

文章编号:1001-6880(2018)6-1030-07

# 黄金分割法结合动态设计优选盐黄柏提取工艺

程中琴<sup>1</sup>,施崇精<sup>1</sup>,刘小妹<sup>1</sup>,王姗姗<sup>1</sup>,盛 蓉<sup>2\*</sup>,袁强华<sup>2</sup>,宋 英<sup>2</sup><sup>1</sup>成都中医药大学药学院,成都 610075;<sup>2</sup>成都中医药大学附属医院,成都 610072

**摘要:**采用黄金分割法结合正交设计以及动态设计对盐黄柏提取工艺参数进行优选。以 HPLC 法测定盐酸小檗碱、木兰花碱、盐酸小檗红碱、黄柏碱、巴马汀、药根碱得率,黄金分割法初选正交设计时间范围,单因素设计优选溶剂比,基于黄金分割法及单因素设计采用正交设计优选提取溶剂比、提取次数、提取时间。以正交设计优选方案为基础,用动态设计进一步优化盐黄柏的提取工艺参数。结果表明,盐黄柏的优选提取工艺为:提取次数:2 次;容积比:1:25;超声时间:第一次超声 60 min,第二次超声 20 min;盐酸小檗碱、木兰花碱、盐酸小檗红碱、黄柏碱、巴马汀、药根碱提取率分别为 6.51,1.48,0.67,0.62,5.01,73.22 mg/g。因此,黄金分割法结合正交设计、动态设计对盐黄柏提取工艺参数进行优选基本可行,可作为中药提取工艺的筛选方法之一。

**关键词:**盐黄柏;黄金分割法;动态设计;生物碱;提取工艺

中图分类号:R932;Q946.8

文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2018.6.019

## Application of Golden Section Method with Dynamic Optimization in Extraction Process Optimization of Salt Cortex Phellodendri

CHENG Zhong-qin<sup>1</sup>, SHI Chong-jing<sup>1</sup>, LIU Xiao-mei<sup>1</sup>, WANG Shan-shan<sup>1</sup>,  
SHENG Rong<sup>2\*</sup>, YUAN Qiang-hua<sup>2</sup>, SONG Ying<sup>2</sup><sup>1</sup>Chengdu University of Traditional Chinese Medicine (TCM) Chengdu 61007, China;<sup>2</sup>The Affiliated Hospital of Chengdu University of TCM Chengdu 610072, China

**Abstract:** To optimize extraction process of alkaloids in Salt Cortex Phellodendri by Golden section method with Dynamic Optimization, HPLC was employed to determine six alkaloids in *Cortex Phellodendri*, including berberine hydrochloride, magnoflorine berberubine, Phellodendrine, Pakistan, jatrorrhizine, Based on the scope detected by the single factor analysis and Golden section method, using Orthogonal experiment to optimize the ratio of material and solvent, extracting time and frequency. Then Dynamic design is used to further optimize the extraction process. Results that Optimized Golden section method with Dynamic Optimization was as following: Ultrasonic extracted twice with 25 times the amount of HCl-CH<sub>3</sub>OH (1:100) for extracting time of 60 mins and 10 mins; The extraction rate of berberine hydrochloride, magnoflorine berberubine, Phellodendrine, Pakistan, jatrorrhizine are 6.51, 1.48, 0.67, 0.62, 5.01, 73.22 mg/g. So, Golden section method with Dynamic Optimization can be used to optimize the extraction process of Salt Cortex Phellodendri. it can be used as one of the screening methods of traditional Chinese medicine extraction process.

**Key words:** *Salt Cortex Phellodendri*; golden section method; dynamic optimization; alkaloids; extraction process.

活性成分提取是中药生产的一个关键步骤。药材活性成分的测定是评价药材质量的主要指标,如何有效的提取活性成分直接关系到中药材的质量鉴定<sup>[1]</sup>。优选的提取工艺,不仅要求能够保证尽可能高的提取得率,还要求有较好的提取效率<sup>[2]</sup>。目前常用的提取工艺设计包括正交设计、均匀设计、响应面法等,其中正交设计应用最为广泛<sup>[3]</sup>。但在中药

