

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201811029

引文格式: 韦源林, 史艳财, 邹蓉, 等. 不同来源金槐槐米的红外光谱及芦丁含量的比较 [J]. 广西植物, 2019, 39(11): 1541–1549. WEI YL, SHI YC, ZOU R, et al. Comparison on infrared spectra and rutin content of *Sophora japonica* ‘Jinhuai’ in Guangxi [J]. *Guihaia*, 2019, 39(11): 1541–1549.

## 不同来源金槐槐米的红外光谱及芦丁含量的比较

韦源林<sup>1</sup>, 史艳财<sup>2\*</sup>, 邹蓉<sup>2</sup>, 唐健民<sup>2</sup>, 蒋运生<sup>2</sup>, 熊忠臣<sup>2</sup>, 陈建雄<sup>3</sup>

( 1. 北京化工大学, 北京 102200; 2. 广西壮族自治区 广西植物研究所, 广西 桂林 541006;  
中国科学院

3. 全州县东泰农业开发有限责任公司, 广西 桂林 541006 )

**摘要:** 金槐是广西特色中药材, 具有止血凉血等功效。不同来源的金槐槐米质量具有一定区别, 但生产中常将其看做同一类别, 严重影响了以槐米为原料的药材质量。该研究以 8 个广西栽培金槐主流品种(金槐 J2、金槐 J3、金槐 J4、金槐 J5、金槐 J6、金槐 J7、金槐 J8、金槐 J9) 和三种不同年限的野生金槐(20 a 以下、20~30 a、30 a 以上) 槐米为材料, 采用傅里叶红外光谱法和紫外分光光度法对其红外光谱特征及芦丁含量进行了测定。结果表明:(1) 金槐 J3 和 3 个不同生长年限的野生金槐槐米颗粒较大。(2) 栽培品种金槐槐米和野生金槐槐米化学成分类似, 但化学成分含量存在一定差异。所测槐米样品芦丁含量在 22.85%~36.78% 之间, 其顺序依次为 20~30 a 野生金槐>30 a 以上野生金槐>金槐 J3>金槐 J6>20 a 以下野生金槐>金槐 J2>金槐 J8>金槐 J4>金槐 J9>金槐 J5>金槐 J7, 11 种样品间存在极显著差异( $P<0.01$ )。 (3) 基于芦丁含量制定的质量分级标准中, 20~30 a 野生金槐符合一级标准, 金槐 J2、金槐 J3、金槐 J6、20 a 以下野生金槐以及 30 a 以上野生金槐符合二级标准, 金槐 J4、金槐 J5、金槐 J7、金槐 J8、金槐 J9 符合三级标准。(4) 栽培金槐可作为野生金槐的替代品, 金槐 J3 有效成分含量高、品相好, 更适于工业提取芦丁和金槐茶等产品的研发。

**关键词:** 金槐, 品种, 芦丁, 比较

中图分类号: Q946, R284.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2019)11-1541-09

## Comparison on infrared spectra and rutin content of *Sophora japonica* ‘Jinhuai’ in Guangxi

WEI Yuanlin<sup>1</sup>, SHI Yancai<sup>2\*</sup>, ZOU Rong<sup>2</sup>, TANG Jianmin<sup>2</sup>, JIANG Yunsheng<sup>2</sup>,  
XIONG Zhongchen<sup>2</sup>, CHEN Jianxiong<sup>3</sup>

( 1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 102200, China; 2. Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, Guangxi, China; 3. Quanzhou County Dongtai Agricultural Development Co., Ltd., Guilin 541006, Guangxi, China )

收稿日期: 2019-03-04

基金项目: 国家自然科学基金(31860169); 农业科技成果转化资金项目(桂科转 1222017-13); 广西创新驱动发展专项资金项目(桂科 AA17204056); 广西青年自然科学基金(2017GXNSFBA198011); 广西科学院基本科研业务费项目(2017YJJ23010) [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31860169); Agricultural Scientific and Technological Achievements Transformation Fund Program(1222017-13); Science and Technology Major Program of Guangxi (AA17204056); Natural Science Foundation of Guangxi(2017GXNSFBA198011); Basic Business Expenses Program of Guangxi Academy of Sciences(2017YJJ23010)].

