

doi:10.3969/j.issn.1006-4931.2021.05.015

# 离子色谱-脉冲安培检测法测定洋常春藤游离糖成分含量

史万忠<sup>1</sup>, 栾绍斋<sup>2</sup>, 倪力军<sup>3△</sup>

(1. 上海中医药大学附属曙光医院, 上海 201203; 2. 中国人民解放军71239部队93分队, 辽宁 营口 115002; 3. 华东理工大学化学与分子工程学院, 上海 200237)

**摘要:**目的 建立测定洋常春藤中游离糖成分含量的离子色谱-脉冲安培检测法。方法 色谱柱采用 Thermo DionexCarboPac PA1 分析柱(250 mm×4 mm)和 Thermo DionexCarboPac PA1 保护柱(50 mm×4 mm), 流动相为超纯水(A)-50 mmol/L NaOH 和 1 mol/L NaAc 溶液(B)-100 mmol/L NaOH 溶液(C), 梯度洗脱(0~13.00 min 时 82% A、18% C, 13.10~22.00 min 时 70% A、30% C, 22.10~31.00 min 时 67% A、15% B、18% C, 31.10~32.00 min 时 82% A、18% C), 流速为 1.0 mL/min, 柱温为 25℃, 进样量为 10 μL。采用四电位脉冲安培检测器检测。结果 海藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、D-无水葡萄糖、D-木糖、D-果糖、D-核糖、蔗糖、乳糖、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖醛酸在各自的质量浓度范围内线性关系良好;阿拉伯糖、D-无水葡萄糖、D-果糖、蔗糖的平均回收率分别为 99.21%, 97.84%, 97.32%, 96.20%, RSD 分别为 3.46%, 3.85%, 2.94%, 3.28% (n=6)。结论 该方法结果准确、可靠, 重复性好, 可用于洋常春藤中 12 种游离糖成分含量的分析和质量控制。

**关键词:**离子色谱法;脉冲安培检测法;洋常春藤;游离糖;含量测定

中图分类号:R932;R284.1;R286.0

文献标志码:A

文章编号:1006-4931(2021)05-0054-05

## Content Determination of Free Sugar Components in *Hedera Helix* by Ion Chromatography-Integrated Pulsed Amperometric Detection

SHI Wanzhong<sup>1</sup>, LUAN Shaozhai<sup>2</sup>, NI Lijun<sup>3</sup>

(1. Shuguang Hospital Affiliated to Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai, China 201203; 2. Unit 93, Army 71239 of PLA, Yingkou, Liaoning, China 115002; 3. School of Chemistry and Molecular Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai, China 200237)

**Abstract: Objective** To establish an ion chromatography-integrated pulsed amperometric detection method for the content determination of free sugar components in *Hedera helix*. **Methods** The chromatographic column was Thermo DionexCarboPac PA1 analytical column (250 mm×4 mm), and Thermo DionexCarboPac PA1 guard columns(50 mm×4 mm), the mobile phase was ultra-pure water(A)-50 mmol/L NaOH and 1 mol/L NaAc solution(B)-100 mmol/L NaOH (C) with gradient elution(0-13.00 min, 82% A and 18% C; 13.10-22.00 min, 70% A and 30% C; 22.10-31.00 min, 67% A, 15% B and 18% C; 31.10-32.00 min, 82% A and 18% C), the flow rate was 1.0 mL/min, the column temperature was 25℃, and the injection volume was 10 μL. The pulsed amperometric detector was operated with aquadruple-potential waveform for the detection. **Results** Trehalose, rhamnose, arabinose, galactose, D-glucose, D-xylose, D-fructose, D-ribose, sucrose, lactose, D-galacturonic acid and D-glucuronic acid showed a good linear relationship within the corresponding concentration range. The average recoveries of arabinose, D-glucose, D-fructose and sucrose were 99.21%, 97.84%,