提取工艺正交试验设计中考虑的重点是成分提取得率,而忽略对提取时间的优化,即提取效率的优化<sup>[4]</sup>。黄金分割法和提取工艺动态优化是两种能够对提取时间优化的设计,从而在保证提取得率的基础上优化提取效率。黄金分割法由古希腊学者毕达哥拉斯提出,1953 年美国 J. 基弗证明:不断用黄金分割比例即  $0.618$ ( $\sqrt{5}-1/2$  的近似值)确定试验范围内试验点的方法,能够最快地逼近最佳状态。该方法在优选法中被称作 0.618 法<sup>[5]</sup>。本实验初期采用了黄金分割法确定正交设计时间范围,减少了

实验次数, 提高实验效率, 优选正交设计实验范围。此外, 提取工艺动态优化方法能同时考察成分提取得率和工艺提取效率。该工艺所得提取物与正交试验所得提取物基本一致, 但提取时间能显著降低, 该方法在三七<sup>[6]</sup>、牛蒡子<sup>[7]</sup>等提取工艺优化中已得到很好的应用。预实验发现盐黄柏提取时间为2 h, 提取时间较长, 故本实验拟采用动态设计优化提取工艺, 减短提取时间, 提高提取效率。

## 1 仪器与试药

### 1.1 仪器

1260-II型HPLC仪, 包括四元泵、DAD检测器、在线脱气装置、Openl AB工作站(美国Agilent公司); BP211D型十万分之一电子分析天平(瑞士Mettler-Toledo公司); AS20500BD型超声清洁仪(天津奥特赛恩斯仪器有限公司, 功率:250 W, 频率:50 kHz); CXP-500A型高速多功能粉碎机(上海市晨喜制药机械有限公司)。

### 1.2 试药

对照品盐酸小檗碱(批号:15401-69-1, 纯度98.0%), 盐酸小檗红碱(批号633-65-8, 纯度为98%), 巴马汀(10605-02-4, 纯度98.0%), 木兰花碱(批号:2141-9-5, 纯度98.0%), 均来源于成都植标化纯生物技术有限公司; 盐酸黄柏碱(批号:111895-201504, 纯度94.9%), 盐酸药根碱(批号:110733-201609, 纯度89.5%), 均购自中国食品药品检定研究院; 药材(来源:成都康美药业生产有限公司; 批号:170501461), 经成都中医药大学附属医院盛蓉主任药师鉴定均为芸香科植物黄皮树的干燥树皮。乙腈、甲醇(美国天地公司)为色谱纯, 水为超纯水, 其余试剂为分析纯。

## 2 分析方法与结果

表2 提取方式及提取溶剂考察(mg/g)  
Table 2 Extraction methods and solvent (mg/g)

提取溶剂 Solvent	提取方式 Methods	黄柏碱 Phellodendrine	木兰花碱 Magnoflorine	药根碱 Jatrorrhizine	盐酸小檗红碱 Berberrubine	巴马汀 Pakistan	盐酸小檗碱 Berberine	生物碱 Alkaloids	平均值 AVG
甲醇 Carbinol	超声 Ultrasonic	2.3529	0.5601	0.2024	0.1691	1.2803	30.4301	34.9949	34.9667
		2.2609	0.5573	0.2051	0.1702	1.2799	30.4300	34.9034	
		2.3638	0.5589	0.2068	0.1706	1.2807	30.4209	35.0017	
	回流 Reflux	2.6819	0.6298	0.2401	0.1777	1.4470	34.1599	39.3364	39.2975
		2.7001	0.6401	0.2369	0.1780	1.4550	34.0001	39.2102	

### 2.1 生物碱含量测定方法

#### 2.1.1 混合对照品溶液的制备

精密称取盐酸小檗碱、木兰花碱、盐酸小檗红碱、黄柏碱、巴马汀、药根碱适量, 置10 mL量瓶中, 用甲醇溶解并稀释至刻度, 摆匀, 分别制成含盐酸小檗碱254.6 μg/mL、木兰花碱108.8 μg/mL、盐酸小檗红碱75.1 μg/mL、黄柏碱96.6 μg/mL、巴马汀101.0 μg/mL、药根碱110.9 μg/mL混合对照品贮备液。置4 °C的冰箱中保存备用。

