

丹参减压提取工艺优化及技术适宜性研究

伍振峰^{1,2}, 陈伟良², 王雅琪², 王芳^{1,2}, 胡鹏翼², 韩丽^{1*}, 杨明^{1,2*}

1. 成都中医药大学, 四川 成都 610075

2. 江西中医药大学 现代中药制剂教育部重点实验室, 江西 南昌 330004

摘要: 目的 考察减压提取应用于丹参的合理性, 并优选丹参减压提取工艺参数。方法 应用 HPLC 法测定丹酚酸 B, 采用 Plackett-Burman 实验设计筛选丹参减压提取的主要影响因素, 考察各影响因素的显著性, 结合 Box-Behnken 效应面法优选丹酚酸 B 的减压提取最佳工艺参数。结果 丹参药材中丹酚酸 B 的减压提取的最佳工艺为提取之前避光浸泡 12 h, 提取时间 89 min、提取次数 1 次、料液比 1:11 和提取温度 80 ℃。丹酚酸 B 的提取率实验值平均可达 5.01%, 与预测值之间平均偏差率为-1.54%, 建立的数学模型和实验观察数据相符。与相同条件下常压提取比较, 所得丹酚酸 B 提取率提高了 28.87%, 浸膏得率降低了 9.01%。结论 Plackett-Burman 实验设计联用 Box-Behnken 效应面法优化丹参减压提取工艺是科学可行的, 该方法可靠、精确度高、重复性好、预测性强; 丹参药材中丹酚酸 B 适宜减压回流提取。

关键词: 丹参; 丹酚酸 B; 减压提取; Plackett-Burman 设计; Box-Behnken 设计; 效应面

中图分类号: R284.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2014)06-0795-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2014.06.011

Optimization of decompressing extraction for *Salvia mihiorrhiza* and its suitability of technology

WU Zhen-feng^{1,2}, CHEN Wei-liang², WANG Ya-qi², WANG Fang^{1,2}, HU Peng-yi², HAN Li¹, YANG Ming^{1,2}

1. Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610075, China

2. Key Laboratory of Modern Preparation of TCM, Ministry of Education, Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanchang 330004, China

Abstract: **Objective** To investigate the rationality of decompressing extraction on *Salvia mihiorrhiza* and to optimize the decompressing extraction process of salvianolic acid B from *S. mihiorrhiza*. **Methods** HPLC was applied to determining the content of salvianolic acid B. Plackett-Burman design, Box-Behnken design, and response surface analysis were used to screen the main factors and optimize the decompressing extraction process for salvianolic acid B. **Results** The optimal decompressing extraction process for salvianolic acid B is that *S. mihiorrhiza* was immersed in water for 12 h and kept in the dark before extracting, the optimal process parameters were as follows: extraction temperature 80 ℃, extraction time 89 min, and the ratio of liquid to solid 11. Under this condition, the experimental results for extracted content of salvianolic acid B was 5.01% on average. The deviation rate of predicted value was -1.54% on average. The establishing mathematical model was consistent with the experimental data. Compared with the atmospheric pressure extraction, the content of salvianolic acid B was increased by 28.87% and the dry extract yield was reduced by 9.01%. **Conclusion** Using Plackett-Burman design and Box-Behnken design method to optimize the decompressing extraction process of salvianolic acid B from *S. mihiorrhiza* is scientific and feasible. The method is reliable, accurate, reproducible, and predicted. The decompressing extraction is suitable for the extraction of salvianolic acid B.

Key words: *Salvia mihiorrhiza* Bunge; salvianolic acid B; decompressing extraction; Plackett-Burman design; Box-Behnken design; response surface

收稿日期: 2013-10-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81173565); 江西省教育厅项目(GJJ13603)

作者简介: 伍振峰(1982—), 男, 博士研究生, 研究方向为中药新剂型与新技术/中药制药装备研究。Tel: (0791)87118108 E-mail: zfwu527@163.com

