

HPLC 法同时检测 16 种五加属植物中 14 种苯丙素类成分

肖珊¹, 罗姣¹, 许忠², 黄完均³, 肖瑾¹, 鲁曼霞¹, 卢茂芳¹, 刘向前^{1*}

1. 湖南中医药大学药学院, 湖南 长沙 410208

2. 云南省墨江哈尼族自治县经济作物技术推广站, 云南 普洱 654800

3. 韩国中央大学药学院, 韩国 首尔 156756

摘要:目的 建立以 HPLC 法同时检测 16 种 33 批五加属植物中紫丁香苷、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、ethylsyringin、ethylconiferin、(+)-桉皮树脂醇、(±)-松脂素、(±)-丁香脂素、taiwanin C、savinin、helioxanthin、(-)-sesamin 14 种苯丙素类成分的含量。方法 采用 Promosil C₁₈ 柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相为乙腈-0.1%磷酸水溶液, 梯度洗脱, 体积流量 1 mL/min; 柱温 30 ℃; 检测波长 280 nm。结果 在优化的色谱条件下, 14 种成分在测定的质量浓度范围内线性关系良好, *r* 均大于 0.999 1, 方法的精密度、稳定性、重复性以及回收率良好。结论 建立的 HPLC 法可用于同时检测五加属植物中 14 种苯丙素类化学成分的含量, 该方法快速、准确, 有较好的重现性和稳定性, 可为该属植物的进一步研究提供参考。

关键词: 五加属; 苯丙素类; 紫丁香苷; 绿原酸; 咖啡酸; 对香豆酸; 阿魏酸; ethylsyringin; ethylconiferin; (+)-桉皮树脂醇; (±)-松脂素; (±)-丁香脂素; taiwanin C; savinin; helioxanthin; (-)-sesamin

中图分类号: R286.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2020)14-3791-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2020.14.025

Simultaneous determination of 14 phenylpropanoids in 16 species of *Acanthopanax* plants by HPLC

XIAO Shan¹, LUO Jiao¹, XU Zhong², HUANG Wan-jun³, XIAO Jin¹, LU Man-xia¹, LU Mao-fang¹, LIU Xiang-qian¹

1. School of Pharmacy, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410208, China

2. Economic Crop Technology Promotion Station, Yunnan Mojiang Hani Autonomous County, Pu'er 654800, China

3. College of Pharmacy, Chung-Ang University, Seoul 156756, Korea

Abstract: Objective To establish an HPLC method for the simultaneous determination of syringin, chlorogenic acid, caffeic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, ethylsyringin, ethylconiferin, (+)-fraxinol, (±)-rosin, (±)-syringin, taiwanin C, savinin, helioxanthin, and (-)-sesamin in 16 species and 33 batches of *Acanthopanax* plants. **Methods** Separation was carried out on Promosil C₁₈ column (250 mm × 4.6 mm, 5 μm), the mobile phase was eluted with acetonitrile-0.1% phosphoric acid. The flow rate was 1 mL/min, and the column temperature was 30 ℃, the detection wavelength was 280 nm. **Results** Under the optimized chromatographic conditions, the linear relationship of the 14 constituents was good in the range of mass concentration, *r* was more than 0.999 1, with good precision, stability, repeatability and recovery. **Conclusion** HPLC method established in this study is effective, accurate, and reproducible and can be used for the simultaneous determination of phenylpropanoids in *Acanthopanax* plants, which can provide reference for the further study of *Acanthopanax* plants.

Key words: *Acanthopanax* Miq.; phenylpropanoids; syringin; chlorogenic acid; caffeic acid; *p*-coumaric acid; ferulic acid; ethylsyringin; ethylconiferin; (+)-fraxinol; (±)-rosin; (±)-syringin; taiwanin C; savinin; helioxanthin; (-)-sesamin

五加属植物 (*Acanthopanax* Miq.) 隶属被子植物门双子叶植物纲五加科, 其资源多, 分布广。现全球已发现的五加属植物有 70 多种 (60 种 12 变种)^[1]。