#### 2.1.2 HPLC色谱条件

色谱柱: Inertsil ODS-35 μm 4.6 × 250 mm; 流相: 乙腈 A-0.1% 磷酸 B(15:85, PH=2.10), 进行梯度洗脱(见表1); 柱温: 30 °C; 流速: 1.0 mL/min; 进样量: 5 μL; 检测波长: 265 nm。

表1 梯度洗脱表

Table 1 Gradient elution table

时间 Time (min)	乙腈 A Acetonitrile A (%)	0.1% 磷酸 B 0.1% Phosphoricacid B (%)
0	22	78
18	23	77
23	29	71
55	31	69

### 2.2 提取方式及提取溶剂考察

精密称取盐黄柏药材粉末(过四号筛)2.0 g, 置100 mL锥形瓶中, 共18份, 根据相关文献报道<sup>[8,9]</sup>, 分别加入50 mL甲醇、盐酸:甲醇(1:100)、盐酸:75%乙醇(1:100), 称定重量, 分别超声处理2 h或回流2 h; 冷却后加入甲醇、盐酸:甲醇(1:100)、盐酸:75%乙醇(1:100)补足失去的重量, 静置, 取上清液过0.45 μm滤膜, 即得供试品溶液。按2.1.2项下的色谱条件进行测定, 生物碱得率见表2。

续表2(Continued Tab. 2)

提取溶剂 Solvent	提取方式 Methods	黄柏碱 Phellodendrine	木兰花碱 Magnoflorine	药根碱 Jatrorrhizine	盐酸小檗红碱 Berberrubine	巴马汀 Pakistan	盐酸小檗碱 Berberine	生物碱 Alkaloids	平均值 AVG
HCl-甲醇 HCl-Carbinol (1:100)	超声 Ultrasonic	2.6827	0.6331	0.2372	0.1787	1.4463	34.1678	39.3458	
		3.3721	0.8751	0.2690	0.2725	1.5916	42.5490	48.9293	48.9177
		3.3733	0.8696	0.2701	0.2739	1.5894	42.4988	48.8751	
	回流 Reflux	3.3736	0.8783	0.2683	0.2746	1.5922	42.5617	48.9487	
		3.4897	0.9101	0.2901	0.2894	1.6431	43.3492	49.9716	49.9898
		3.5001	0.9089	0.2903	0.2903	1.6329	43.3701	49.9926	
HCl-75%乙醇 HCl-75% Alcohol (1:100)	超声 Ultrasonic	3.4934	0.9147	0.2874	0.2891	1.6529	43.3678	50.0053	
		2.9694	0.7640	0.2501	0.2381	1.4999	37.4012	43.1227	43.0771
		2.9566	0.7629	0.2481	0.2400	1.5039	37.3370	43.0485	
	回流 Reflux	2.9695	0.7635	0.2478	0.2379	1.5046	37.3368	43.0601	
		3.4744	0.8934	0.2931	0.2901	1.6846	43.1802	49.8158	49.8164
		3.4802	0.8929	0.2936	0.2889	1.6851	43.1791	49.8198	
		3.4737	0.8931	0.2935	0.2893	1.6845	43.1795	49.8136	

由表2可以看出,提取溶剂以HCl-甲醇(1:100)为最佳,在该提取溶剂中,超声提取和回流提取差异较小,考虑到实验的简便性,可行性,最终选择HCl-甲醇(1:100),超声提取为盐黄柏生物碱提取条件。

### 2.3 单因素提取溶剂比考察

精密称取盐黄柏药材粉末(过四号筛)1.0 g,置

100 mL 锥形瓶中,共15份,分别加入20、25、30、35、40 mL 盐酸:甲醇(1:100),称定重量,分别超声处理1 h;冷却后加入盐酸:甲醇(1:100)补足失去的重量,静置,取上清液过0.45 μm 滤膜,即得供试品溶液。按2.1.2项下的色谱条件进行测定,结果见表3。

表3 单因素容积比考察(mg/g)  
Table 3 Volume ratio investigated by Single factor(mg/g)