第一作者:史万忠,男,博士研究生,副主任药师,研究方向为中药制剂与新药开发,(电话)021-20256162(电子信箱)shwzh@hotmail.com。

△通信作者:倪力军,女,博士研究生,教授,研究方向为中药物质基础与质量分析,(电话)021-64253045(电子信箱)nljfy@163.com。

- 力衰竭专业委员会,中华心血管病杂志编辑委员会. 中国心力衰竭诊断和治疗指南 2018[J]. 中华心血管病杂志, 2018, 46(10):760-789.
- [9] WHITAKER J, TSCHABRUNN CM, JANG J, et al. Cardiac MR Characterization of left ventricular remodeling in a swine model of infarct followed by reperfusion[J]. Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2018, 48(3):808-817.
- [10] 王艳,张丽,刘玉,等. 丹红注射液联合卡维地洛治疗心力衰竭的临床研究[J]. 现代药物与临床, 2017, 32(12): 2328-2332.
- [11] 白凤鸣. 丹参酮Ⅱ<sub>A</sub> 磺酸钠的临床应用进展[J]. 中国药房, 2012, 23(31):2971-2973.
- [12] 郑朝阳,赖仁奎,潘光明,等. 丹参酮Ⅱ<sub>A</sub> 磺酸钠注射液治疗心力衰竭的系统评价[J]. 中国医药导报, 2018, 15(18):111-115.
- [13] CHEN IGJ, LEE MS, LIN MK, et al. Blue light decreases tanshinone II<sub>A</sub> content in *Salvia miltiorrhiza* hairy roots via genes regulation[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2018, 183:164-171.
- [14] 雷莉,袁宇峰. 左西孟旦辅助治疗对老年慢性心力衰竭患者神经内分泌激素及细胞因子的影响[J]. 海南医学院学报, 2017, 23(21):2921-2924.
- [15] CHEN X, WU R, KONG YW, et al. Tanshinone II<sub>A</sub> attenuates renal damage in STZ-induced diabetic rats via inhibiting oxidative stress and inflammation[J]. Oncotarget, 2017, 8(19): 31915-31922.

(收稿日期:2020-07-05;修回日期:2020-10-03)

97.32%, 96.20% with RSDs of 3.46%, 3.85%, 2.94% and 3.28% ( $n=6$ ). **Conclusion** The method is accurate, reliable and reproducible, which can be used for the content determination and quality control of free sugar components in *Hedera helix*.

**Key words:** ion chromatography; integrated pulsed amperometric detection; *Hedera helix*; free sugar; content determination

常春藤为五加科常绿药用和观赏植物,《欧洲药典》将洋常春藤 *Hedera helix* L. 收录为药用植物<sup>[1]</sup>。洋常春藤提取物作为一种传统的祛痰药物,其提取溶剂一般为30%~70%乙醇,常用剂型有片剂、胶囊、泡腾片、口服液、糖浆剂,已在欧洲多个国家获批上市<sup>[2]</sup>。洋常春藤中主要药用生物活性化合物为三萜皂苷,以及其他化合物如黄酮类、香豆素类、挥发油、维生素、糖类等。目前,对洋常春藤中三萜皂苷、黄酮苷类、苯丙素类化学成分的研究较多,但尚无研究糖类成分的报道<sup>[3-7]</sup>。离子色谱法利用被测物质的离子性进行分离和检测,能有效分析所有游离糖成分,检测速度快,无需衍生化。阴离子交换色谱-脉冲安培检测法分离能力强,灵敏度高,在糖及相关化合物的分析中有独特优势<sup>[8-12]</sup>,本研究中采用此方法测定不同产地洋常春藤游离糖的含量,并优化离子色谱条件,为后续药用部位和药用成分的研究提供参考。现报道如下。

## 1 仪器与试剂

### 1.1 仪器

ThermoFisher ICS-6000型离子色谱仪(美国赛默飞世尔科技有限公司),配置有脉冲安培检测器(工作电极为金电极);ML104/02型电子分析天平(精度为0.1 mg),XSE105DU型电子天平(精度为0.01 mg),均购于梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;DS-3510 DTH型超声波清洗器(上海生析超声仪器有限公司,功率为180 W,频率为40 kHz);有机相针式滤器(上海安谱科学仪器有限公司);FW177型中药粉碎机(天津泰斯特仪器有限公司);HWS-28型电热恒温水浴锅(上海一恒科学仪器有限公司);UPK-I-10T型去离子水机(四川优普超纯科技有限公司)。