五加属植物具有祛风湿、补肝肾、强筋骨、利水消肿之功效, 常用于治疗风湿痹痛、腰膝软弱等病症^[2-3]。现代药理学研究五加属植物具有抗炎、抗

收稿日期: 2019-12-06

基金项目: 湖南省自然科学基金项目 (2019JJ40223); 湖南省自然科学基金项目 (2019JJ50448); 湖南省教育厅一般项目 (18C0399); 湖南中医药大学生物工程专业重点学科资助 (校内科学 [2018] 3 号)

作者简介: 肖珊, 女, 在读硕士, 研究方向为中药及天然药物活性成分研究。Tel: 18373134709 E-mail: 2849690327@qq.com

*通信作者 刘向前, 男, 博士生导师, 教授。Tel: 13308439949 E-mail: lxq0001cn@163.com

风湿、抗应激、抗心律失常等药理活性^[4]。在中国和韩国,五加属植物的根、茎和果实常用于制作药品原料、保健品和饮料^[5]。本课题组长期以来对大量五加属植物的化学成分进行研究,发现其苯丙素类成分居多,其中张斌贝等^[6]报道,苯丙素类成分目前已发现的有 30 余种,其中包括木脂素类、香豆素类、苯丙酸类等。现代药理研究表明,苯丙素类成分具有抗氧化、抗炎^[7-8]、抑菌、止血^[7]、抗肿瘤^[8]以及心血管保护^[9]等药理活性。

迄今为止,针对五加属植物中苯丙素类成分的含量测定未见报道。同时 HPLC 法现为医药分析领域中使用最广的现代分析技术,其具有高效且快速分离等特点^[10]。本实验采用 HPLC 法同时检测 16 种 33 批五加属植物中 14 个苯丙素类成分(紫丁香苷、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、ethylsyringin、ethylconiferin、(+)-桉皮树脂醇、(±)-松脂素、(±)-丁香脂素、taiwanin C、savinin、helioxanthin、(-)-sesamin)的含量,为五加属植物的进一步研究提供一定的参考。

1 仪器与材料

1.1 仪器

超纯水系统(上海和泰仪器有限公司); AUW-120D 精密电子天平(日本岛津公司); HH-S 型恒温水浴锅; SHZ-D (III) 型循环水式真空泵、

DZ-1BCII 型真空干燥箱(天津泰斯特仪器有限公司); Agilent 1200 高效液相色谱仪、BCD-260TM 型冰箱(青岛海尔股份有限公司); RED-201D 旋转蒸发仪(巩义市予华仪器有限公司); KQ-250DE 超声波清洗仪(昆山市超声波仪器有限公司)。

1.2 材料

16 种 33 批五加属植物均经湖南中医药大学药学院刘向前教授鉴定,分别为五加科五加属植物刚毛五加 *Acanthopanax simonii* Schneid、三叶五加 *A. trifoliatum* (Linn.) Merr.、糙叶五加 *A. henryi* (Oliv.) Harms、藤五加 *A. leucorrhizum* (Oliv.) Harms、吴茱萸五加 *A. evodiaefolium* Franch、刺五加 *A. senticosum* (Rupr. Maxim.) Harms、红毛五加 *A. giraldii* Harms、细柱五加 *A. gracilistylus* W. W. Smith、短梗五加 *A. sessiliflorum* (Rupr. Maxim.) Seem.、*A. divaricatum* f. *flavi-flos* C. S. Yook、*A. koreanum* Nakai、*A. seoulense* Nakai、*A. seboldianum* Makino、*A. divaricatum* f. *distigmatis*、*A. chiisanensis* Nakai, 阴干后备用,标本保存于湖南中医药大学药学院。样本详细来源见表 1。对照品紫丁香苷、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、ethylsyringin、ethylconiferin、(+)-桉皮树脂醇、(±)-松脂素、(±)-丁香脂素、taiwanin C、savinin、helioxanthin、(-)-sesamin 均为实验室自制,

