

HPLC-CAD 法测定川芎茶调散中绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素和异欧前胡素

邢晔忠¹, 雷明珠²

1. 威海市食品药品检验检测中心, 山东 威海 264200

2. 天津药业研究院股份有限公司, 天津 300457

摘要: 目的 建立高效液相色谱-电喷雾检测器 (HPLC-CAD) 法同时测定川芎茶调散中绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素、异欧前胡素。方法 采用资生堂 Capcell Pak MG II C₁₈ 色谱柱 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm); 流动相: 80% 甲醇-10 mmol/L 甲酸铵, 梯度洗脱; 体积流量: 1.0 mL/min; 柱温: 40 °C; CAD 雾化器温度: 35 °C, 采集频率: 10 Hz, 过滤常数: 5.0; 进样体积: 20 μL; 稀释剂: 70% 甲醇。结果 绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素、异欧前胡素的质量浓度分别在 0.51~10.20 μg/mL ($r=0.999\ 4$), 0.53~10.60 μg/mL ($r=0.999\ 3$), 2.52~50.40 μg/mL ($r=0.999\ 5$), 5.05~101.00 μg/mL ($r=0.999\ 4$), 5.01~100.20 μg/mL ($r=0.999\ 8$), 1.02~20.40 μg/mL ($r=0.999\ 5$), 0.62~12.40 μg/mL ($r=0.999\ 3$) 线性关系良好; 平均回收率分别为 99.46%、98.65%、98.48%、98.74%、98.60%、98.69%、98.58%, RSD 值分别为 1.62%、0.87%、1.03%、1.20%、1.25%、0.69%、0.66%。结论 方法准确、重复性好, 为川芎茶调散的质量研究提供了更加全面的方法。

关键词: 川芎茶调散; 绿原酸; 阿魏酸; 阿魏酸松柏酯; 洋川芎内酯 A; Z-藁本内酯; 欧前胡素; 异欧前胡素; 高效液相色谱; 电喷雾检测器

中图分类号: R286.02

文献标志码: A

文章编号: 1674-5515(2021)06-1138-06

DOI: 10.7501/j.issn.1674-5515.2021.06.007

Determination of chlorogenic acid, ferulic acid, coniferly ferulate, senkyunolide A, Z-ligustilide, imperatorin, and isoimperatorin in Chuanxiong Chatiao Powder by HPLC-CAD

XING Ye-zhong¹, LEI Ming-Zhu²

1. Weihai Center for Food and Drug Control and Test, Weihai 264200, China

2. Tianjin Pharmaceutical Research Organization Co., Ltd, Tianjin 300462, China

Abstract: Objective To develop an HPLC-CAD method for simultaneous determination of chlorogenic acid, ferulic acid, coniferly ferulate, senkyunolide A, Z-ligustilide, imperatorin, and isoimperatorin in Chuanxiong Chatiao Powder. **Methods** Chromatographic separation was performed on a Capcell Pak MG II C₁₈ (250 mm × 4.6 mm, 5 μm) column with 80% methanol - 10 mmol/L ammonium formate as the mobile phase for gradient elution. The flow rate was 1.0 mL/min, and the column temperature was maintained at 40 °C. The nebulization temperature of detector was 35 °C, the acquisition frequency was 10 Hz, and the filtration constant was 5.0. Injection volume was 20 μL, and diluent was used as 70% methanol. **Results** Chlorogenic acid, ferulic acid, coniferly ferulate, senkyunolide A, Z-ligustilide, imperatorin, and isoimperatorin had good linear in the ranges of 0.51 — 10.20 μg/mL ($r = 0.999\ 4$), 0.53 — 10.60 μg/mL ($r = 0.999\ 3$), 2.52 — 50.40 μg/mL ($r = 0.999\ 5$), 5.05 — 101.00 μg/mL ($r = 0.999\ 4$), 5.01 — 100.20 μg/mL ($r = 0.999\ 8$), 1.02 — 20.40 μg/mL ($r = 0.999\ 5$), and 0.62 — 12.40 μg/mL ($r = 0.999\ 3$), respectively. The average recoveries were 99.46%, 98.65%, 98.48%, 98.74%, 98.60%, 98.69%, and 98.58% with RSD values of 1.62%, 0.87%, 1.03%, 1.20%, 1.25%, 0.69%, and 0.66%, respectively. **Conclusion** The method is accurate and reproducible to provide a more comprehensive method for the quality control of Chuanxiong Chatiao Powder.