溶剂体积 Solvent volume (mL)	黄柏碱 Phellodendrine	木兰花碱 Magnoflorine	药根碱 Jatrorrhizine	小檗红碱 Berberrubine	巴马汀 Pakistan	盐酸小檗碱 Berberine
20	3.0510	0.8801	0.2777	0.2581	1.6981	44.1601
	3.0490	0.8790	0.2781	0.2574	1.6899	44.1581
	3.0420	0.8791	0.2779	0.2578	1.6970	44.1572
	3.1668	0.8933	0.2796	0.2601	1.6787	44.9998
	3.1670	0.8934	0.2801	0.2599	1.6801	45.0004
	3.1673	0.8944	0.2794	0.2603	1.6790	45.0104
25	3.0900	0.8901	0.2761	0.2562	1.6899	44.5101
	3.0796	0.8839	0.2801	0.2564	1.7000	44.5068
	3.0859	0.8847	0.2761	0.2563	1.6912	44.5077
	3.1670	0.8949	0.2741	0.2594	1.6431	44.7489
	3.1654	0.8961	0.2730	0.2600	1.6448	44.7396
	3.1660	0.8957	0.2738	0.2602	1.6450	44.7593
35	3.1998	0.9098	0.2789	0.2647	1.6598	45.5287
	3.2401	0.9108	0.2804	0.2651	1.6687	45.4998
	3.2402	0.9119	0.2794	0.2652	1.6693	45.5309

## 2.4 黄金分割法优选超声超声时间

研究以黄柏碱、木兰花碱、药根碱、盐酸小檗红碱、巴马汀、盐酸小檗碱 6 种生物碱得率为考察指标, 对超声时间范围进行筛选。考察从 0~120 min 的 0.618 及 0.382(1~0.618), 分别为 75 min 及 45 min, 结果表明较优点为 75 min, 再选取含量较高的点 75 min 向左取 0.618(75 min 与 45 min 的 0.618),

为 63 min, 向右取 0.618 即(75 min 与 120 min 的 0.618), 为 102 min. 黄金分割示意图如 1, 结果见表 4。

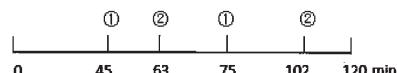


图 1 黄金分割设计示意图

Fig. 1 Diagrammatic sketch of Golden section method

表 4 黄金分割法考察盐黄柏超声时间 (mg/g)

Table 4 Extracting time investigated by Golden section method (mg/g)

超声时间 Ultrasonic time (min)	黄柏碱 Phellodendrine	木兰花碱 Magnoflorine	药根碱 Jatrorrhizine	盐酸小檗红碱 Berberrubine	巴马汀 Pakistan	盐酸小檗碱 Berberine
45	2.12	0.80	0.27	0.24	2.10	31.07
63	2.01	0.68	0.27	0.24	2.09	33.54
75	2.69	0.88	0.31	0.26	2.49	36.57
102	2.97	0.79	0.27	0.26	2.12	34.42

## 2.5 正交设计筛选提取工艺

黄金分割及单因素设计的基础上, 采用正交设计对提取次数、提取时间、容积比进行考察。称取盐黄柏药材粉末(过四号筛)1 g(共 9 份), 因子水平见

表 5。取续滤液, 微孔滤膜 0.45 μm 滤过, 按 2.1.2 项下的色谱条件进行测定, 记录峰面积, 计算含量, 结果见表 6。

表 5 因素水平表

Table 5 The factors and levels graph

水平 Level	因子 Factors		
	溶剂量 Solvent volume (mL)	提取次数 Extraction times (次)	提取时间 Extraction time (min)
1	20	1	60
2	30	2	80
3	40	3	100

表 6 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 正交设计结果

Table 6 The result of L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) Orthogonal experiment

试验号 Experiment number					生物碱总量 Alkaloids (mg/g)
	因素 Factors		1	2	
1	A	1.00	1.00	1.00	29.91
2	B	1.00	2.00	2.00	35.35
3	C	1.00	3.00	3.00	37.70
4	D	2.00	1.00	2.00	51.82
5		2.00	2.00	3.00	60.54
6		2.00	3.00	1.00	58.93
7		3.00	1.00	3.00	76.67
8		3.00	2.00	1.00	88.96
9		3.00	3.00	2.00	89.07

表 7 方差分析表

Table 7 Analysis of variance

方差来源 Source of variance	A	B	C
离均差平方和 Sum of squares of mean deviation	3849.66	160.63	1.39
自由度 Degrees of freedom	2.00	2.00	2.00
均方 Mean square	1924.83	80.31	0.69
F 值 F-test	1026.57	42.83	0.37

注:  $F_{0.05}(1, 2) = 19$ 。Note:  $F_{0.05}(1, 2) = 19$ .