*通信作者 韩丽, 女, 教授。E-mail: hanliy@163.com

杨明, 男, 教授, 博士生导师。Tel/Fax: (0791)87118658 E-mail: yangming16@126.com

丹参为唇形科鼠尾草属植物丹参 *Salvia mihiorrhiza* Bunge 的干燥根及根茎, 具有祛瘀止痛、活血通经、清心除烦之功。临床上用于治疗心绞痛、冠心病等心血管疾病。丹参主要含有水溶性和脂溶性 2 类成分。水溶性成分主要是酚酸类, 如丹酚酸 B、丹参素、原儿茶醛等, 其中丹酚酸 B 的量最高, 是丹参活血化瘀的有效成分, 具有保护脑损伤、心脏以及抗氧化等作用, 多作为工艺研究的指标性成分^[1]。有关研究报道丹参常压提取过程中丹酚酸 B 易受高温分解^[2], 故本实验对丹参药材中的丹酚酸 B 进行减压提取研究。因为常压下沸腾提取的温度为溶剂的沸点, 而减压提取过程中, 根据药材有效成分的热敏程度及溶解度与温度的关联性, 通过压力控制(抽真空), 能使系统处于与有效组分相对应的低温提取状态, 与常压提取相比, 可避免有效组分受高温破坏; 此外, 减压提取由于温度相对较低, 还能降低一些大分子杂质的溶出^[3-5]。

本实验以丹酚酸 B 的提取率为评价指标, 基于 Plackett-Burman 实验设计(PBD)筛选丹参药材中丹酚酸 B 减压提取的主要影响因素, 在此基础上, 采用 Box-Behnken 设计(BBD)效应面法优选丹酚酸 B 的减压提取工艺。同时对比常压提取与减压提取的提取效果。

1 仪器与材料

Agilent1260 高效液相色谱仪, 配 G1311C 泵, G13296B 型进样器, G1316A 型柱温箱, G1314B 型紫外检测器, LC 系统化学工作站, 美国 Agilent 公司; ZRS—8G 分析天平(赛多利斯科学仪器北京有限公司); KQ—250VDB 型双频数显超声机(昆山超声仪器公司); KL—UP—IV—5 型纯水机(台湾艾柯公司); HH—6 数显恒温水浴锅(国华电器有限公司); DLSB 低温冷却液循环泵(郑州长城科工贸有限公司); BUCHI B—491 数显恒温水浴锅、V—700 真空泵、V—850 真空度控制器(江西鼎技科学仪器有限公司); SHB—III 循环水式多用真空泵(郑州长城科工贸有限公司); GZX—9140 MBE 数显鼓风干燥箱(上海博讯实业有限公司医疗设备厂); KDM 型控温电热套(鄞城华鲁电热仪器有限公司)。

药材丹参 *Salvia mihiorrhiza* Bunge(产地山西, 安徽亳州中信中药饮片厂, 批号 201304), 经江西中医药大学药学院杨明教授鉴定, 符合《中国药典》2010 年版一部丹参项下规定, 丹酚酸 B(购于中

国食品药品检定研究院, 批号 111562-201111), 甲醇、乙腈均为色谱纯(美国 Tedia 试剂公司), 甲酸为分析纯(西陇化工股份有限公司), 水为双蒸水(自制)。

2 方法与结果

2.1 丹酚酸 B 测定方法的建立

2.1.1 色谱条件 依利特 Hypersil ODS2 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相为甲醇-乙腈-甲酸-水(20:20:1:59); 检测波长 286 nm; 柱温 25 °C; 体积流量 1.0 mL/min; 进样量 20 μL。色谱图见图 1。

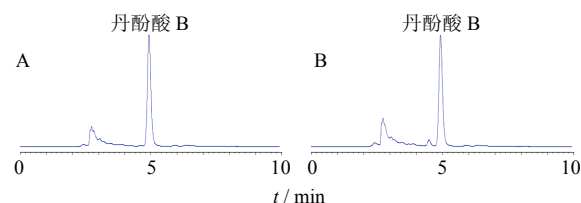


图1 丹酚酸 B 对照品 (A) 和丹参供试品溶液 (B) 的 HPLC 图

Fig. 1 HPLC of salviannic acid B reference substance (A) and *S. mihiorrhiza* sample (B)

2.1.2 对照品溶液的制备 精密称取丹酚酸 B 对照品 14.55 mg, 用甲醇溶解定容至 25 mL 棕色量瓶, 摇匀, 配成 582.0 μg/mL 对照品母液, 通过用甲醇依次稀释一倍定容至 5 mL 棕色量瓶, 得 9.094、18.19、36.38、72.75、145.5、291.0 μg/mL 共 6 个质量浓度对照品溶液。

2.1.3 供试品溶液的制备 按不同工艺条件, 分别称取丹参 20 g 进行回流提取, 提取液用双层纱布(200 目)滤过, 滤液用水定容到 250 mL 量瓶, 摇匀, 精密吸取 2.5 mL 的提取液, 置 100 mL 棕色量瓶中, 加双蒸水稀释定容至刻度, 摇匀, 0.45 μm 微孔滤膜滤过, 取续滤液, 即得。