### 1.2 试剂

D-葡萄糖醛酸(批号为140648-201804,纯度为99.8%),D-核糖(批号为140668-201302,纯度为99.6%),海藻糖(批号为190073-201501,纯度为99.7%),D-无水葡萄糖(批号为110833-201707,纯度为99.9%),D-果糖(批号为111504-201703,纯度为99.8%),阿拉伯糖(批号为111506-200202,纯度为99.5%),蔗糖(批号为111507-201704,纯度为100.0%),乳糖(批号为100058-201605,纯度为94.8%),半乳糖(批号为100226-201506,纯度为100.0%),D-木糖(批号为111508-201605,纯度为99.9%),D-半乳糖醛酸(批号为111646-201702,纯度为95.1%),鼠李糖(批号为111683-201502,纯度为

98.5%),均购自中国食品药品检定研究院;On Guard RP前处理柱(上海安谱实验科技股份有限公司);氢氧化钠、醋酸钠均为优级纯(德国Merck公司);试验用水为自制去离子水。试验中所用11批次洋常春藤药材分别采集于山东、上海、广东、江苏。经中国中医科学院中药研究所陈士林教授鉴定为正品。采集药材的信息见表1。

表1 洋常春藤药材信息

Tab. 1 Information of *Hedera helix*

样品编号	样品批号	产地	采集时间
1	JS160731-1	江苏	2016-07-31
2	JS160731-2	江苏	2016-07-31
3	JS160731-3	江苏	2016-07-31
4	JS160802	江苏	2016-08-02
5	JS160824-1	江苏	2016-08-24
6	JS160824-2	江苏	2016-08-24
7	SD160809	山东	2016-08-09
8	SH160613	上海	2016-06-13
9	JS160802	江苏	2016-08-02
10	GD160811	广东	2016-08-11
11	GD160824	广东	2016-08-24

## 2 方法与结果

### 2.1 色谱条件

色谱柱:Thermo Dionex CarboPac PA1分析柱(250 mm × 4 mm),Thermo Dionex CarboPac PA1保护柱(50 mm × 4 mm);检测器:四电位脉冲安培检测器,AS-AP自动进样器;流动相:超纯水(A)-50 mmol/L NaOH和1 mol/L NaAc溶液(B)-100 mmol/L NaOH溶液(C),梯度洗脱程序见表2;柱温:25℃;流速:1.0 mL/min;进样量:10 μL。

表2 离子色谱流动相梯度洗脱程序(%)

Tab. 2 Gradient elution program of ion chromatography(%)

时间(min)	A	B	C
0.00	82.00	0.00	18.00
13.00	82.00	0.00	18.00
15.00	70.00	0.00	30.00
22.00	70.00	0.00	30.00
22.10	67.00	15.00	18.00
31.00	67.00	15.00	18.00
31.10	82.00	0.00	18.00
32.00	82.00	0.00	18.00

### 2.2 溶液制备

混合对照品溶液:取海藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖、半

乳糖、D-无水葡萄糖、D-木糖、D-果糖、D-核糖、蔗糖、乳糖、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖醛酸对照品适量,精密称定,加超纯水制成每1 mL含海藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、D-无水葡萄糖、D-木糖、D-果糖、D-核糖、蔗糖、乳糖、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖醛酸分别为1.237, 1.159, 1.012, 1.707, 1.285, 1.397, 1.225, 1.267, 1.270, 1.430, 1.201, 1.202 mg的对照品贮备液。取对照品贮备液适量,加超纯水制成每1 mL含海藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、D-无水葡萄糖、D-木糖、D-果糖、D-核糖、蔗糖、乳糖、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖醛酸分别为49.48, 46.36, 40.48, 68.28, 51.40, 55.88, 49.00, 50.68, 50.80, 57.20, 48.04, 48.08 μg的混合对照品溶液,摇匀,采用0.22 μm水系过滤膜滤过,即得。

供试品溶液:取样品粉末(过40目筛)0.5 g,精密称定,置圆底烧瓶中,加去离子水50 mL,加热回流3 h,减压回收溶剂,残渣用去离子水溶解,转移至50 mL容量瓶中,加去离子水至刻度,摇匀,采用0.22 μm水系过滤膜滤过,取续滤液,即得。