由表 6、表 7 数据可知, 影响盐黄柏提取得率因素为 A > B > C, 即容积比 > 提取次数 > 提取时间, 但考虑到除盐酸小檗碱外其余五种生物碱的含量较少, 稀释倍数太大, 峰面积较小, 影响试验的准确性, 结合预实验, 最终确定 1 g 盐黄柏加入 25 mL 溶剂。此外, 提取 2 次后各成分含量均急剧减少, 三次提取基本不含生物碱成分, 最终确立提取工艺为 1 g 药材粉末加入 25 mL 提取溶剂, 提取 2 次, 每次 60 min。

## 2.6 动态过程提取工艺优化

2.6.1 动态过程考察 称取盐黄柏 20 g 细粉(过四号筛), 加入 5 倍量盐酸: 甲醇(1:100)混合溶液 100 mL, 超声提取 2 h, 分别在 0、10、20、30、40、50、60、70、80、90、100、110、120 min, 量取提取液 5 mL, 每

次补足相同体积的盐酸: 甲醇(1:100)混合溶液。120 min 后, 过滤提取液, 向药渣中再加入盐酸: 甲醇(1:100)混合溶液 100 mL, 按照第 1 次提取过程量取提取液。第 1 次提取过程中采集的提取液, 冷却, 取上清液, 精密量取 5 mL 置 20 mL 量瓶中, 加盐酸: 甲醇(1:100)混合溶液至刻度, 微孔滤膜 0.45 μm 滤过, 取续滤液, 测定含量(见表 8)。第 2 次提取过程中采集的提取液, 冷却, 离心, 取上清液, 精密量取 5 mL 置 20 mL 量瓶中, 加盐酸: 甲醇(1:100)混合溶液至刻度, 微孔滤膜 0.45 μm 滤过, 取续滤液, 测定含量, 第二次提取发现, 除盐酸小檗碱外, 5 种生物碱含量均较低, 可忽略不计, 故对第二次的考察主要以盐酸小檗碱为指标成分(见表 9)。

表 8 盐黄柏第 1 次提取各时间点指标性成分的含量变化率(mg/g)

Table 8 First time to extract constituent of indexes at each time point of peak area change rate(mg/g)

时间 (min)	黄柏碱 Phellodendrine		木兰花碱 Magnoflorine		药根碱 Jatrorrhizine		盐酸小檗红碱 Berberubine		巴马汀 Pakistan		盐酸小檗碱 Berberine	
	含量 Content (mg/g)	变化率 Rate of change (%)										
0	1.80	-	0.50	-	0.14	-	0.17	-	1.25	-	27.36	-
10	2.42	25.73	0.55	9.60	0.18	27.60	0.19	10.82	1.56	24.60	31.64	15.63
20	2.51	3.59	0.58	5.45	0.18	0.68	0.20	4.60	1.78	14.03	35.96	13.66
30	2.58	2.71	0.59	1.72	0.19	2.99	0.24	21.36	2.02	13.21	35.33	-1.75
40	2.67	3.37	0.64	8.22	0.19	2.62	0.22	-7.03	1.65	-18.36	32.73	-7.36
50	2.76	3.26	0.65	1.15	0.20	1.19	0.23	2.77	1.58	-3.88	33.86	3.45
60	2.84	2.82	0.65	1.07	0.21	7.04	0.24	4.35	1.50	-5.32	32.43	-4.23
70	2.86	0.70	0.67	2.92	0.21	-2.28	0.23	-4.15	1.86	23.90	32.97	1.68
80	2.71	-5.54	0.67	0.47	0.21	0.17	0.23	-1.24	1.79	-3.61	29.94	-9.18
90	2.64	-2.65	0.70	3.23	0.21	2.53	0.24	5.64	1.64	-8.37	26.35	-12.01
100	2.61	-1.15	0.70	0.60	0.21	0.59	0.23	-4.17	1.62	-1.07	28.89	9.65
110	2.47	-5.67	0.73	3.72	0.22	4.80	0.24	4.35	1.20	-26.02	25.81	-10.65
120	2.54	2.76	0.76	4.54	0.23	2.41	0.22	-8.33	1.17	-2.54	25.13	-2.64