Key words: Chuanxiong Chatiao Powder; chlorogenic acid; ferulic acid; coniferly ferulate; senkyunolide A; Z-ligustilide; imperatorin; isoimperatorin; HPLC; CAD;

收稿日期: 2021-01-18

作者简介: 邢晔忠 (1967—), 男, 副主任药师, 本科, 从事药品检验与质量控制研究。E-mail: xyz5231439@126.com

川芎茶调散是由川芎、白芷、羌活、细辛、防风、荆芥、薄荷、甘草 8 味中药组成的中药复方口服制剂,具有疏风止痛之功效,用于外感风邪所致的头痛,或有恶寒、发热、鼻塞^[1]。临床研究显示,川芎茶调散对偏头痛^[2]、肌收缩性头痛^[3]、鼻源性头痛^[4]、三叉神经痛^[5]、过敏性鼻炎^[6]均具有良好的治疗作用。川芎茶调散处方中君药为川芎,具有活血行气、祛风止痛之功,其主要成分为绿原酸、阿魏酸为代表的酚酸类成分和阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯为代表的苯酞类成分^[7-8];方中白芷长于治阳明经头痛,其中欧前胡素、异欧前胡素为其活性成分,具有镇痛、抗菌、平喘作用^[9]。方中羌活长于治太阳经头痛,其活性成分同样为绿原酸、阿魏酸、异欧前胡素等酚酸类成分和香豆素类成分^[10]。《中国药典》2020 年版一部关于川芎茶调散的含量测定仅以阿魏酸作为指标成分进行研究^[1],文献报道中仅见以甘草酸、欧前胡素、异欧前胡素等进行测定,而多成分质量控制则鲜有文献报道^[11-13]。鉴于中药复方制剂的药效发挥为多成分协调作用,多指标成分的分析检测更符合中药质量研究的系统性、整体性特点。电喷雾检测器(CAD)是一种新型液相色谱检测器,与传统的紫外或蒸发光散射检测器相比,其灵敏度高,动态范围宽,应用范围广,尤其是为无紫外吸收或非挥发性物质的检测带来便利,目前已成功应用于中药质量研究领域^[14-16]。本实验建立 HPLC-CAD 法对川芎茶调散中绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素和异欧前胡素 7 个活性成分同时进行测定,以期完善川芎茶调散的质量标准提供参考。

1 仪器与试药

Thermo Ultimate 3000 高效液相色谱仪联合 Corona Veo RS 电雾式检测器(美国 Thermo Fisher 公司);BSA822 型百分之一电子天平(德国 Sartorius 公司);XPR2 型百万分之一电子天平,ME104 型万分之一电子天平(瑞士 Mettler Toledo 公司);SB-5200DT 型超声波清洗机(宁波新艺超声设备有限公司)。

绿原酸(批号 110753-201817,质量分数以 96.8%计)、阿魏酸(批号 110773-201614,质量分数以 99.0%计)、欧前胡素(批号 110826-201616,质量分数以 99.6%计)、异欧前胡素(批号 110827-201812,质量分数以 99.6%计)对照品均购自中国

食品药品检定研究院;阿魏酸松柏酯(批号 CHB151011,质量分数大于 97%)、洋川芎内酯 A(批号 CHB160917,质量分数大于 97%)、Z-藁本内酯(批号 CHB160428,质量分数大于 97%)对照品均购自成都克洛玛生物科技有限公司;川芎茶调散(吉林黄栀花药业有限公司,规格 9 g/袋,批号分别为 20180408、20180625、20180712、20190217、20190302;承德新爱民制药有限公司,规格 3 g/袋,批号分别为 180321、180826、181213);川芎、白芷、羌活、细辛、防风、荆芥、薄荷、甘草药材均为市售药材,经威海市食品药品检验检测中心刘传玲主任药师分别鉴定为伞形科植物川芎 *Ligusticum chuanxiong* Hort. 的干燥根茎、伞形科植物白芷 *Angelica dahurica* (Fisch. ex Hofm.) Benth. et Hook. f. 的干燥根、伞形科植物裂叶羌活 *Notopterygium incisum* Ting ex H. T. Chang 干燥根、马兜铃科植物华细辛 *Asarum sieboldii* Miq. 的干燥根和根茎、伞形科植物防风 *Saposhnikovia divaricate* (Turcz.) Schischk. 的干燥根、唇形科植物荆芥 *Schizonepeta tenuifolia* Briq. 的干燥地上部分、唇形科植物薄荷 *Mentha haplocalyx* Briq. 的干燥地上部分以及豆科植物甘草 *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. 的干燥根和根茎;甲醇(分析纯)购自国药集团化学试剂有限公司;甲酸铵(LCMS 级)、甲醇(HPLC 级)购自美国 Fisher 试剂公司;水为自制超纯水。