### 2.3 方法学考察

专属性试验:不加洋常春藤样品,直接加入去离子水,按供试品溶液制备方法制备空白溶液,按2.1项下色谱条件进样检测。结果未发现干扰洋常春藤游离糖成分的色谱峰。离子色谱图见图1。

线性关系考察:取2.2项下混合对照品溶液,依次稀释0, 2, 2.5, 5, 10倍,配制系列质量浓度梯度的混合对照品溶液,按2.1项下色谱条件,精密吸取10 μL,注入离子色谱仪,记录色谱图,以峰面积积分值(Y)为纵坐标、对照品质量浓度(X, μg/mL)为横坐标绘制标

准曲线。结果见表3。

表3 各被测成分线性关系考察结果(n=5)

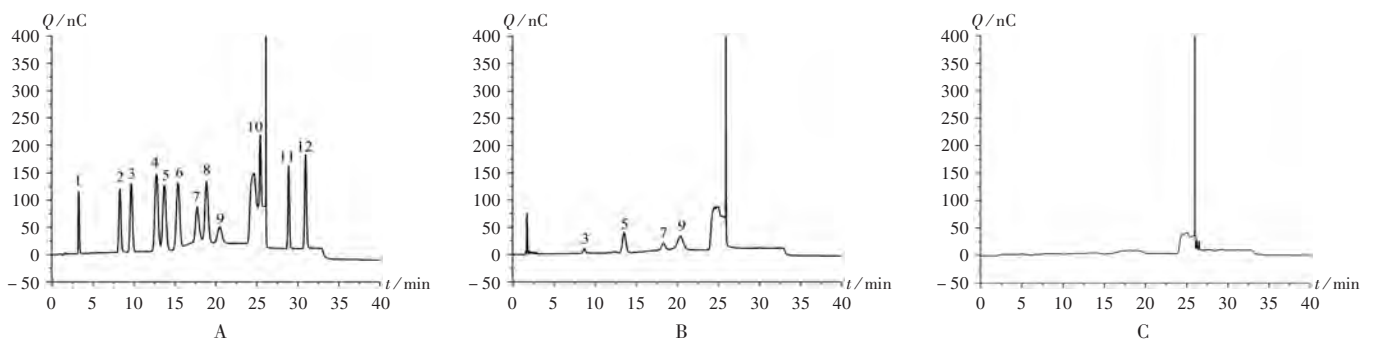
Tab.3 The linear relationship of each component(n=5)

成分	线性回归方程	线性范围(μg/mL)	r
海藻糖	$Y=0.5851X+3.3006$	4.95~49.48	0.9997
鼠李糖	$Y=1.4251X+1.4909$	4.64~46.36	0.9997
阿拉伯糖	$Y=2.0183X+1.9743$	4.05~40.48	0.9995
半乳糖	$Y=1.5727X+4.7188$	6.83~68.28	0.9990
D-无水葡萄糖	$Y=1.8919X+1.9768$	5.14~51.40	0.9997
D-木糖	$Y=2.0066X-0.8880$	5.59~55.88	0.9996
D-果糖	$Y=1.2918X-1.4844$	4.90~49.00	0.9997
D-核糖	$Y=1.9171X-0.1464$	5.07~50.68	0.9999
蔗糖	$Y=0.7960X-1.0022$	5.08~50.80	0.9997
乳糖	$Y=0.8912X+1.7893$	5.72~57.20	0.9996
D-半乳糖醛酸	$Y=1.3314X-0.3548$	4.80~48.04	0.9997
D-葡萄糖醛酸	$Y=1.9388X-0.5721$	4.81~48.08	0.9999

精密度试验:精密吸取2.2项下混合对照品溶液,按2.1项下色谱条件连续进样6次,测定。结果海藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、D-无水葡萄糖、D-木糖、D-果糖、D-核糖、蔗糖、乳糖、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖醛酸峰面积的RSD分别为2.66%, 2.81%, 2.12%, 1.98%, 2.98%, 2.87%, 2.58%, 2.68%, 2.61%, 2.86%, 1.64%, 1.36% (n=6),表明仪器精密程度良好。