表 9 盐黄柏第 2 次提取各时间点盐酸小檗碱含量变化率( mg/g)

Table 9 Second time to extract constituent of indexes at each time point of peak area change rate( mg/g)

时间 Time(min)	0	10	20	30	40	50	60
含量 Content( mg/g)	3.37	6.97	6.69	6.51	6.67	6.71	6.75
变化率 Rate of change( %)	-	106.51	-3.97	-2.66	2.38	0.66	0.60

提取工艺动态优化上述结果显示, 第 1 次提取在 60 min 后, 浓度变化基本小于 3%; 第 2 次提取在 10 min 后, 浓度变化基本小于 3%。因而确定第 1 次提取的稳态期在 60 min, 第 2 次提取的稳态期在 10 min。

## 2.7 2 种优化工艺提取结果比较

2.7.1 动态过程优化工艺 称取盐黄柏 1 g(过四号筛), 加入盐酸: 甲醇(1:100)混合溶液 25 mL, 超声

提取 2 次, 第 1 次 60 min, 第 2 次 10 min, 趁热过滤, 合并两次滤液, 水浴锅蒸发, 定容至 25 mL, 微孔滤膜 0.45 μm 滤过, 取续滤液, 测定含量(见表 10)。

### 2.7.2 黄金分割结合正交设计优化工艺

称取盐黄柏 1 g(过四号筛), 加入盐酸: 甲醇(1:100)混合溶液 25 mL, 超声提取 2 次, 每次 60 min, 合并两次滤液, 水浴锅蒸发, 定容至 25 mL 微孔滤膜 0.45 μm 滤过, 取续滤液, 测定含量(见表 10)。

表 10 2 种盐黄柏提取工艺中指标成分含量比较

Table 10 Comparison of contents of markers by two extraction process

指标成分 Index component (mg/g)	正交设计 The orthogonal design	动态设计 The dynamic design	RSD (%)
黄柏碱 Phellodendrine	6.42	6.51	0.98
木兰花碱 Magnoflorine	1.59	1.48	5.07
药根碱 Jatrorrhizine	0.69	0.67	2.08
盐酸小檗红碱 Berberrubine	0.59	0.62	3.51
巴马汀 Pakistan	4.87	5.01	2.00
盐酸小檗碱 Berberine	74.21	73.22	0.95

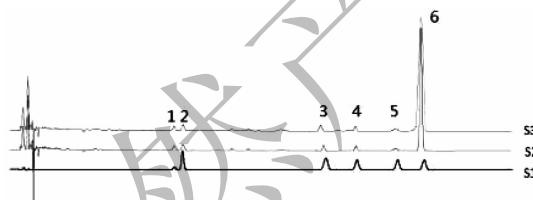


图 2 不同提取工艺的 HPLC

Fig. 2 HPLC chromatograms of different extraction process  
注:S1 对照品; S2 正交工艺; S3 动态提取工艺。

1 黄柏碱; 2 木兰花碱; 3 药根碱; 4 盐酸小檗红碱; 5 巴马汀; 6 盐酸小檗碱。

Note: S1 Standards; S2 Orthogonal; S3 Dynamic design.

1 Phellodendrine. 2 Magnoflorine. 3 Jatrorrhizine. 4 Berberrubine. 5 Pakistan. 6 Berberine.

表 10 表明, 两种工艺提取得率无显著差异。将上述色谱数据导入《中药色谱指纹图谱相似度评价系统》2008 A 版进行相似度分析, 见图 2。结果显示

2 种工艺提取的色谱图相似度 100%, 表明正交提取工艺与动态优化提取工艺的化学成分基本一致; 采用单相电子式电能表测量电量, 对节省的电量估算见表 11, 显示动态优化工比正交提取工艺节约电量 68%。