2 方法与结果

2.1 色谱条件

资生堂 Capcell Pak MG II C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm);流动相:80%甲醇(A)-10 mmol/L 甲酸铵(B),梯度洗脱(0~10 min, 15%A; 10~15 min, 15%~25%A; 15~30 min, 25%~40%A 相; 30~45 min, 40%~80%A);体积流量:1.0 mL/min;柱温:40℃;CAD 雾化器温度:35℃,采集频率:10 Hz,过滤常数:5.0;进样体积:20 μL;稀释剂:70%甲醇。

2.2 溶液的制备

2.2.1 混合对照品溶液的制备 精密称取绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素、异欧前胡素对照品适量,加 70%甲醇制成质量浓度分别为 0.051、0.053、0.252、0.505、0.501、0.102、0.062 mg/mL 的混合对照品母液;精密移取混合对照品母液 1.0 mL,置于 10 mL 量瓶中,加 70%甲醇稀释至刻度,摇匀,制成含绿原酸、阿

魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素、异欧前胡素 5.1、5.3、25.2、50.5、50.1、10.2、6.2 $\mu\text{g/mL}$ 的混合对照品溶液。

2.2.2 供试品溶液的制备 取本品约 0.5 g，精密称定，置 100 mL 具塞锥形瓶中，精密加入 70% 甲醇 30 mL，称定质量，超声处理（功率 220 W，频率 30 kHz，45 $^{\circ}\text{C}$ ）60 min，放冷，加 70% 甲醇补足减失的质量，摇匀，经 0.45 μm 微孔滤膜滤过，取续滤液，即得。

2.2.3 阴性样品溶液的制备 按川芎茶调散的处方分别制备缺川芎、缺白芷、缺羌活、缺川芎和羌活、缺白芷和羌活的阴性样品，分别取粉末 0.5 g，按供试品溶液的制备方法进行操作，即得。

2.3 系统适用性试验

取混合对照品溶液、供试品溶液（样品批号 20180408）和各阴性样品溶液适量，进样测定，记录各色谱图，见图 1。结果显示，绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素、异欧前胡素与其他成分色谱峰均实现基线分离，分离度均不低于 1.5，理论板数以绿原酸色谱

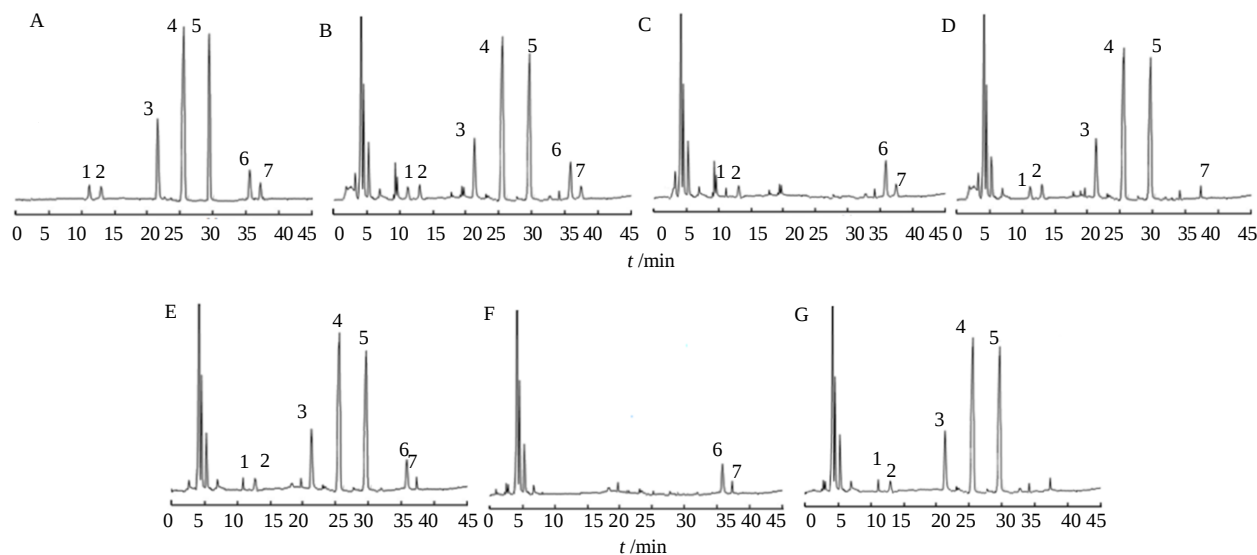
峰计不低于 7 000。阴性样品图谱显示阿魏酸是川芎、羌活的共有成分，异欧前胡素是白芷、羌活的共有成分，其他成分检测无干扰。