表 1 五加属植物信息

Table 1 Information of 33 batches of *Acanthopanax* plants

编号	植物名称	采集部位	采集地点	编号	植物名称	采集部位	采集地点
S1	刚毛五加	根	云南墨江	S18	刺五加	叶	山西
S2	刚毛五加	茎	云南墨江	S19	红毛五加	茎	四川
S3	刚毛五加	叶	云南墨江	S20	红毛五加	叶	四川
S4	三叶五加	根	广东江门	S21	细柱五加	根	湖南长沙
S5	三叶五加	茎	广东江门	S22	细柱五加	茎	湖南长沙
S6	三叶五加	叶	广东江门	S23	细柱五加	叶	湖南长沙
S7	三叶五加	根	江西赣州	S24	细柱五加	果实	湖南长沙
S8	三叶五加	茎	江西赣州	S25	短梗五加	茎	辽宁
S9	三叶五加	叶	江西赣州	S26	短梗五加	叶	辽宁
S10	糙叶五加	根	湖南新化	S27	<i>A. divaricatum</i> Seem. var. <i>albeofructus</i> C. S. Yook	叶	韩国
S11	糙叶五加	茎	湖南新化	S28	<i>A. divaricatum</i> f. <i>flavi-flos</i> C. S. Yook	叶	韩国
S12	糙叶五加	叶	湖南新化	S29	<i>A. koreanum</i> Nakai	叶	韩国
S13	糙叶五加	花	湖南新化	S30	<i>A. seoulense</i> Nakai	叶	韩国
S14	糙叶五加	果实	湖南新化	S31	<i>A. seboldianum</i> Makino	叶	韩国
S15	藤五加	茎	河南伏牛山	S32	<i>A. divaricatum</i> f. <i>distigmatis</i> C. S. Yook	叶	韩国
S16	吴茱萸五加	叶	湖南永州	S33	<i>A. chiisanensis</i> Nakai	叶	韩国
S17	刺五加	根	山西				

经波谱鉴定和 HPLC 检测, 质量分数 $\geq 95\%$ 。流动相用磷酸和乙腈均为色谱纯 (Fisher 公司); 供试品溶液制备用乙醇为分析纯 (天津恒兴化学试剂有限公司); 实验用水为 Master Touch 超纯水系统 (上海和泰仪器有限公司) 制备。

2 方法与结果

2.1 色谱条件^[11-14]

色谱柱: Promosil C₁₈ 柱 (250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μ m); 流动相: 水 (含 0.1% 磷酸, A) - 乙腈 (B), 梯度洗脱, 洗脱程序为: 0~20.0 min, 10%~15% B; 20.0~30.0 min, 15%~25% B; 30.0~35.0 min, 25%~30% B; 35.0~40.0 min, 30%~40% B; 40.0~60.0 min, 40%~10% B; 60.0~65.0 min, 10% B; 进样量 10 μ L; 检测波长 280 nm; 柱温 30 $^{\circ}$ C; 体积流量 1.0 mL/min。在此色谱条件下, 各成分保留时间及分离度较好, 色谱图见图 1。

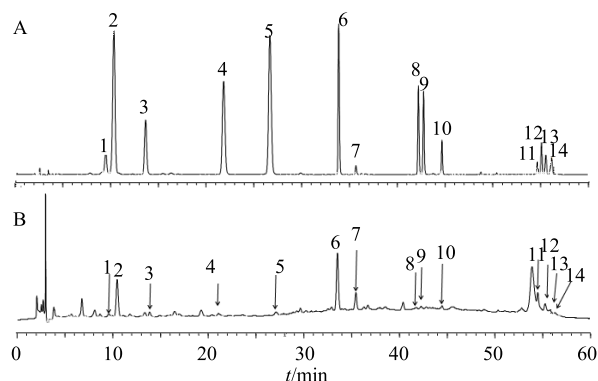


图 1 混合对照品 (A) 和样品 (B) 溶液 HPLC 图

Fig. 1 HPLC of mixed reference substance (A) and sample (B) solution

2.2 混合对照品溶液的制备

精密称定各对照品适量, 加入适量甲醇溶解制成质量浓度分别为紫丁香苷 0.355 6 mg/mL、绿原酸 0.086 1 mg/mL、咖啡酸 0.026 2 mg/mL、对香豆酸 0.025 2 mg/mL、阿魏酸 0.057 7 mg/mL、ethylsyringin 0.147 1 mg/mL、ethylconiferin 0.011 7 mg/mL、(+)-桉皮树脂醇 0.111 5 mg/mL、(±)-松脂素 0.053 5 mg/mL、(±)-丁香脂素 0.036 7 mg/mL、taiwanin C 0.053 9 mg/mL、savinin 0.053 1 mg/mL、helioxanthin 0.047 9 mg/mL、(-)-sesamin 0.046 6 mg/mL 的混合对照品溶液。