2.1.4 线性关系的考察 取对照品溶液, 分别精密进样 20 μL, 按照上述色谱条件测定峰面积, 以峰面积(Y)对丹酚酸 B 质量浓度(X)进行线性回归, 得回归方程为 $Y=11\,764.7X-74.12$, $r=0.999\,9$ 。结果表明, 丹酚酸 B 在 9.09~291 μg/mL 线性关系良好。

2.1.5 精密度试验 精密吸取对照品溶液 10 μL 注入液相色谱仪, 连续进样 6 次, 记录峰面积, 计算 RSD 为 1.03%, 表明仪器精密度良好。

2.1.6 稳定性试验 精密吸取同一供试品溶液, 在 24 h 内每隔 4 h 重复进样, 共 7 次, 分别于 0、4、8、

12、16、20、24 h 进样 10 μ L, 记录峰面积, RSD 为 1.32%, 表明样品在 24 h 内稳定性良好。

2.1.7 重复性试验 按“2.1.3”项下平行制备 6 份样品, 分别精密吸取 10 μ L 注入液相色谱仪, 记录峰面积, RSD 为 1.67%, 表明该法重复性良好。

2.1.8 加样回收率试验 取已测定的供试品 6 份, 分别精密加入一定量的对照品。按供试品溶液的制备方法处理, 并按上述色谱条件测定, 计算回收率。平均回收率为 100.39%, RSD 为 2.67%。

2.2 PBD 筛选主要影响因素

2.2.1 因素及水平 运用 Design expert 7.0.0 软件进行 PBD, 考察各因素对丹酚酸 B 提取率影响的显著性。实验设计 5 个因素: 料液比 (A)、提取时间 (B)、浸泡时间 (C)、提取次数 (D)、提取温度 (E)

和 6 个空白因素 (F、G、H、I、J、K), 共 12 组实验。根据预试验结果确定每个因素高 (1)、低 (-1) 2 个水平。PBD 实验因素及水平见表 1。

2.2.2 PBD 实验结果 按照 PBD 实验表进行实验, 每组实验平行做 3 次, 丹酚酸 B 提取率 (提取率=提取成分质量/药材质量) 取平均值。PBD 实验表及结果见表 1, 各实验组丹酚酸 B 提取率实验值与预测值之间偏差均在 $\pm 0.2\%$ 之间, 说明 PBD 预测性强, 精确度高。运用 Design expert 7.0.0 软件对各因素进行显著性分析, 结果显示 $P < 0.05$ 的因素为主要影响因素。各因素显著性分析结果见表 2。

从方差分析结果 (表 2) 看出, 响应值 (丹酚酸 B 提取率) 的模型显著, 各因素对响应值的影响顺序为 $E > B > A > C > D$, 其中, E、B、A 和 C 为

表 1 PBD 实验设计及结果
Table 1 PBD design and results

实验号	A	B / min	C / h	D / 次	E / $^{\circ}$ C	F	G	H	I	J	K	丹酚酸 B 提取率 / %		
												实验值	预测值	偏差
1	1 : 12 (1)	60 (-1)	12 (1)	3 (1)	50 (-1)	(1)	(-1)	(1)	(1)	(-1)	(-1)	3.602 6	3.553 6	0.049 0
2	1 : 6 (-1)	120 (1)	12 (1)	3 (1)	50 (-1)	(1)	(1)	(-1)	(1)	(-1)	(1)	3.877 4	3.924 0	-0.046 6
3	1 : 12 (1)	120 (1)	0 (-1)	1 (-1)	50 (-1)	(1)	(1)	(1)	(-1)	(-1)	(1)	3.931 0	3.871 3	0.059 7
4	1 : 12 (1)	60 (-1)	0 (-1)	1 (-1)	80 (1)	(-1)	(-1)	(1)	(-1)	(1)	(-1)	4.073 1	4.201 7	-0.128 6
5	1 : 6 (-1)	120 (1)	0 (-1)	3 (1)	80 (1)	(-1)	(-1)	(1)	(-1)	(-1)	(-1)	4.656 2	4.629 6	0.026 6
6	1 : 12 (1)	60 (-1)	12 (1)	3 (1)	80 (1)	(-1)	(1)	(-1)	(-1)	(-1)	(1)	4.414 6	4.428 9	-0.014 3
7	1 : 6 (-1)	60 (-1)	12 (1)	1 (-1)	80 (1)	(-1)	(1)	(-1)	(1)	(1)	(1)	4.317 9	4.197 0	0.120 9
8	1 : 12 (1)	120 (1)	12 (1)	1 (-1)	50 (-1)	(1)	(-1)	(1)	(-1)	(-1)	(1)	4.006 0	4.041 1	-0.035 1
9	1 : 12 (1)	120 (1)	0 (-1)	3 (1)	80 (1)	(-1)	(1)	(-1)	(-1)	(1)	(-1)	4.873 3	4.804 0	0.069 3
10	1 : 6 (-1)	60 (-1)	0 (-1)	3 (1)	50 (-1)	(1)	(-1)	(-1)	(-1)	(1)	(-1)	3.125 2	3.209 3	-0.084 1
11	1 : 6 (-1)	60 (-1)	0 (-1)	1 (-1)	50 (-1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(-1)	(1)	3.208 9	3.151 9	0.057 0
12	1 : 6 (-1)	120 (1)	12 (1)	1 (-1)	80 (1)	(-1)	(-1)	(-1)	(1)	(1)	(-1)	4.668 1	4.742 0	-0.073 9