重复性试验:取样品(批号JS160731-1叶),按2.2项下方法制备供试品溶液,按2.1项下色谱条件分别进样6次。结果阿拉伯糖、D-无水葡萄糖、D-果糖、蔗糖峰面积的RSD分别为2.12%, 2.98%, 2.58%, 2.61% (n=6),表明方法重复性良好。

加样回收试验:取同一批(批号JS160731-1叶)样



1. 海藻糖 2. 鼠李糖 3. 阿拉伯糖 4. 半乳糖 5. D-葡萄糖 6. D-木糖 7. D-果糖 8. D-核糖 9. 蔗糖  
10. 乳糖 11. D-半乳糖醛酸 12. D-葡萄糖醛酸  
A. 混合对照品溶液 B. 供试品溶液 C. 空白溶液

图1 专属性试验离子色谱图

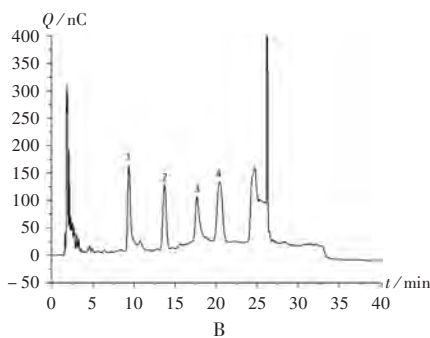
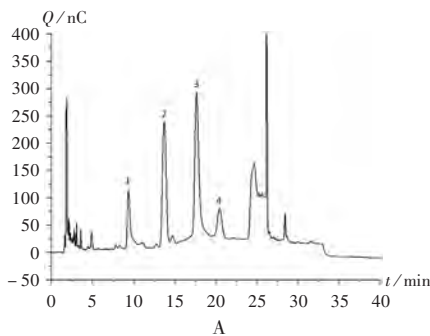
1. trehalose 2. rhamnose 3. arabinose 4. galactose 5. D-glucose 6. D-xylose 7. D-fructose 8. D-ribose 9. sucrose 10. lactose  
11. D-galacturonic acid 12. D-glucuronic acid  
A. Mixed reference solution B. Test solution C. Blank solution

Fig.1 Ion chromatograms for specificity test

表4 11批次洋常春藤药材中4种糖类成分含量测定结果(mg/g, n=2)  
Tab. 4 Results of content determination of four sugars in 11 batches of *Hedera helix*(mg/g, n=2)

序号	批号	阿拉伯糖		D-无水葡萄糖		D-果糖		蔗糖	
		茎	叶	茎	叶	茎	叶	茎	叶
1	JS160731-1	1.26	2.31	13.33	4.92	1.14	4.27	12.12	12.89
2	JS160731-2	1.84	4.43	5.07	4.33	4.39	4.68	8.98	5.48
3	JS160731-3	1.90	3.02	8.02	1.47	5.73	1.72	4.05	6.25
4	JS160802	1.63	3.50	11.95	6.09	8.04	2.56	1.99	5.72
5	JS160824-1	1.26	2.27	21.70	16.61	13.72	11.91	13.44	13.65
6	JS160824-2	1.16	2.37	9.09	8.27	5.33	4.92	27.00	26.11
7	SD160809	0.55	0.73	6.36	1.34	3.68	3.83	16.35	23.67
8	SH160613	3.84	3.25	11.39	1.45	3.95	2.03	4.16	5.46
9	JS160802	1.38	2.15	1.08	3.88	1.55	4.72	8.99	12.84
10	GD160811	1.02	4.09	5.03	7.22	3.45	3.25	33.23	23.67
11	GD160824	0.67	3.45	5.43	10.69	2.69	6.53	25.05	28.98

品6份,每份0.25g,精密称定,置圆底烧瓶中,精密加入对照品贮备液(阿拉伯糖、D-无水葡萄糖、D-果糖和蔗糖对照品含量分别为0.6072,1.2850,1.1025,3.1750mg)适量,依法制备供试品溶液,精密吸取10μL注入离子色谱仪,按2.1项下色谱条件进样测定,用外标法计算回收率。结果阿拉伯糖、D-无水葡萄糖、D-果糖、蔗糖的平均回收率分别为99.21%,97.84%,97.32%,96.20%,RSD分别为3.46%,3.85%,2.94%,3.28%(n=6)。