作者简介: 韦源林(1998-), 男, 广西桂林人, 研究方向为中药化学成分, (E-mail) weiyuanlin@163.com。

\*通信作者: 史艳财, 博士, 副研究员, 主要从事药用植物研究, (E-mail) shiyancaianan@163.com。

**Abstract:** *Sophora japonica* ‘Jinhuai’ is a traditional Chinese medicine from Guangxi, which has the effects of stopping bleeding and cooling blood. Bud quality of *Sophora japonica* ‘Jinhuai’ from different sources is different to some extent, but it is often regarded as the same category in the production, which seriously affects the quality of the medicinal with *Sophora japonica* ‘Jinhuai’ as the raw material. To compare the infrared spectra and rutin content of eight main varieties (Jinhuai J2, Jinhuai J3, Jinhuai J4, Jinhuai J5, Jinhuai J6, Jinhuai J7, Jinhuai J8, Jinhuai J9) and three different seedlings (below 20 a, 20 to 30 a, above 30 a) of *Sophora japonica* ‘Jinhuai’ in Guangxi, fourier transform infrared spectroscopy and ultraviolet spectrophotometry were used to determine its infrared spectral characteristics and rutin content. The results were as follows: (1) Jinhuai J3 and wild seedling with three different growth had larger particles. (2) The chemical composition of *Sophora japonica* ‘Jinhuai’ from different cultivated varieties and seedling was similar, but there were some differences in the content. The rutin content of samples was 22.85% to 36.78%, which was in the order seedling of 20 to 30 a > seedling of above 30 a > Jinhuai J3 > Jinhuai J6 > seedling of below 20 a > Jinhuai J2 > Jinhuai J8 > Jinhuai J4 > Jinhuai J9 > Jinhuai J5 > Jinhuai J7, there were significant differences among the eleven samples ( $P < 0.01$ ). (3) For the quality classification standard based on rutin content, only seedling of 20 to 30 a conforms to the first class standard, while Jinhuai J2, Jinhuai J3, Jinhuai J6, below 20 a and above 30 a of seeding meet the second class standard. Jinhuai J4, Jinhuai J5, Jinhuai J7, Jinhuai J8 and Jinhuai J9 meet the third class standard. Jinhuai J3 had high content of active ingredients and good quality. (4) Variety of *Sophora japonica* ‘Jihuai’ is more suitable for the research and development of products such as industrial extraction rutin and tea, and can be used as the first choice for purchasing or expanding cultivation.

**Key words:** *Sophora japonica* ‘Jinhuai’, variety, rutin, compare

豆科植物槐树(*Sophora japonica*)的干燥花蕾被称为槐米,富含芦丁、黄碱素等活性成分,具有清肝泻火、止血凉血等功效,《中国药典》自1990版至今均有记载。金槐(因槐米呈金黄色而得名)是众多槐树品种的一个分支,品相好、有效成分芦丁含量高(>30%),深受消费者青睐(李锋等,2009)。近年来,已有对金槐的栽培技术(史艳财等,2018a)、营养成分(陈宗游等,2012)、光合生理(王满莲等,2008)等方面的相关研究报道,其中多数研究集中在金槐活性成分——芦丁方面。如舒文将等(2017)对不同产地、不同采收期金槐芦丁含量进行了研究;朱华等(2013)对土壤因子与金槐槐米有效成分含量的相关性进行了研究。据调查,广西槐米主要来源于栽培和野生金槐,栽培金槐可分为不同品种,不同来源的槐米在品相、有效成分含量等方面存在很大差别,而以往研究通常将金槐看做一个品种进行研究,未做更为详细的划分,这会严重影响以槐米为原料的药物质量。对栽培金槐和野生金槐的化学成分进行系统研究,对于槐米药材选购、产品开发等具有重要意义。

傅里叶红外光谱(fourier transform infrared

spectra, FTIR spectra)利用分子振动跃迁吸收原理,不同检测对象可形成各具特色的官能团吸收图谱,从而反映其主要官能团及化学成分信息。将这些化学成分信息与化学统计学方法相结合,可对中药材产地、综合质量等方面进行高效的鉴定与评价(徐亚等,2015;白钢等,2016;李真等,2016)。目前,广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所已从野生金槐种质资源中选育出8个具有鲜明特点的金槐良种在广西推广种植,这些品种也是目前金槐种植中所用的主流品种(史艳财等,2018b)。本研究拟以金槐主流品种和不同年限的野生金槐槐米为对象,对其红外光谱特征和芦丁含量进行比较研究,为金槐质量评价和综合利用提供科学依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

1.1.1 器材和试剂 器材:FW-100型高速万能粉碎机(天津泰斯特仪器有限公司);XS105DUd电子分析天平(上海梅特勒—托利多仪器有限公司);

YP-2 压片机(上海山岳科学仪器有限公司); Nicolet 5700 型智能傅里叶红外光谱仪(美国尼高力公司); TU-1901 型双光束紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司); DL-720E 智能超声波(上海之信仪器有限公司); 台式高速常温离心机(美国 Thermo Primo)。

试剂: 光谱纯溴化钾(天津市光复精细化工研究所); 芦丁标准品(批号: 100080-200707) 购自中国药品生物制品检定所; 氧化钙、乙醇、氢氧化钠、亚硝酸钠、硝酸铝等试剂均为分析纯, 购自西陇化工股份有限公司; 水为纯净水。

1.1.2 样品采集和处理 2017 年 7 月, 于广西全州县的永岁、龙水、两河、东山等乡(镇) 采集不同金槐品种(嫁接树)的槐米样品(由于不同品种种植面积不同, 故所采的不同品种的样品数量有所差异), 经广西植物研究所蒋运生研究员鉴定。在每个金槐园采集 3 株长势基本一致的植株的槐米枝(每株从东、南、西、北 4 个方向的中上部采集成熟槐米枝, 每株采集的槐米枝重约 200 g), 将槐米米粒从枝条上剥下后混合(文怀秀等, 2015)。与此同时, 先将装有 1/3 水的不锈钢锅烧开, 将槐米置于蒸笼上蒸 15 min, 然后置于烘箱中 60 ℃ 烘干至恒重, 用微型粉碎机粉碎, 过 1 mm 孔径的筛, 备用。

## 1.2 方法

1.2.1 槐米生物性状测定 随机从样品袋中选择 100 粒无病虫害的、完整的槐米采用电子游标卡尺测定其长和宽, 采用电子天平测定其百粒重。

1.2.2 傅里叶红外光谱测定 精密称取 100.0 mg 溴化钾和 1.0 mg 粉碎的槐米样品, 置于玛瑙研钵中研磨均匀(侧面看无反光为止), 用压片机制成厚度约 1 mm 的锭片, 每个样品重复 10 次。制备好锭片后马上将锭片置于红外光谱仪的样品槽中进行检测。每个锭片随机扫 3 个不同的点。取平均光谱为最后的光谱图。具体测试条件: 光谱范围 4 000~400  $\text{cm}^{-1}$ , 光谱分辨率为 4  $\text{cm}^{-1}$ , 扫描 64 次, 扣除  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  干扰(苏敏等, 2017; 史艳财等, 2018a)。