表 2 PBD 实验结果方差分析
Table 2 Analysis of variance for PBD results

因素	回归系数	P 值	因素	回归系数	P 值
A	0.087 2	0.024 9	D	0.028 7	0.366 0
B	0.272 5	<0.000 1	E	0.437 7	<0.000 1
C	0.084 9	0.027 6	模型		<0.000 1

显著性影响因素, 为下一步 BBD 优化因素提供依据。对 5 个因素进行回归分析, 各因素对响应值均具有正相关性, 响应值模型方程可写为 $Y = 4.062 8 + 0.087 2 A + 0.272 5 B + 0.084 9 C + 0.028 7 D + 0.437 7 E$, $R^2 = 0.982 0$ 。

2.3 BBD 效应面法优化提取工艺

2.3.1 BBD 实验因素、水平及结果 根据 PBD 实验及预实验结果分析, 浸泡时间固定在 12 h, 提取次数固定为 1 次, 选定提取时间 (X_1): 60~120 min, 提取温度 (X_2): 50~80 $^{\circ}$ C (对应压力 10~41.5 kPa), 料液比 (X_3): 1 : 6~1 : 12 为考察对象, 丹酚酸 B 的提取率 (Y) 为评价指标, 运用 BBD 实验优选丹参药材中丹酚酸 B 的减压提取工艺。BBD 实验因素与水平、设计与结果均见表 3。从结果可以看出, 各实验组丹酚酸 B 提取率实验值与预测值之间偏差均在 $\pm 0.5\%$ 之间, 说明 BBD 预测性强, 精确度高。

表3 BBD 实验表与结果

Table 3 BBD matrix and results

实验号	X_1 / min	X_2 / °C (压力 / kPa)	X_3	丹酚酸 B 的提取率 / %		
				实验值	预测值	偏差
1	120	80 (41.5)	1 : 9	4.002 6	4.122 3	-0.119 7
2	60	50 (10)	1 : 9	3.877 4	3.757 7	0.119 7
3	90	50 (10)	1 : 6	3.631 0	3.446 5	0.184 6
4	90	65 (20.3)	1 : 9	4.773 1	4.529 9	0.243 2
5	90	65 (20.3)	1 : 9	4.656 2	4.529 9	0.126 3
6	60	80 (41.5)	1 : 9	4.631 4	4.672 0	-0.040 6
7	90	65 (20.3)	1 : 9	4.317 9	4.529 9	-0.212 0
8	120	65 (20.3)	1 : 6	2.406 0	2.631 1	-0.225 1
9	120	65 (20.3)	1 : 12	4.573 3	4.269 1	0.304 2
10	90	80 (41.5)	1 : 6	4.025 2	3.680 4	0.344 8
11	60	65 (20.3)	1 : 6	3.308 9	3.613 1	-0.304 2
12	90	80 (41.5)	1 : 12	4.868 1	5.052 7	-0.184 6
13	60	65 (20.3)	1 : 12	4.097 9	3.872 8	0.225 1
14	90	65 (20.3)	1 : 9	4.444 0	4.529 9	-0.085 9
15	90	65 (20.3)	1 : 9	4.458 3	4.529 9	-0.071 6
16	90	50 (10)	1 : 12	3.627 1	3.971 9	-0.344 8
17	120	50 (10)	1 : 9	3.762 3	3.721 7	0.040 6

表4 BBD 实验结果方差分析

Table 4 Analysis of variance for BBD results

误差来源	离差平方和	自由度	F 值	P 值
模型	5.510 6	9	5.663 5	0.016 2
X_1	0.171 5	1	1.586 5	0.248 2
X_2	0.864 3	1	7.994 4	0.025 5
X_3	1.800 5	1	16.655 0	0.004 7
$X_1 X_2$	0.066 0	1	0.610 2	0.460 3
$X_1 X_3$	0.474 9	1	4.393 0	0.074 3
$X_2 X_3$	0.179 3	1	1.658 2	0.238 8
X_1^2	0.857 9	1	7.935 8	0.025 9
X_2^2	0.000 4	1	0.004 0	0.951 6
X_3^2	0.978 1	1	9.047 3	0.019 7
缺失项	0.624 2	3	6.279 3	0.054 0