1. 阿拉伯糖 2. D-无水葡萄糖 3. D-果糖 4. 蔗糖  
A. 茎 B. 叶

图2 样品含量测定离子色谱图

1. arabinose 2. D-glucose 3. D-fructose 4. sucrose  
A. Stem B. Leaf

Fig. 2 Ion chromatograms for content determination of samples

## 2.4 样品含量测定

取11批次洋常春藤干燥茎和叶,依法制备供试品溶液,过0.22μm水相滤膜,精密吸取10μL注入离子色谱仪,按2.1项下色谱条件进样测定2次,记录色谱图,用外标法计算样品含量。含量测定结果见表4,色谱图见图2。

## 2.5 样品含量分析

根据11批次洋常春藤药材中4种游离糖成分含量测定结果,按不同药用部位和不同产地分类汇总并计算4种游离糖成分含量,详见表5。可见,不同产地和部位(茎或叶)洋常春藤中的游离糖成分主要为阿拉伯糖、D-无水葡萄糖、D-果糖和蔗糖4种。不同部位比较显示,茎中D-无水葡萄糖和D-果糖含量均高于叶中,茎中阿拉伯糖和蔗糖含量均低于叶中;不同产地比较显示,上海产的阿拉伯糖含量最高,江苏产的D-无水葡萄糖和D-果糖含量最高,广东产的蔗糖含量最高;广东产洋常春藤(茎+叶)中4种游离糖成分总含量最高,平均总含量为82.23mg/g,蔗糖含量为67.46%,占比最高。

表5 不同产地和部位洋常春藤药材游离糖成分含量测定结果(mg/g)

分类		阿拉伯糖	D-无水葡萄糖	D-果糖	蔗糖
部位	茎+叶	4.37	14.97	9.46	29.10
	茎	1.50	8.95	4.88	14.12
	叶	2.87	6.02	4.58	14.97
产地	江苏	4.35	16.54	10.67	22.79
	山东	1.28	7.70	7.51	40.02
	上海	7.09	12.84	5.98	9.62
	广东	4.62	14.19	7.96	55.47

### 3 讨论

糖类的检测方法主要有气相色谱法<sup>[13-14]</sup>、高效毛细管电泳法<sup>[15-16]</sup>、高效液相色谱法<sup>[17]</sup>等。气相色谱法要求待测物在分析条件下可气化,且不分解;高效毛细管电泳法和高效液相色谱法均采用紫外检测器,要求待测物有紫外吸收。由于糖类大都无足够的挥发性,且无吸光基团,故上述3种分析方法都需先对其进行衍生化,操作烦琐,结果重复性差,不利于开展大批量精准检测。虽然高效液相色谱法也可以采用示差检测器,无需衍生化,但其灵敏度较低,且受温度和流动相影响较大,稳定性和重复性都欠佳。

本研究中采用梯度洗脱程序,通过梯度淋洗改变流动相的pH,使各成分有效分离。糖类为pKa在12~14的弱酸,其中半乳糖、果糖、木糖、葡萄糖的pKa值分别为12.35,12.03,12.15,12.28,在高pH淋洗液中均会部分或全部以阴离子形式存在,可在阴离子交换柱上保留并得到分离。当100 mol/L NaOH溶液(流动相C)比例大于25%时,保留时间缩短,由于半乳糖和葡萄糖属差相异构体和位置异构体,半乳糖和葡萄糖不能完全分离;低于15%时,半乳糖和葡萄糖可完全分离;低于25%时,核糖和蔗糖不能完全分离。试验发现,如果初始时间段流动相C比例过低,后续提高流动相C比例,核糖和蔗糖仍不能完全分离。为使各成分达到分离要求,故设置初始流动相C比例为18%,并梯度提高至30%;糖醛酸类物质保留相对较长,醋酸根具有比氢氧根更强的淋洗能力,故提高醋酸根浓度洗脱出糖醛酸类物质。最终确定梯度洗脱条件。