1.2.3 芦丁含量测定

1.2.3.1 标准曲线制备 精密称取 25 mg 芦丁标准品, 先用少量 75% 酒精溶解, 再用纯净水定容至 50

mL。取 0、1、3、5、7、9 mL 母液加入 25 mL 容量瓶中, 加 5% 的亚硝酸钠 1 mL, 静置 5 min; 加 10% 硝酸铝 1 mL, 静置 5 min; 加 4% 的氢氧化钠 10 mL, 定容, 混匀, 静置 15 min, 510 nm 波长处检测。以芦丁含量( $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) 为纵坐标, 吸光度值为横坐标作标准曲线, 得  $C = 0.1063A + 0.0018$ ,  $r = 0.999 2$ , 线性范围 0.02~0.18  $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ (姚庆收等, 2018)。

1.2.3.2 供试溶液制备 称取 2.0 g 槐米, 置于离心管中, 按 1:5 的比例加入纯净水, 用饱和石灰水调 pH 至 8~9; 超声波提取 30 min, 离心; 将上清液转移至另一离心管中; 重复以上操作步骤 2 次; 将收集好的上清液用 pH 2~3 的盐酸溶液调节 pH 至 2~3; 静置过夜; 离心; 倒掉上清液, 加少量 75% 酒精使沉淀溶解。取 1 mL 溶解液至 25 mL 容量瓶中, 加 5% 的亚硝酸钠 1 mL, 静置 5 min; 加 10% 硝酸铝 1 mL, 静置 5 min; 加 4% 的氢氧化钠 10 mL, 定容, 混匀, 静置 15 min, 510 nm 波长处检测。

## 1.3 统计分析

使用 OMNIC8.0 软件对傅里叶红外原始光谱进行自动基线校正、平滑、纵坐标归一化处理。使用 Origin 9.0 软件作图。使用 SPSS 20.0 软件进行系统聚类。使用 SPSS 20.0 软件对芦丁含量进行方差和 K 类中心聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 栽培金槐和野生金槐槐米的生物性状

8 个主流栽培品种和 3 个不同生长年限野生金槐槐米的生物性状如表 1 所示。由表 1 可知, 槐米长一般为 4.37~5.26 mm、宽为 1.36~1.99 mm、百粒重为 0.53~0.76 g, 20 a 以下野生金槐槐米最长(5.26 mm), 30 a 以上野生金槐槐米最宽(1.99 mm), 金槐 J4 和 30 a 以上野生金槐槐米的百粒重最大(0.76 g)。

### 2.2 基于生物性状的栽培金槐和野生金槐槐米系统聚类

8 个主流栽培品种和 3 个不同生长年限野生金槐槐米基于生物性状的系统聚类结果如图 1 所示。由图 1 可知, 11 种槐米可分为两组, 一组是金槐 J3 和 3 个不同生长年限的野生金槐, 另一组是

表 1 栽培金槐和野生金槐槐米的生物性状

Table 1 Characteristic of bud from main varieties and wild seedlings of *Sophora japonica* 'Jinhuai'

品种 Variety	长 Length (mm)	宽 Width (mm)	百粒重 100-grain weight (g)
金槐 J2 Jinhuai J2	4.71±0.02f	1.36±0.01h	0.53±0.01d
金槐 J3 Jinhuai J3	5.01±0.02b	1.82±0.02c	0.53±0.01d
金槐 J4 Jinhuai J4	4.82±0.01de	1.61±0.02f	0.76±0.04a
金槐 J5 Jinhuai J5	4.67±0.01f	1.44±0.02g	0.53±0.02d
金槐 J6 Jinhuai J6	4.37±0.02i	1.41±0.01g	0.53±0.01d
金槐 J7 Jinhuai J7	4.79±0.02e	1.30±0.02i	0.60±0.03bc
金槐 J8 Jinhuai J8	4.49±0.01g	1.90±0.03b	0.66±0.02b
金槐 J9 Jinhuai J9	4.44±0.02h	1.83±0.01d	0.66±0.02b
20 a 以下野生金槐 Seedling of below 20 a	5.26±0.01a	1.74±0.01e	0.66±0.02b
20~30 a 野生金槐 Seedling of 20 to 30 a	4.83±0.02d	1.87±0.01b	0.60±0.02dc
30 a 以上野生金槐 Seedling of above 30 a	4.89±0.03c	1.99±0.02a	0.76±0.01a

注: 数值后相同字母表示无显著差异, 不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: The same letters indicate no significant differences, different letters indicate significant differences( $P<0.05$ ). The same below.