2.4 线性关系考察

精密量取混合对照品母液 1 mL，分别稀释至 100、50、25、10、5 mL，制成 5 种不同质量浓度的线性系列混合对照品溶液，进样测定，记录相应的色谱峰面积。以各成分的进样质量为横坐标，峰面积为纵坐标，进行线性回归计算，各成分的回归方程和线性范围见表 1。

2.5 检测限和定量限考察

取混合对照品溶液逐级稀释至各色谱峰的信噪比为 10:1 时，作为各成分的定量限浓度，取定量限浓度水平继续稀释，当色谱峰的信噪比为 3:1 时，作为各成分的检测限浓度。结果显示，绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素、异欧前胡素的定量限浓度分别为 0.18、0.19、0.20、0.15、0.19、0.21、0.18 $\mu\text{g/mL}$ ，检测限浓度分别为 0.06、0.06、0.07、0.05、0.06、0.07、0.06 $\mu\text{g/mL}$ 。



1-绿原酸 2-阿魏酸 3-阿魏酸松柏酯 4-洋川芎内酯 A 5-Z-藁本内酯 6-欧前胡素 7-异欧前胡素
1-chlorogenic acid 2-ferulic acid 3-coniferly ferulate 4-senkyunolide A 5-Z-ligustilide 6-imperatorin 7-isolimperatorin

图 1 混合对照品 (A)、川芎茶调散供试品 (B)、缺川芎阴性样品 (C)、缺白芷阴性样品 (D)、缺羌活阴性样品 (E)、缺川芎和羌活阴性样品 (F) 和缺白芷和羌活阴性样品 (G) 的 HPLC-CAD 图谱

Fig. 1 HPLC-CAD chromatograms of mixed reference substances (A), Chuanxiong Chatiao Powder sample (B), negative sample without *Chuanxiong Rhizoma* (C), negative sample without *Angelicae Dahuricae Radix* (D), negative sample without *Notopterygii Rhizoma et Radix* (E), negative sample without *Chuanxiong Rhizoma* and *Notopterygii Rhizoma et Radix* (F), negative sample without *Angelicae Dahuricae Radix* and *Angelicae Dahuricae Radix* (G)

表 1 线性关系考察结果

Table 1 Results of linear range investigation

成分	线性回归方程	<i>r</i>	线性范围/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)
绿原酸	$Y=5.913 X+0.117$	0.999 4	0.51~10.20
阿魏酸	$Y=6.058 X+0.281$	0.999 3	0.53~10.60
阿魏酸松柏酯	$Y=6.080 X+1.938$	0.999 5	2.52~50.40
洋川芎内酯 A	$Y=6.399 X+2.032$	0.999 4	5.05~101.00
Z-藁本内酯	$Y=5.853 X+2.409$	0.999 8	5.01~100.20
欧前胡素	$Y=6.067 X+2.172$	0.999 5	1.02~20.40
异欧前胡素	$Y=5.908 X+1.106$	0.999 3	0.62~12.40

2.6 精密度试验

取混合对照品溶液,连续测定 6 次,结果绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素、异欧前胡素峰面积的 RSD 值分别为 1.06%、1.08%、0.89%、0.75%、0.66%、0.72%、0.96%。

2.7 稳定性试验

取批号为 20180408 的川芎茶调散供试品溶液适量,于室温下分别放置 0、2、4、8、24、48 h 后进样测定,记录各成分峰面积。结果显示,绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素、异欧前胡素峰面积的 RSD 值分别为 1.35%、1.66%、1.43%、1.72%、1.73%、1.22%、1.63%,结果表明供试品溶液在 48 h 内稳定性良好。

2.8 重复性试验

取批号 20180408 川芎茶调散适量,平行制备 6 份供试品溶液,进样测定峰面积,并计算样品中各成分的质量分数。结果显示,绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素、异欧前胡素质量分数的 RSD 值分别为 1.47%、