2.3 供试品溶液的制备

精密称取 33 批五加属植物样品各 1.0 g, 分别

置于 50 mL 的量瓶中, 并加入 70% 乙醇超声 (220 W, 60 kHz) 提取 45 min, 冷却至室温, 再加入 70% 乙醇至量瓶刻度, 定容, 摇匀, 用 0.45 μ m 微孔滤膜滤过, 即得供试品溶液。

2.4 方法学考察

2.4.1 线性关系考察 分别精密吸取上述混合对照品溶液 0.5、2.5、5.0、7.5、10.0 mL, 置于 50 mL 量瓶, 用无水甲醇定容, 制得系列质量浓度的混合对照品溶液, 按“2.1”项下的色谱条件进行测定。分别以峰面积为纵坐标 (Y), 以对照品质量浓度为横坐标 (X) 绘制标准曲线, 结果见表 2。

2.4.2 精密度试验 取混合对照品溶液适量, 按“2.1”项下色谱条件进行测定, 连续重复进样 6 次, 记录峰面积。结果紫丁香苷、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、ethylsyringin、ethylconiferin、(+)-桉皮树脂醇、(±)-松脂素、(±)-丁香脂素、taiwanin C、savinin、helioxanthin、(-)-sesamin 峰面积的 RSD 分别为 1.21%、1.05%、1.44%、0.99%、0.93%、1.68%、1.55%、1.14%、1.57%、0.97%、1.31%、0.67%、1.08%、1.83% ($n=6$), 均小于 2%, 表明仪器的精密度良好。

2.4.3 稳定性试验 精密称取细柱五加茎 (S22) 样品粉末 1.0 g, 按“2.3”项下的方法制备供试品溶液, 按“2.1”项下色谱条件进行测定, 分别在 0、2、4、8、12、24 h 进样, 记录峰面积。结果紫丁香苷、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、ethylsyringin、ethylconiferin、(+)-桉皮树脂醇、(±)-松脂素、(±)-丁香脂素、taiwanin C、savinin、helioxanthin、(-)-sesamin 峰面积的 RSD 分别为 2.35%、2.09%、1.89%、1.96%、1.53%、2.18%、1.77%、1.87%、2.16%、2.35%、1.52%、1.91%、2.39%、2.54%, 均小于 3%, 表明供试品溶液在 24 h 内稳定。

2.4.4 重复性试验 精密称取同一批三叶五加茎 (S5) 样品粉末 6 份, 每份 1.0 g, 按“2.3”项下的方法制备供试品溶液, 按“2.1”项下色谱条件进行测定, 记录峰面积。结果紫丁香苷、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、ethylsyringin、ethylconiferin、(+)-桉皮树脂醇、(±)-松脂素、(±)-丁香脂素、taiwanin C、savinin、helioxanthin、(-)-sesamin 质量分数的 RSD 分别为 2.18%、1.86%、1.57%、2.20%、2.21%、1.63%、2.17%、1.86%、1.20%、2.03%、2.12%、1.91%、2.20%、1.58% ($n=6$), RSD 均小于 3%, 表明该方法重复性良好。