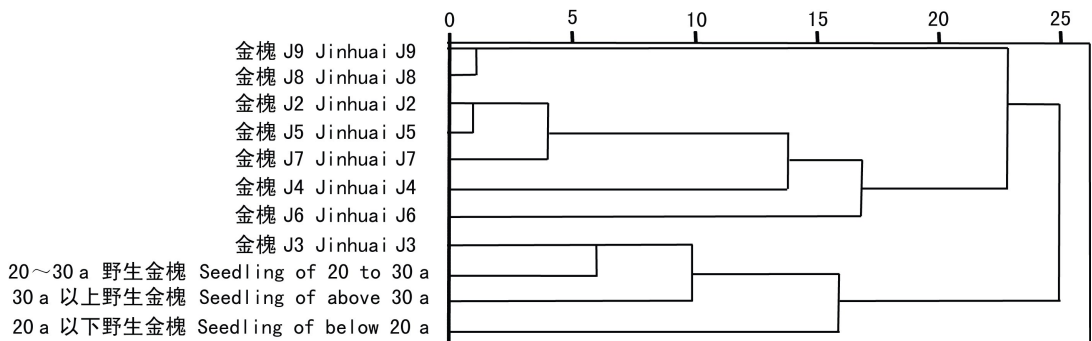


图 1 基于生物性状的栽培金槐和野生金槐槐米系统聚类

Fig. 1 Dendrogram generated by the biological character of bud from main varieties and wild seedlings of *Sophora japonica* 'Jinhuai'

金槐 J9、金槐 J8、金槐 J2、金槐 J5、金槐 J7、金槐 J4、金槐 J6 7 个品种, 第一组的槐米颗粒较大。

### 2.3 栽培金槐和野生金槐槐米红外光谱分析

为快速鉴别不同栽培品种及不同年限野生金槐槐米主要化学成分差异, 本研究利用傅里叶红外光谱对槐米样品进行测定, 在  $1800\sim700\text{ cm}^{-1}$  范围提取平均红外图谱进行分析(图 2)。 $1656$ 、 $1601$ 、 $1505$ 、 $1455$ 、 $1363\text{ cm}^{-1}$  等显示为黄酮类化合物的红外吸收,  $1295$ 、 $1203\text{ cm}^{-1}$  与羧酸 C-O 振

动有关,  $1063$ 、 $1011\text{ cm}^{-1}$  与羧酸 OH 有关。此外, 槐米在  $1800\sim700\text{ cm}^{-1}$  区域图谱振动特征相似, 化学成分吸收峰较多, 但吸收峰强度存在差异。这说明不同栽培品种金槐槐米和野生金槐槐米化学成分类似, 但不同槐米化学成分含量存在一定差异。

### 2.4 栽培金槐和野生金槐槐米红外光谱聚类分析

为更直观地反映不同金槐栽培品种间及栽培金槐与野生金槐化学成分的差异, 采用系统聚类法



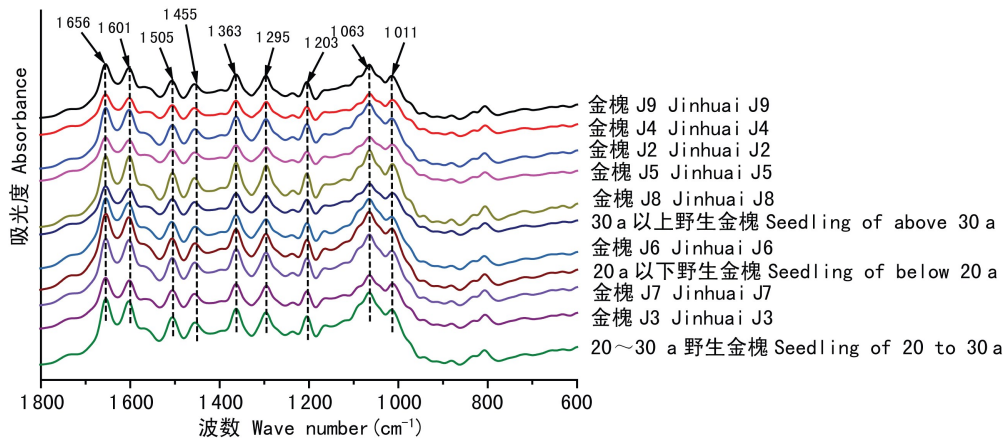


图 2 栽培金槐和野生金槐槐米一维红外光谱

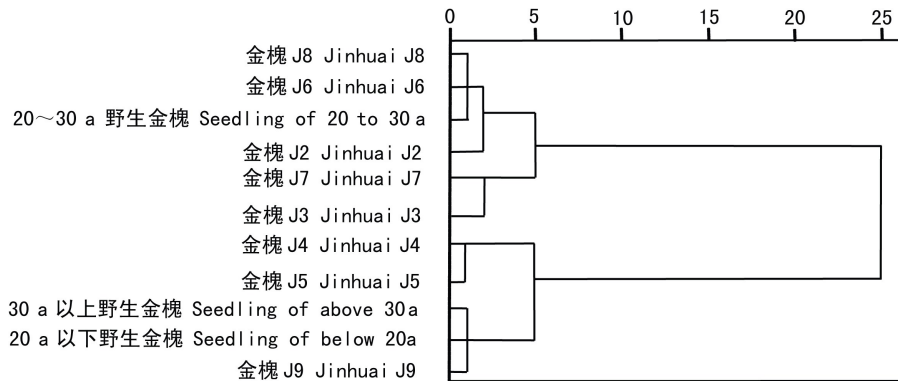
Fig. 2 FTIR spectra of main varieties and wild seedlings of *Sophora japonica* 'Jinhuai'

图 3 栽培金槐和野生金槐槐米 FTIR 光谱系统聚类

Fig. 3 Dendrogram generated by the FTIR spectra of main varieties and wild seedlings of *Sophora japonica* 'Jinhuai'