1.53%、1.26%、1.43%、1.45%、1.63%、1.88%。

2.9 回收率试验

取批号 20180408 的川芎茶调散样品适量,共 6 份,每份约 0.5 g,精密称定,置于 100 mL 具塞锥形瓶中,精密加入含绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素、异欧前胡素 0.181 0、0.193 1、0.750 5、1.502 0、1.601 5、0.401 2、0.227 5 mg/mL 的混合对照品溶液 1 mL,按供试品溶液的制备方法制得加样回收溶液,进样测定,记录峰面积,计算回收率。结果绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素、异欧前胡素的平均回收率分别为 99.46%、98.65%、98.48%、98.74%、98.60%、98.69%、98.58%,RSD 值分别为 1.62%、0.87%、1.03%、1.20%、1.25%、0.69%、0.66%。

2.10 样品的测定

取各批川芎茶调散样品适量,精密称定,置具塞锥形瓶中,制备供试品溶液,进样测定,记录色谱图和峰面积,以外标法计算各批样品中各成分的质量分数,结果见表 2。

表 2 川芎茶调散中 7 种活性成分的测定结果 ($n=2$)Table 2 Determination of seven active ingredients in Chuanxiong Chatiao Powder ($n=2$)

批号	质量分数/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)						
	绿原酸	阿魏酸	阿魏酸松柏酯	洋川芎内酯 A	Z-藁本内酯	欧前胡素	异欧前胡素
20180408	0.35	0.36	1.50	3.03	2.94	0.84	0.40
20180625	0.36	0.37	1.55	3.24	2.75	0.68	0.32
20180712	0.29	0.33	1.35	3.12	2.74	0.69	0.63
20190217	0.41	0.40	1.73	3.27	3.12	0.73	0.49
20190302	0.32	0.29	1.30	2.83	2.53	0.61	0.58
180321	0.32	0.33	1.33	2.93	2.72	0.73	0.49
180826	0.36	0.37	1.55	3.09	3.03	0.84	0.67
181213	0.31	0.34	1.32	3.14	2.84	0.64	0.58

3 讨论

3.1 检测器的选择

绿原酸等 7 个成分虽均具有紫外吸收,但其紫外最大吸收波长各异,难以选择出可兼顾该 7 个成分灵敏度的检测波长,故传统的单波长或双波长切换紫外检测法难以实现同时测定,而电喷雾检测器不依赖于紫外吸收,可规避这一检测障碍。绿原酸等 7 个指标成分在电喷雾检测器中均具有良好的响应值,灵敏度高,基线平稳无干扰,故选择电喷雾检测器进行测定研究。

3.2 流动相的选择

实验考察了甲醇-乙酸、乙腈-乙酸、甲醇-三乙胺、乙腈-三乙胺等流动相体系,7 种目标成分均难以达到基线分离,继而实验继续考察乙腈-10 mmol/L 甲酸铵、甲醇-10 mmol/L 甲酸铵、乙腈-10 mmol/L 乙酸铵、甲醇-10 mmol/L 乙酸铵等几种不同的流动相体系,结果显示甲醇-10 mmol/L 甲酸铵系统下绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯分离度较佳,但欧前胡素、异欧前胡素尚未实现基线分离,故将有机相改为 80%甲醇,通过梯度优化实现分离,且基线平稳,各色谱峰理论板数、对称因子均最佳。故选择 80%甲醇-10 mmol/L 甲酸铵为流动相。

3.3 色谱柱和柱温的选择

参考相关文献报道^[12]采用 Thermo Hypersil ODS 柱进行分析,研究中发现该色谱柱条件下阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A 峰形拖尾,且供试品中阿魏酸松柏酯与相邻色谱峰难以实现基线分离,在多种流动相系统中均无明显改善。经对 Capcell Pak MG II C₁₈、Agilent Zorbax Eclipse XDB C₁₈、Waters XBridge C₁₈ 等不同色谱柱进行考察比较,结果显示 Capcell Pak MG II C₁₈ 色谱柱下各成分峰形良好,再继续调节柱温以改善分离度,结果显示柱温为 40 ℃ 时供试品中阿魏酸松柏酯与相邻色谱峰实现基线分离。