表 2 14 个化合物回归方程和线性范围

Table 2 Regression equations and linear ranges of 14 constituents

成分	回归方程	线性范围/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	r^2
紫丁香苷	$Y=1\,205.9\,X+268.1$	3.566~71.120	0.999 4
绿原酸	$Y=35\,187\,X+5\,838.1$	0.861~17.220	0.999 3
咖啡酸	$Y=39\,844\,X+1\,159.3$	0.262~5.240	0.999 8
对香豆酸	$Y=84\,474\,X+6\,488.8$	0.252~5.040	0.999 3
阿魏酸	$Y=56\,375\,X+2\,179.3$	0.577~11.540	0.999 3
ethylsyringin	$Y=11\,174\,X+3\,860.4$	1.471~29.420	0.999 6
ethylconiferin	$Y=9\,211.6\,X+297.31$	0.117~2.340	0.999 4
(+)-桉皮树脂醇	$Y=8\,639.7\,X+1\,713.7$	1.115~22.300	0.999 6
(±)-松脂素	$Y=16\,993\,X-545.38$	0.535~10.700	0.999 2
(±)-丁香脂素	$Y=9\,590.5\,X+512.09$	0.367~7.340	0.999 5
taiwanin C	$Y=2\,807.2\,X+141.34$	0.539~10.780	0.999 2
savinin	$Y=7\,277.1\,X-705.55$	0.531~10.620	0.999 4
helioxanthin	$Y=5\,571.5\,X+111.92$	0.479~9.580	0.999 5
(-)-sesamin	$Y=6\,193.9\,X+208.03$	0.466~9.320	0.999 2

2.4.5 加样回收试验 精密称取已测定的细柱五加茎(S22)样品粉末 6 份,每份约 0.5 g,置于 50 mL 量瓶中,分别加入对照品适量,按“2.3”项下的方法制备供试品溶液,按“2.1”项下色谱条件进行测定。结果显示紫丁香苷、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、ethylsyringin、ethylconiferin、(+)-桉皮树脂醇、(±)-松脂素、(±)-丁香脂素、taiwanin C、savinin、helioxanthin、(-)-sesamin 的平均加样回收率($n=6$)分别为 99.34%、100.4%、100.3%、100.0%、99.71%、100.3%、100.4%、99.92%、99.94%、101.2%、100.4%、99.59%、99.96%、100.2%,RSD 分别为 1.88%、1.71%、1.59%、2.07%、1.65%、1.31%、2.32%、1.62%、1.63%、1.01%、1.45%、1.23%、1.49%、1.24%。

2.5 样品的测定

分别取表 1 中 33 批五加属植物样品,按“2.3”项下的方法制备供试品溶液,按“2.1”项下色谱条件进行测定,计算 33 批样品中 14 种苯丙素类成分的含量,结果见表 3。在 33 批五加属植物中糙叶五加花中苯丙素类成分的总质量分数为 45.61 mg/g,含量最高。相较于其他种类植物,糙叶五加中各采集部位的苯丙素类成分的总含量均较高,其中茎、花、果实分别高达 10.47 mg/g、45.61 mg/g、12.98 mg/g。在不同的采集部位中,叶部位中的苯丙素类成分的总含量偏高,根与茎的总含量相差不大。在这 33 批植物中,14 种苯丙素类成分大多都含有,多以 ethylsyringin 以及 taiwanin C 的含量居高。

3 讨论

3.1 提取方法与溶剂选择

本实验中对不同溶剂进行对比,分别用 70% 甲醇、50% 甲醇、70% 乙醇、50% 乙醇、水、甲醇和乙醇作为提取溶剂,结果表明 70% 乙醇所提取的样品中的 14 种成分含量均较高。选用提取方法(冷浸提取、加热回流提取、超声提取),结果表明超声提取效果与加热回流提取相差不大,冷提取法效果不佳,考虑到超声提取更加便捷,故选用超声提取。针对提取时间(30、45、50、60 min)的提取效果,最终经考察确定超声提取时间为 45 min。

3.2 色谱条件的选择与优化

在实验中根据文献资料^[11-14],分别采用乙腈-水、0.1% 磷酸-乙腈、0.4% 磷酸-乙腈、甲醇-水、0.1% 磷酸-甲醇、0.4% 磷酸-甲醇等多种组合的流动相进行洗脱,结果表明 0.1% 磷酸-乙腈为流动相时,色谱峰分离效果较好,分离度较高。采用紫外检测器对 14 种成分进行 190~400 nm 扫描,最终选择波长为 280 nm 可以一次性完成检测,其方法学考察结果良好。