将 11 种槐米样品的红外光谱进行聚类分析(图 3)。在二维图上 11 种金槐槐米可明显分为四组, 金槐 J8、金槐 J6、20~30 a 以下野生金槐、金槐 J2 可聚为一组, 金槐 J7 和金槐 J3 两个品种聚为一组, 金槐 J4 和金槐 J5 聚为一组, 30 a 以上野生金槐、20 a 以下野生金槐、金槐 J9 聚为一组。

### 2.5 栽培金槐和野生金槐槐米芦丁含量

由表 2 可知, 11 种槐米芦丁含量在 22.85%~36.78% 之间, 金槐 J3、金槐 J8、金槐 J9、30 a 以上野生金槐槐米芦丁含量较高, 在 29.59%~36.78% 之间。

### 2.6 栽培金槐和野生金槐槐米芦丁含量方差分析

由表 3 可知, 所测的 11 种样品间存在极显著差异( $P < 0.01$ )。表 3 是栽培和野生金槐槐米芦丁

含量的方差分析。由表 3 可知, 所测的 11 种槐米样品: 金槐 J2、金槐 J3、金槐 J4、金槐 J5、金槐 J6、金槐 J7、金槐 J8、金槐 J9、20 a 以下野生金槐、20~30 a 野生金槐、30a 以上野生金槐芦丁含量存在极显著差异( $P < 0.01$ )。

### 2.7 栽培金槐和野生金槐槐米芦丁含量统计分析

由表 4 可知, 11 种槐米芦丁含量的顺序依次为 20~30 a 野生金槐 > 30 a 以上野生金槐 > 金槐 J3 > 金槐 J6 > 20 a 以下野生金槐 > 金槐 J2 > 金槐 J8 > 金槐 J4 > 金槐 J9 > 金槐 J5 > 金槐 J7。金槐 J3、20 a 以下野生金槐的极小值和极大值都相对较高。20~30 a 野生金槐、30 a 以上野生金槐的极小值和极大值同样较高, 且其变异系数最小。

表 2 栽培金槐和野生金槐槐米芦丁含量  
Table 2 Rutin contents of varieties and wild seedlings of *Sophora japonica* 'Jinhuai'

序号 No.	品种 Variety	芦丁含量 Rutin content (%)	序号 No.	品种 Variety	芦丁含量 Rutin content (%)	序号 No.	品种 Variety	芦丁含量 Rutin content (%)
1	金槐 J2 Jinhuai J2	31.61±0.22	28	金槐 J4 Jinhuai J4	30.93±0.04	55	金槐 J7 Jinhuai J7	26.78±0.14
2	金槐 J2 Jinhuai J2	29.44±0.52	29	金槐 J4 Jinhuai J4	30.33±0.06	56	金槐 J7 Jinhuai J7	24.63±0.04
3	金槐 J2 Jinhuai J2	28.76±0.17	30	金槐 J4 Jinhuai J4	31.33±0.13	57	金槐 J7 Jinhuai J7	26.99±0.12
4	金槐 J2 Jinhuai J2	30.27±0.50	31	金槐 J5 Jinhuai J5	23.91±0.11	58	金槐 J7 Jinhuai J7	24.12±0.12
5	金槐 J2 Jinhuai J2	30.18±0.95	32	金槐 J5 Jinhuai J5	28.57±0.09	59	金槐 J8 Jinhuai J8	36.78±0.17
6	金槐 J2 Jinhuai J2	28.33±0.14	33	金槐 J5 Jinhuai J5	22.85±0.10	60	金槐 J8 Jinhuai J8	34.68±0.17
7	金槐 J2 Jinhuai J2	33.16±0.25	34	金槐 J5 Jinhuai J5	28.99±0.18	61	金槐 J8 Jinhuai J8	35.41±0.70
8	金槐 J2 Jinhuai J2	31.16±0.13	35	金槐 J5 Jinhuai J5	29.91±0.08	62	金槐 J9 Jinhuai J9	33.58±0.10
9	金槐 J2 Jinhuai J2	29.89±0.72	36	金槐 J5 Jinhuai J5	32.22±0.12	63	金槐 J9 Jinhuai J9	33.88±0.10
10	金槐 J2 Jinhuai J2	28.16±0.14	37	金槐 J5 Jinhuai J5	28.50±0.10	64	金槐 J9 Jinhuai J9	33.73±0.08
11	金槐 J3 Jinhuai J3	30.76±0.19	38	金槐 J5 Jinhuai J5	29.78±0.11	65	20 a 以下野生金槐 Seedling of below 20 a	31.99±0.12
12	金槐 J3 Jinhuai J3	31.86±0.20	39	金槐 J5 Jinhuai J5	26.46±0.16	66	20 a 以下野生金槐 Seedling of below 20 a	26.29±0.10
13	金槐 J3 Jinhuai J3	36.39±0.11	40	金槐 J5 Jinhuai J5	27.70±0.20	67	20 a 以下野生金槐 Seedling of below 20 a	29.86±0.09
14	金槐 J3 Jinhuai J3	31.54±0.11	41	金槐 J5 Jinhuai J5	27.89±0.11	68	20 a 以下野生金槐 Seedling of below 20 a	32.80±0.15
15	金槐 J3 Jinhuai J3	30.80±0.15	42	金槐 J5 Jinhuai J5	27.67±0.08	69	20 a 以下野生金槐 Seedling of below 20 a	28.33±0.17
16	金槐 J3 Jinhuai J3	36.69±0.13	43	金槐 J6 Jinhuai J6	35.01±0.10	70	20~30 a 野生金槐 Seedling of 20 to 30 a	29.78±0.06
17	金槐 J3 Jinhuai J3	36.22±0.13	44	金槐 J6 Jinhuai J6	31.16±0.12	71	20~30 a 野生金槐 Seedling of 20 to 30 a	25.51±0.15
18	金槐 J3 Jinhuai J3	30.59±0.13	45	金槐 J6 Jinhuai J6	33.84±0.11	72	20~30 a 野生金槐 Seedling of 20 to 30 a	29.69±0.16
19	金槐 J4 Jinhuai J4	27.97±0.11	46	金槐 J6 Jinhuai J6	32.78±0.10	73	20~30 a 野生金槐 Seedling of 20 to 30 a	25.93±0.09
20	金槐 J4 Jinhuai J4	28.35±0.14	47	金槐 J6 Jinhuai J6	30.95±0.52	74	20~30 a 野生金槐 Seedling of 20 to 30 a	28.89±0.09
21	金槐 J4 Jinhuai J4	30.14±0.12	48	金槐 J6 Jinhuai J6	27.59±0.10	75	20~30 a 野生金槐 Seedling of 20 to 30 a	26.42±0.09
22	金槐 J4 Jinhuai J4	26.57±0.14	49	金槐 J7 Jinhuai J7	26.08±0.07	76	20~30 a 野生金槐 Seedling of 20 to 30 a	28.99±0.11
23	金槐 J4 Jinhuai J4	28.12±0.17	50	金槐 J7 Jinhuai J7	27.70±0.14	77	30 a 以上野生金槐 Seedling of above 30 a	30.10±0.13
24	金槐 J4 Jinhuai J4	28.35±0.14	51	金槐 J7 Jinhuai J7	26.95±0.10	78	30 a 以上野生金槐 Seedling of above 30 a	32.63±0.06
25	金槐 J4 Jinhuai J4	27.65±0.21	52	金槐 J7 Jinhuai J7	26.25±0.11	79	30 a 以上野生金槐 Seedling of above 30 a	31.63±0.14
26	金槐 J4 Jinhuai J4	29.27±0.22	53	金槐 J7 Jinhuai J7	27.02±1.61	80	30 a 以上野生金槐 Seedling of above 30 a	33.44±0.14
27	金槐 J4 Jinhuai J4	30.35±0.11	54	金槐 J7 Jinhuai J7	25.91±0.12	81	30 a 以上野生金槐 Seedling of above 30 a	29.59±0.07