3.4 测定结果分析

结果显示,阿魏酸含量均符合《中国药典》2020 年版一部标准 (0.25 mg/g)^[1]。通过以上 8 批样品检测结果显示,绿原酸等 7 个成分的质量分数由高到低依次为:洋川芎内酯 A>Z-藁本内酯>阿魏酸松柏酯>欧前胡素>异欧前胡素>绿原酸≈阿魏酸,其中阿魏酸松柏酯可能在一定条件下水解而产生阿魏酸^[17-18],但其具体机制还需进一步研究。与

相关参考文献的检测结果比较^[12],欧前胡素、异欧前胡素的质量分数与文献报道基本一致,说明电喷雾检测器的测定结果准确。

川芎茶调散是国家基本医疗药品,且为《中国药典》收载的经典中药复方制剂,药品质量高低直接关系到药品的疗效。本实验建立了 HPLC-CAD 法同时测定川芎茶调散中绿原酸、阿魏酸、阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 A、Z-藁本内酯、欧前胡素、异欧前胡素 7 个活性成分,方法准确、重复性好,为川芎茶调散的质量研究提供了更加全面的方法。

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: 545-546.
- [2] 胡 岩. 川芎茶调散对偏头痛患者头痛控制效果的影响 [J]. 北方药学, 2018, 15(8): 123.
- [3] 伍其敏. 川芎茶调散加味治疗肌收缩性头痛 42 例临床观察 [J]. 国医论坛, 2016, 31(5): 42.
- [4] 骆晓琴, 胡文健, 钟轮坤, 等. 川芎茶调散治疗鼻源性头痛 68 例 [J]. 世界最新医学信息文摘, 2018, 18(44): 143-145.
- [5] 黄汝芹, 郑 瑾, 张兰会, 等. 川芎茶调散结合针刺治疗原发性三叉神经痛 (风寒证) 的经验分析 [J]. 中国中医急症, 2018, 27(2): 371-373.
- [6] 李 静, 姜朱林, 吕 丹, 等. 刘铁军教授运用川芎茶调散加味治疗过敏性鼻炎举隅 [J]. 世界最新医学信息文摘, 2018, 18(64): 156-159.
- [7] 鄢玉芬, 徐双美, 梁乙川, 等. HPLC 法测定不同贮藏条件下川芎中 10 种化学成分的含量 [J]. 中国药房, 2019, 30(6): 807-812.
- [8] 梁乙川, 伍清芳, 刘素娟, 等. HPLC 法同时测定川芎药材中 10 种化学成分 [J]. 中药材, 2019, 42(1): 137-139.
- [9] 朱艺欣, 李宝莉, 马宏胜, 等. 白芷的有效成分提取、药理作用及临床应用研究进展 [J]. 中国医药导报, 2014, 11(31): 159-166.
- [10] 杨 茜, 宫美玲, 李 晋, 等. HPLC-UV 法同时测定羌活酚酸和香豆素类成分含量 [J]. 天津中医药大学学报, 2016, 35(3): 192-195.
- [11] 丁 慧, 闫韶华. HPLC 测定川芎茶调散中甘草酸的含量 [J]. 海峡药学, 2016, 28(3): 85-87.
- [12] 代 磊. HPLC 法同时测定川芎茶调散中欧前胡素和异欧前胡素的含量 [J]. 安徽医药, 2013, 17(9): 1502-1503.
- [13] 顾 俊. 川芎茶调散的质量标准研究 [J]. 中国冶金工业医学杂志, 2014, 31(4): 474-475.
- [14] 侯爱荣, 邢叶忠, 吴雪松. HPLC-CAD 法同时测定风湿

- 定片中 7 种活性成分的含量 [J]. 中国药房, 2018, 29(23): 3212-3216.
- [15] 刘丽娜, 金红宇, 潘媛媛, 等. 高效液相色谱-电雾式检测器法测定银杏叶提取物中萜类内酯含量 [J]. 药物分析杂志, 2018, 38(7): 1269-1274.
- [16] 刘 路, 高 旋, 杨永健. HPLC-电雾式检测器的应用 [J]. 中国医药工业杂志, 2012, 43(3): 227-231.
- [17] 王 涛, 林良斌, 张巧玲, 等. 川芎晒干过程中阿魏酸和阿魏酸松柏酯含量的变化 [J]. 植物科学学报, 2015, 33(2): 259-263.
- [18] 李韶菁, 张迎春, 苏培瑜, 等. 阿魏酸松柏酯的研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(3): 229-231.

【责任编辑 解学星】