本实验采用了 HPLC 法同时测定 16 种 33 批五加属植物中 14 种苯丙素类成分的含量,实验结果表明,该方法操作简单、准确、重复性好,能反映出不同五加属植物苯丙素类成分含量的差异,可以作为对五加属植物的进一步研究与开发利用的参考依据。

表 3 33 批五加属植物 14 种成分含量测定结果 ($n=3$)Table 3 Determination of 14 components in 33 batches of *Acanthopanax* plants ($n=3$)

编号	质量分数/(mg·g ⁻¹)														合计
	紫丁香苷	绿原酸	咖啡酸	对香豆酸	阿魏酸	ethylsyngin	ethylconiferin	(+)-桉皮树脂醇	(±)-松脂素	(±)-丁香脂素	taiwanin C	savinin	helioxanthin	(-)-sesamin	
S1	0.61	0.24	0.03	0.01	0.01	1.14	0.35	0.06	0.03	0.07	2.11	0.40	0.17	0.04	5.27
S2	0.06	0.53	0.00	0.01	0.01	2.80	0.70	0.96	0.17	0.01	8.50	0.04	0.01	0.00	13.80
S3	0.62	0.44	0.01	0.00	0.00	6.21	1.23	0.36	0.26	0.00	7.82	0.03	0.00	0.00	17.00
S4	1.26	0.64	0.07	0.51	0.13	0.43	1.17	0.20	0.11	0.50	0.20	0.17	0.10	0.86	6.35
S5	1.70	1.02	0.09	0.06	0.01	2.42	2.09	0.27	0.15	1.45	0.22	0.16	0.10	0.94	10.68
S6	0.32	0.36	0.02	0.01	0.01	0.54	0.21	0.11	0.38	0.02	0.59	0.11	0.02	0.04	2.74
S7	0.00	0.61	0.04	0.01	0.15	11.01	3.09	0.34	0.02	1.66	9.66	0.02	0.00	0.10	26.71
S8	0.13	0.41	0.18	0.01	0.03	3.41	1.06	0.01	0.03	0.08	1.23	0.38	0.00	0.09	7.05
S9	0.65	2.79	0.03	0.04	0.04	9.11	2.37	0.08	0.02	0.09	7.41	0.02	0.00	0.04	22.69
S10	0.29	0.18	0.02	0.03	0.01	0.78	0.06	0.04	0.02	0.01	7.28	0.09	0.06	0.05	8.92
S11	4.79	0.71	0.31	0.04	0.02	2.13	0.51	0.09	0.05	0.06	1.27	0.26	0.11	0.12	10.47
S12	1.74	0.02	0.01	0.03	0.02	0.84	0.99	0.33	0.18	0.33	0.18	0.08	3.56	0.09	8.40
S13	1.21	2.93	0.01	0.01	0.11	20.26	11.03	0.30	0.12	0.00	8.96	0.04	0.00	0.63	45.61
S14	0.13	0.55	0.05	0.01	0.01	6.57	0.77	0.10	0.04	0.31	2.52	0.99	0.00	0.93	12.98
S15	1.75	0.91	0.24	0.01	0.03	7.37	1.73	0.13	0.08	0.02	2.34	0.12	0.05	1.77	16.55
S16	2.82	0.71	0.06	0.01	0.05	21.32	0.47	0.60	0.19	0.05	8.91	0.04	0.02	0.08	35.33
S17	0.61	0.19	0.02	0.03	0.00	0.01	1.10	0.43	0.01	0.01	1.41	1.23	0.24	0.04	5.33
S18	0.00	0.01	0.51	0.05	0.01	0.51	0.54	0.56	0.20	0.31	0.45	2.49	1.13	0.09	6.86
S19	0.23	0.04	0.04	0.06	0.05	0.24	0.12	0.03	0.03	0.02	0.62	0.16	0.09	0.17	1.90
S20	2.62	2.41	0.11	0.02	0.01	5.76	3.02	0.02	0.02	0.07	1.36	0.18	0.00	0.26	15.86
S21	0.11	1.15	0.03	0.01	0.02	0.80	0.27	0.39	0.01	0.00	1.66	0.87	0.00	0.27	5.59
S22	2.55	0.96	0.15	0.10	0.21	0.87	0.55	0.36	0.21	0.06	0.22	0.28	0.17	1.79	8.48
S23	0.38	0.11	2.90	0.10	0.04	0.29	0.74	0.12	0.03	0.08	0.86	0.29	3.29	0.71	9.94
S24	0.13	0.15	0.02	0.01	0.01	0.42	0.13	0.10	0.09	0.32	0.41	0.03	0.00	0.06	1.88
S25	0.00	0.45	0.01	0.01	0.02	0.70	0.24	0.01	0.02	0.01	7.28	0.09	0.06	0.05	10.93
S26	0.19	0.01	0.01	0.01	0.05	0.80	0.37	0.07	0.03	0.04	0.59	0.08	0.02	0.22	2.49
S27	0.20	1.39	0.01	0.00	0.04	4.36	2.54	0.55	0.19	0.02	0.32	0.16	0.13	0.35	10.26
S28	29.68	0.07	0.04	0.00	0.02	3.86	0.23	0.36	0.17	0.45	0.24	0.10	0.33	0.08	35.63
S29	3.76	0.00	0.01	0.01	0.01	0.14	0.13	0.22	0.03	0.15	0.21	0.07	0.24	0.03	5.01
S30	1.61	7.73	0.01	0.01	0.03	5.74	2.21	0.23	0.09	0.01	11.31	0.05	0.01	0.20	29.24
S31	0.00	4.39	0.00	0.01	0.01	2.92	1.00	0.20	0.07	0.00	8.70	0.03	0.01	0.00	17.34
S32	1.27	0.22	0.03	0.01	0.05	0.60	1.56	18.89	2.68	0.04	10.42	0.06	0.02	0.25	36.10
S33	4.59	9.97	0.10	0.01	0.04	5.25	2.44	0.24	0.11	0.03	2.21	0.46	0.17	0.20	25.82