## 2.8 栽培金槐和野生金槐槐米芦丁含量 K 类中心聚类分析

以 81 份槐米芦丁含量进行 K 类中心聚类分

析,最终类中心值见表 5。由表 5 可知,所测金槐芦丁含量的 3 个类中心值分别为 34.35%、30.03% 和 26.51%,符合一级标准的仅 20~30 a 野生金槐,

表 3 栽培金槐和野生金槐槐米芦丁含量方差分析

Table 3 Variance analysis of rutin content of main varieties and wild seedlings of *Sophora japonica* 'Jinhuai'

变异来源 Source of variation	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P
组间 Between groups	479.084	10	47.908	11.975	0
组内 Within group	280.047	70	4.001		
总数 Total	759.131	80			

表 4 栽培金槐和野生金槐槐米芦丁含量统计分析

Table 4 Rutin content statistics analysis of main varieties and wild seedlings of *Sophora japonica* 'Jinhuai'

品种 Variety	平均含量 Mean content (%)	标准差 Standard deviation	极小值 Minimum	极大值 Maximum	变异系数 Coefficient of variation (%)
金槐 J2 Jinhuai J2	30.10cde	1.56	28.17	33.16	5.18
金槐 J3 Jinhuai J3	33.11abc	2.79	30.59	36.69	8.42
金槐 J4 Jinhuai J4	29.11def	1.48	26.57	31.34	5.10
金槐 J5 Jinhuai J5	27.87ef	2.55	22.85	32.23	9.16
金槐 J6 Jinhuai J6	31.89bcd	2.61	27.59	35.01	8.20
金槐 J7 Jinhuai J7	26.24f	1.11	24.13	27.70	4.26
金槐 J8 Jinhuai J8	29.86a	2.65	26.30	32.80	8.89
金槐 J9 Jinhuai J9	27.89ab	1.85	25.51	29.78	6.66
20 a 以下野生金槐 Seedling of below 20 a	31.48cde	1.63	29.59	33.44	5.18
20~30 a 野生金槐 Seedling of 20 to 30 a	35.63ef	1.06	34.69	36.78	2.98
30 a 以上野生金槐 Seedling of above 30 a	33.73bed	0.15	33.58	33.89	0.45

表 5 金槐芦丁含量分级标准

Table 5 Class standard of rutin content of *Sophora japonica* 'Jinhuai'

项目 Item	等级 Class		
	一级 The first class	二级 The second class	三级 The third class
芦丁含量 Rutin content (%)	>34.35	30.03~34.35	26.51~30.03
品种 Variety	20~30 a 野生金槐 Seedling of 20 to 30 a	金槐 J2、金槐 J3、金槐 J6、20 a 以下野生 金槐、30 a 以上野生金槐 Jinhuai J2, Jinhuai J3, Jinhuai J6, seedling of below 20 a, seedling of above 30 a	金槐 J4、金槐 J5、金槐 J7、金槐 J8、 金槐 J9 Jinhuai J4, Jinhuai J5, Jinhuai J7, Jinhuai J8, Jinhuai J9

