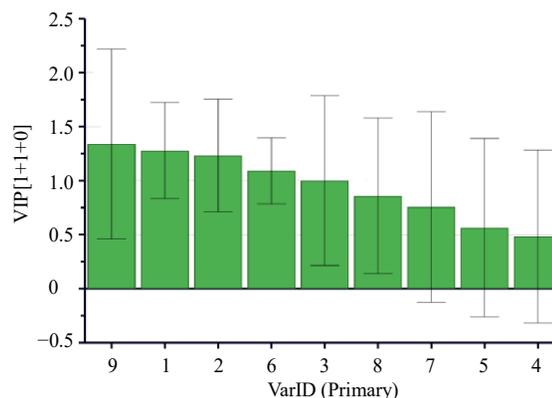


图 8 不同产地槐角各成分 VIP 图

Fig. 8 VIP diagram of components in *Sophorae Fructus* from different cultivation places

表 4 不同产地槐角各成分 VIP 值

Table 4 VIP values of components in *Sophorae Fructus* from different cultivation places

峰号	VIP 值
9	1.34
1	1.28
2	1.23
6	1.09
3	1.00
8	0.86
7	0.76
5	0.56
4	0.48

的槐角指纹图谱, 共确定了 9 个共有峰, 10 批不同产地的槐角指纹图谱相似度均在 0.98 以上, 表明 10 批槐角药材的质量相对稳定, 同时建立了 HPLC 测定槐角药材中 3 种成分 (槐角苷、芦丁、染料木苷)

含量测定的方法。为了更好地区分药材之间的质量差异,采用了聚类分析、PCA、OPLS-DA分析,将10批槐角分为2大类,筛选出了5个差异化合物,可作为控制槐角药材质量的指标性成分,指认了其中的2个化合物,分别为槐角苷(9号峰)、染料木苷(6号峰),均为异黄酮苷类化合物。

本研究采用指纹图谱相似度评价结合聚类分析、PCA、OPLS-DA对不同产地的槐角进行研究,可快速筛选出不同批次槐角差异性质量标志物,分析结果一致,系统地阐明槐角药材质量特征。该方法能够有效、准确地评价不同批次槐角质量标志成分,为槐角质量控制提供方法与依据。

**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: 371.
- [2] 付允, 李小清, 张庆贺, 等. 槐角有效成分的研究进展 [J]. 特产研究, 2018, 40(4): 95-97.
- [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] 张庆贺. 槐角和莲子心化学成分及生物活性的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [5] 王杰, 刘瑞珍, 刘东超, 等. 槐角多糖抗氧化活性研究 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41(1): 25-29.
- [6] Lee H Y, Kwon Y, Cho S H. Protective effects of the *Sophorae Fructus* on cognitive impairment and neuroinflammatory alteration in an A $\beta$ <sub>1-42</sub>-infused Alzheimer's disease mouse model [J]. *Orient Pharm Exp Med*, 2017, 17(3): 255-268.
- [7] Hyoung M H, Su H H, Heung S P, et al. Protective effects of *Sophorae Fructus* extract on collagen-induced arthritis in BALB/c mice [J]. *Experim Therap Med*, 2017, 13(1): 146-154.
- [8] 陈帅, 袁崇均, 罗森, 等. 槐角黄酮衍生物制备工艺及其降脂作用研究 [J]. 中药药理与临床, 2018, 34(6): 50-54.
- [9] 金浩, 余佳, 王梓瑜, 等. 槐角黄酮通过调控 LncRNA FBXL19-AS1/miR-342-3p 通路抑制肝癌细胞增殖、迁移及侵袭的机制研究 [J/OL]. 中国中药杂志: 1-10 [2020-03-27]. <https://doi.org/10.19540/j.cnki.cjcmm.20200302.401>.
- [10] 逢志骏, 王昭维, 徐传洋, 等. 槐角染料木黄酮对放射性肠损伤的保护作用 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2019, 37(1): 36-43.
- [11] 张彪, 马欣, 潘一滨, 等. 复黄片总鞣质、总黄酮及槐角苷的含量测定 [J]. 西北药学杂志, 2017, 32(6): 740-744.
- [12] 王金艳, 冯娜, 刘艳芳, 等. 灵芝孢子粉中麦角甾醇的测定分析及其脂溶性成分指纹图谱 [J]. 菌物学报, 2018, 37(9): 109-117.
- [13] 张剑霜, 喻浩, 钟欣, 等. 冬虫夏草水提物 HPLC 指纹图谱及模式识别分析 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(22): 219-224.
- [14] 姚广哲, 马文娟, 贾琪, 等. 东北苦菜 UPLC 指纹图谱建立及化学模式识别 [J]. 中成药, 2020, 42(2): 392-396.
- [15] 张庆贺. 槐角和莲子心化学成分及生物活性的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [16] 王剑波. 陕西槐角的资源、品质、化学成分及其生物活性研究 [D]. 西安: 陕西师范大学, 2012.
- [17] 唐于平, 楼凤昌, 马雯, 等. 槐果皮中的异黄酮甙类成分 [J]. 中国药科大学学报, 2001, 32(3): 23-32.
- [18] 马磊, 楼凤昌. 槐角中的抗癌活性成分 [J]. 中国天然药物, 2006, 4(2): 151-153.
- [19] 王容, 魏屹, 周春岚, 等. 基于指纹图谱结合化学计量法对乌头属藏药材榜那的多指标成分分析 [J]. 中草药, 2020, 51(11): 3037-3044.
- [20] 邱俊娜, 张榆, 张双, 等. 基于 HPLC 指纹图谱结合化学模式识别及定量测定的夏枯草质量控制研究 [J]. 中草药, 2020, 51(10): 2842-2850.
- [21] 李之帅. 利用代谢组学方法筛选肝外胆管癌血浆诊断标志物的初步研究 [D]. 上海: 第二军医大学, 2014.
- [22] 程明川, 姜川, 杨宇, 等. 基于高分辨质谱和代谢组学分析方法的白酒成分分析和香型鉴别 [J]. 环境化学, 2016, 35(12): 2618-2621.
- [23] 田晓君. 基于脾肾阳虚证代谢综合征大鼠模型血清代谢组学研究 [D]. 沈阳: 辽宁中医药大学, 2016.

[责任编辑 时圣明]