参考文献

- [1] 尚衍重. 中国种子植物名称 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [3] 中国药典 [S]. 一部. 2015.
- [4] 倪娜, 刘向前. 五加科五加属植物的研究进展 [J]. 中草药, 2006, 37(12): 1895-1900.
- [5] Han M H, Li H M, Sun J, et al. Phytochemical and chemotaxonomic investigations on *Acanthopanax*

leucorrhizus Harms [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2018, 81: 21-26.

- [6] 张斌贝, 李小军, 高大林, 等. 五加属植物化学成分多样性研究进展 [J]. 湖南中医药大学学报, 2019, 39(4): 556-561.
- [7] Wu A Z, Lin C Z, Zhu C C. Progress in structure-activity relationship of phenylethanoid glycosides [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2013, 25: 862-865.
- [8] 项丽玲, 温亚娟, 苗明三. 杜仲叶的化学、药理及临床应用分析 [J]. 中医学报, 2017, 32(1): 99-102.

- [9] Sun H, Liu J, Zhang A, *et al.* Characterization of the multiple components of *Acanthopanax senticosus* stem by ultra HPLC with quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry [J]. *J Sep Sci*, 2016, 39: 496-502.
- [10] 高大林, 罗 姣, 张斌贝, 等. 高效液相色谱法同时测定吴茱萸五加叶中 8 种黄酮的含量 [J]. 中国药师, 2019, 22(9): 1725-1728.
- [11] 周 渊, 李 宁, 张加余, 等. RP-HPLC-DAD 法同时测定毛冬青根中 4 种三萜皂苷和 2 种木脂素的含量(英文) [J]. *J Chin Pharm Sci*, 2014, 23(12): 866-872.
- [12] 梁 军, 郭信东, 夏永刚, 等. UPLC 同时测定不同产地连翘中 8 种成分 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(11): 68-72.
- [13] 宋 洋, 冯雪松. 无梗五加根化学成分的 UPLC-MS/MS 分析及与细柱五加、刺五加的比较 [J]. 药物分析杂志, 2014, 34(6): 958-965.
- [14] 于建光, 常志州, 王 宁, 等. 高效液相色谱法测定秸秆浸提液或腐解液中 12 种酚酸 [J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(11): 2231-2236.