符合二级标准的有3个品种、20 a以下野生金槐以及30 a以上野生金槐,符合三级标准的有5个品种。

### 3 讨论与结论

经过多年快速发展,广西金槐种植面积已达20 000 hm<sup>2</sup>,槐米产量约占全国槐米总产量的50%。目前,槐米收购价格主要根据品质而定。然而,广西各地金槐园所种金槐品种不一,其槐米品相、芦丁含量存在很大差异。此外,广西桂北地区存在大量野生金槐,民间常认为较之栽培品种野生金槐有效成分含量更高、药用价值更大。为实现金槐的良种良价,促进金槐产业的合理布局、健康发展,急需对金槐主产区不同来源的金槐进行全面、系统的评价。本研究共采集了8个金槐栽培品种和3个不同年龄的野生金槐的槐米样品,所采样品涵盖了广西金槐种植园的所有栽培品种和主要交易的野生金槐,具有非常好的代表性。

傅里叶红外光谱技术具有简便、快速、无损等优点,已在中药材产地鉴定、结构分析及质量评价中广泛应用(宋贤良等,2015;孔德鑫等,2016;史艳财等,2018b;银胜高等,2018)。本研究显示,栽培金槐品种和不同年龄野生金槐槐米 FTIR 指纹图谱类似,只是在化学成分含量上存在差异。目前,国内收购的槐米中90%以上用于工业提取芦丁,芦丁含量高低是评价槐米质量最为重要的指标。此外,诸多研究表明,部分中药材野生与栽培品种的组织构造、化学组分、有效成分含量相近,其药理作用也相似,如防风(李康和周新蓓,2010)、徐长卿(扬卫贤等,1989)等。与国内其他产地槐米相比,本研究中所用两类金槐槐米芦丁含量相对较高(舒文将等,2017)、化学成分相似,故栽培金槐可作为野生金槐的替代品。基于红外光谱进行的系统聚类 and 芦丁含量测定结果显示,与栽培金槐品种相比,高龄野生金槐槐米的有效成分含量高且较为稳定。这可能是由于金槐的芦丁主要在花中合成并积累(舒文将等,2017),高龄金槐韧皮部老化,向其他器官运输的能力减弱,故

其含量高且稳定。这也说明高龄野生金槐的槐米将是优质槐米的一个重要来源。但高龄野生金槐数量相对较少,很难满足工业生产中的巨大需求。

K类中心聚类分析属于数据类的平均划分,非常适用于判定研究对象的内在品质(王笑等,2018)。根据评价槐米质量好坏的决定性指标-芦丁含量初步制定了金槐槐米的质量分级标准。在8个栽培金槐品种中,金槐 J2、金槐 J3、金槐 J6 3个品种符合二级标准,其他5个符合三级标准。芦丁含量高的3个品种(金槐 J2、金槐 J3、金槐 J6)可作为以后深加工或扩大种植的首选。尤其是金槐 J3,其品相较为优秀,更适用于金槐茶等产品的研发。此外,由于槐米芦丁含量受种植条件、气候等多种因素的影响,该分级标准还需进一步完善。

### 参考文献:

- BAI G, DING GY, HOU YY, et al., 2016. Rapid identification and evaluation of Chinese Materia Medica quality by near infrared spectroscopy [J]. *Chin J Chin Mat Med*, 41(19): 3501-3505. [白钢, 丁国钰, 侯媛媛, 等, 2016. 引进近红外技术用于中药材品质的快速评价 [J]. *中国中药杂志*, 41(19):3501-3505.]
- CHEN ZY, JIANG YS, LIANG HL, et al., 2012. Analysis nutritional and poisonous components in the flos sophorae immaturus of *Sophora japonica* L. of Gui9-2 [J]. *Acta Nutri Sin*, 34(5): 492-499. [陈宗游, 蒋运生, 梁惠凌, 等, 2012. 金槐桂 G9-2 槐米的营养与有害成分含量分析 [J]. *食品工业科技*, 34(5):492-499.]
- KONG DX, TANG H, WANG ML, et al., 2016. Comparison research on FTIR fingerprint of *Salvia priontis* based on fourier transform infrared spectroscopy combined with multi-statistical analysis [J]. *Guihaia*, 36(8): 937-942. [孔德鑫, 唐辉, 王满莲, 等, 2016. 红外光谱结合多元统计方法的不同产地红根草红外指纹图谱比较研究 [J]. *广西植物*, 36(8):937-942.]
- LI F, TANG H, WEI X, et al., 2009. The current status, problems and development measures of Golden *Sophora japhora* in Quanzhou County of Guangxi [J]. *J Guangxi Acad Sci*, 25(2): 130-134. [李锋, 唐辉, 韦霄, 等, 2009. 广西全州县金槐生产存在的问题及发展对策 [J]. *广西科学院学报*, 25(2):130-134.]
- LI K, ZHOU XP, 2010. Comparative study on quality of wild and cultivated *Saposhnikovia divaricata* [J]. *Chin J Mod Drug Appl*, 4(10): 118-119. [李康, 周新蓓, 2010. 防风野生与栽培品的质量对比研究 [J]. *中国现代药物应用*,