表 11 2 种盐黄柏提取工艺的参数比较

Table 11 Comparison of parameters of two extraction process

提取工艺 Extraction process	提取时间 Extraction time (min)	耗电量 Power consumption (kW·h <sup>-1</sup> )
正交提取 Orthogonal	120	1.5
动态优化 Dynamic design	70	0.82
节约 Conservation	50	0.68

## 3 讨论

本实验在实验初期采用黄金分割法确定正交实

验的时间范围,减少了实验次数,增加实验的准确性。尝试将黄金分割法作为实验方法用于提取工艺参数范围的筛选。为筛选或优选试验提供了合理的水平范围,提高了实验精度。研究结果表明,黄金分割法用于实验范围筛选有一定的可行性。黄金分割法结合正交的优选,可对试验关键因素范围进行优选。在试验次数方面,黄金分割法仅用4次试验。不过黄金分割法的缺点为必须分段进行实验,需待第一次优选实验得出结果后才能进行第2次试验,但仍不失为工艺参数的筛选方法之一<sup>[9]</sup>。

研究还采用正交设计法对提取次数和溶剂倍量进行筛选,在黄金分割设计确立的时间范围内进行正交设计,优选盐黄柏提取工艺,针对正交设计注重提取得率,而忽略提取效率这一问题,本实验进一步采用动态提取设计对提取工艺参数优化,在保证盐黄柏提取得率的基础上,对提取效率进行改善,保证提取工艺的高效性、可行性。从正交设计提取工艺和动态优化工艺提取结果比较可知,2种提取工艺的6种指标成分基本一致,2种工艺液相色谱图相似度为100%,证明动态设计运用于盐黄柏提取工艺的优化稳定、可行。动态优化工艺较正交设计减少了50 min,减少了68%的耗电量,说明本工艺具有较优的经济价值。

## 参考文献

- 1 Wang DZ (王东喆), Zhang J (章军), Zhang LY (张丽艳), et al. Study on optimization method of dynamic extraction process [J]. *China J Chin Mater Med* (中国中药杂志), 2012, 37: 1388-1391.
- 2 LU P (卢佩), Zhan JL (詹金良). Design and Application of Traditional Chinese medicine process control system [J].

- Microcomputer Information* (微计算机信息), 2007, 23 (5): 69.
- 3 Hu DD (胡道德), Gu L (顾磊), Yao HJ (姚慧娟). Research progress of extraction and optimization of traditional Chinese medicine [J]. *Hera Med* (医药导报), 2009, 28 (1): 80.
  - 4 Xiao H (肖慧), Wang YS (王跃生), Chen S (陈莎), et al. Application of dynamic optimization extraction method in extraction process of *Gastrodiae rhizoma* [J]. *Chin J Experimental Tradit Med Formulae* (中国实验方剂学杂志), 2014, 20 (20): 35-38.
  - 5 Liu JY (刘君焱), Wang YR (王玉蓉), Wang W (王伟), et al. Research on filtration of extraction techniques of *Salvia miltiorrhiza* Bge using golden section method [J]. *J Beijing Univer Tradit Chin Med* (北京中医药大学学报), 2008, 5: 340-343.
  - 6 Cha Q (查钦), Yang SL (杨世林), Zhang J (章军), et al. Application of dynamic optimization method for extraction time of *Arctii Fructus* in Vitamin C YinQiao Pian [J]. *Chin J Experimental Tradit Med Formulae* (中国实验方剂学杂志), 2014, 20 (21): 44-46.
  - 7 Wu SS (吴珊珊), Hu CJ (胡昌江), Lv FF (吕非非), et al. Determination of five alkaloids from *Phellodendri Cortex* by HPLC [J]. *Chin Tradit Pat Med* (中成药), 2010, 32: 443-447.
  - 8 Qi DL (祁东利), Jia TZ (贾天柱), Lian L (廉莲). Change of constituents in *Cortex Phellodendri* after processing [J]. *Chin Tradit Pat Med* (中成药), 2010, 32: 443-447.
  - 9 Liu JY (刘君焱), Wang YR (王玉蓉), Liu Y (刘益). Effects of different drying methods and conditions on anthraquinones and tannins in water extract from *Radixet Rhioma Rhei* [J]. *China J Chin Mater Med* (中国中药杂志), 2008, 88: 896-899.