本研究中比较了洋常春藤药材供试品溶液制备中不同药材粒径(过10,20,40,60目筛)、不同料液比(1:50,1:100,1:200,  $m/V$ )和不同加热回流提取时间(1,2,3,4 h)的提取效果,最终确定最佳提取条件。

试验结果显示,洋常春藤茎和叶中均含有4种游离糖成分(阿拉伯糖、D-无水葡萄糖、D-果糖和蔗糖)。茎和叶部位的4种游离糖中,蔗糖和D-无水葡萄糖含量较高,其次为D-果糖,阿拉伯糖含量最低;不同产地洋常春藤中,各游离糖成分的含量有明显差异。

综上所述,本方法可全面评价洋常春藤中发挥作用的药效物质及对其中有效提取部位进行质量控制,分离能力强,灵敏度高,可为后续用药部位和药用成分内控指标的建立提供参考。

### 参考文献

[1] European Pharmacopoeia Commission. EP 8. 0[M]. Strasbourg: Eu-

ropean Directorate Health Care, 2016: 1282.

- [2] Committee on Herbal Medicinal Products. Assessment report on *Hedera helix* L. folium[M]. Lisbon: European Medicines Agency, 2011: 4.
- [3] 孙化鹏,阮琴妹,曹雄军,等. 洋常春藤皂苷类化合物代谢累积规律研究[J]. 中草药, 2016, 47(16): 2916-2920.
- [4] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草(第15卷)[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1999: 796.
- [5] 张欣,刘家鑫,李琳,等. 常春藤化学成分及药理作用的研究现状[J]. 世界中医药, 2016, 11(B6): 1980-1981.
- [6] 杨林军,谢彦云,李志锋,等. UPLC/Q-TOF-MS/MS分析中华常春藤中的化学成分[J]. 中草药, 2016, 47(4): 566-572.
- [7] 刘家鑫,陈明明,杨雪艳,等. 常春藤药材HPLC指纹图谱及8种成分的含量测定方法[J]. 沈阳药科大学学报, 2017, 34(11): 979-986.
- [8] 何彦,邵秀雯,周靓静. 离子色谱法在食品检测中的应用研究[J]. 现代食品, 2019(12): 85-86.
- [9] CATALDI TRI, ANGELOTTI M, BIANCO G. Determination of mono- and disaccharides in milk and milk products by high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2003, 485(1): 43-49.
- [10] CAI Y, LIU J, SHI Y, et al. Determination of several sugars in serum by high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection[J]. *Journal of Chromatography A*, 2005, 1085(1): 98-103.
- [11] 王彩媚,宋粉云. 离子色谱法同时测定阿拉伯胶水解后的单糖和糖醛酸[J]. 今日药学, 2018, 28(11): 727-729.
- [12] 王森,靳贵英,王彩媚. 离子色谱-积分脉冲安培检测法测定 $\beta$ -环糊精中的有关物质[J]. 中国药业, 2017, 26(4): 27-31.
- [13] 李波,芦菲,田素玉. 气相色谱法同时测定多糖中的中性糖、糖醛酸、氨基糖和唾液酸[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(9): 208-211.
- [14] RUIZ-MATUTE AI, HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ O, RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ S, et al. Derivatization of carbohydrates for GC and GC-MS analyses[J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2010, 879(17-18): 1226-1240.
- [15] MITTERMAYR S, BONES J, GUTTMAN A. Unraveling the glyco-puzzle: Glycan structure identification by capillary electrophoresis[J]. *Analytical Chemistry*, 2013, 85(9): 4228-4238.
- [16] 徐桂云,陈汝贤,常理文. 用毛细管气相色谱法测定多糖中单糖的组成[J]. 分析测试学报, 2000, 19(3): 71-73.
- [17] HROBO OVÁ K, LEHOTAY J, IŽMÁRIK J, et al. HPLC determination of saccharides after pre-column derivatization in honey samples[J]. *Ceska Slov Farm*, 2013, 62(3): 136-143.

(收稿日期:2020-04-01;修回日期:2020-07-26)