- 4(10):118-119.]
- LI Z, ZHOU LH, YE ZL, et al., 2016. Research progress on application of near-infrared reflectance spectroscopy in pharmaceutical analysis [J]. *Drug Eval Res*, 39(4): 686-692. [李真, 周立红, 叶正良, 等, 2016. 近红外光谱分析技术在药物质量分析中的应用进展 [J]. *药物评价研究*, 39(4):686-692.]
- National Pharmacopoeia Committee, 1990. *Pharmacopoeia of the People's Republic of China* [M]. Beijing: People Health Press: 465. [国家药典委员会, 1990. 中华人民共和国药典 [M]. 北京:人民卫生出版社:465.]
- SHI YC, ZOU R, TANG JM, et al., 2018b. Effects of different pruning methods on characters and yield of *Sophora japonica* in karst stone mountain area [J]. *Shandong Agric Sci*, 50(7): 95-98. [史艳财, 邹蓉, 唐健民, 等, 2018b. 不同修剪方式对喀斯特石山区金槐槐米性状及产量的影响 [J]. *山东农业科学*, 50(7):95-98.]
- SHU WJ, LIU JL, ZOU R, et al., 2017. High performance liquid chromatography for the determination of trace elements in different places of origin and harvest time effect of rutin content in *Sophora japonica* [J]. *Lishizhen Med Mat Med Res*, 28(3): 709-711. [舒文将, 刘金磊, 邹蓉, 等, 2017. 高效液相色谱法测定不同产地和采收期对槐米中芦丁含量的影响 [J]. *时珍国医国药*, 28(3):709-711.]
- SONG XL, ZHANG XQ, CAI C, et al., 2015. Optimization of process of pectin by acid extraction and alcohol precipitation from jackfruit peel and structure analysis [J]. *S Chin J Agric Sci*, 46(4): 664-668. [宋贤良, 张星启, 蔡纯, 等, 2015. 菠萝蜜果皮胶酸提醇沉工艺优化及其结构分析 [J]. *南方农业学报*, 46(4):664-668.]
- SU M, WEI LH, KONG DX, et al., 2017. Study on quality evaluation of superior individual tea plant based on FTIR technology [J]. *SW Chin J Agric Sci*, 30(3): 524-529. [苏敏, 韦柳花, 孔德鑫, 等, 2017. 基于 FTIR 技术的茶树优良单株品质评价研究 [J]. *西南农业学报*, 30(3):524-529.]
- WANG X, WANG Y, ZHANG B, et al., 2018. Research progress on herbaceous, chemical constituents and pharmacological effects of different medicinal parts of *Sophora japonica* [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 49(18): 4461-4467. [王笑, 王雨, 张冰, 等, 2018. 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*, 49(18):4461-4467.]
- WANG ML, JIANG YS, WEI X, et al., 2008. Shoot growth and photosynthetic characteristics in grafted trees and seedling trees of *Sophora japonica* L. [J]. *Plant Physiol Comm*, 45(4): 359-362. [王满莲, 蒋运生, 韦霄, 等, 2008. 实生和嫁接槐树的枝梢生长与光合特性 [J]. *植物生理学通讯*, 45(4):359-362.]
- WEN HX, SHAO Y, WANG QL, et al., 2015. Comparison on total flavonoids content in leaf of wild *Lycium barbarum* at different locations and collection times in Qinghai Province [J]. *J Plant Resour Environ*, 24(1): 107-109. [文怀秀, 邵赞, 王启兰, 等, 2015. 不同产地及采收时间青海野生宁夏枸杞叶片中总黄酮含量的比较 [J]. *植物资源与环境学报*, 24(1):107-109.]
- XU Y, LI H, FENG XF, et al., 2015. Comparative study on identification of *Clematidis radix* et rhizoma from different origins based on microstructure and NIRS method [J]. *Chin J Chin Mat Med*, 40(7): 1278-1282. [徐亚, 李慧, 冯学峰, 等, 2015. 基于显微和近红外方法定性鉴别中药材威灵仙不同基原品种的比较研究 [J]. *中国中药杂志*, 40(7):1278-1282.]
- YANG WX, WEN HM, LIU Y, et al., 1989. Comparison of chemical constituents between wild and cultivated products in *Xu Changqing* [J]. *Chin Med Mat*, 12(12): 37-38. [扬卫贤, 文虹梅, 刘宇, 等, 1989. 徐长卿野生品及栽培品化学成分比较 [J]. *中药材*, 12(12):37-38.]
- YAO QS, CHEN XM, DING F, et al., 2018. Establishment of genetic transformation system and determination of glycyrrhizic acid and total flavonoids in hairy roots of *Glycyrrhiza uralensis* [J]. *Chin Med Mat*, 41(9): 1783-1786. [姚庆收, 陈向明, 丁斐, 等, 2018. 甘草毛状根遗传转化体系的建立及甘草酸和总黄酮含量的测定 [J]. *中药材*, 41(9):1783-1786.]
- YIN SG, LIU RY, HUANG FY, et al., 2018. Study on infrared spectra of *Taxillus chinensis* (DC.) Danser from different host trees [J]. *Lishizhen Med Mat Med Res*, 29(11): 2629-2631. [银胜高, 刘人源, 黄蜚颖, 等, 2018. 不同寄主植物来源的桑寄生红外光谱学研究 [J]. *时珍国医国药*, 29(11):2629-2631.]
- ZHU H, XIE F, LI ZZ, et al., 2013. Correlation analysis on soil factor and active components of *Flos sophorae* [J]. *N Hortic*, (15): 173-175. [朱华, 谢锋, 李振志, 等, 2013. 土壤因子与金槐槐米有效成分含量的相关性分析 [J]. *北方园艺*, (15):173-175.]