2.3.2 BBD 实验结果回归分析 对结果进行多元线性回归和二项拟合, 丹酚酸 B 的提取率模型方差分析结果见表 4, 模型显著 ($P < 0.05$), 缺省拟合均不显著 ($P > 0.05$)。丹酚酸 B 的提取率模型方程显示因素 X_2 、 X_3 、 X_1^2 及 X_3^2 影响显著。丹酚酸 B 的提取率模型方程 $R^2 = 0.879 3$, 表明该回归模型拟合情况良好, 回归方程的代表性较好, 能准确预测

实际情况。回归方程为 $Y = -2.284 2 + 0.069 5 X_1 + 0.011 1 X_2 + 0.471 7 X_3 - 2.854 \times 10^{-4} X_1 X_2 + 0.003 8 X_1 X_3 + 0.004 7 X_2 X_3 - 5.016 \times 10^{-4} X_1^2 - 4.478 \times 10^{-5} X_2^2 - 0.053 6 X_3^2$ 。

2.3.3 效应面分析 根据回归分析结果, 固定 3 个影响因素中的某个变量, 绘制另外 2 个变量对丹酚酸 B 提取率影响的三维曲面和等高线图 (图 2)。

从图 2-a 三维曲面图看出, 提取时间和提取温度对丹酚酸 B 的提取率有一定的交互影响作用, 在一定温度范围内, 丹酚酸 B 的提取率与提取温度成正相关关系, 随提取时间的增多先增大后减小, 在提取温度为 80 °C, 提取时间为 80~90 min, 达到最大; 从图 2-b 三维曲面图看出, 提取时间和液料比对丹酚酸 B 的提取率有明显的交互影响作用, 在

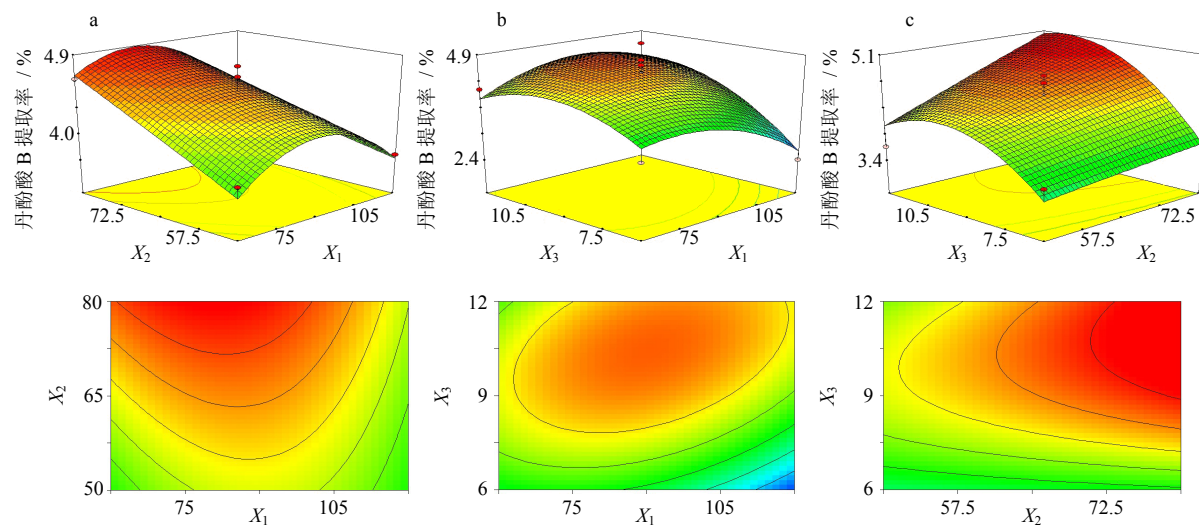


图2 不同变量对Y影响的三维曲面和等高线图

Fig. 2 3D Surface and contour plot of different variables influence on content (Y) of salvianolic acid B

提取时间为 80~90 min, 料液比为 1:9~1:12, 丹酚酸 B 的提取率达到最大; 从图 2-c 三维曲面图看出, 提取温度和液料比对丹酚酸 B 的提取率有一定的交互影响作用, 丹酚酸 B 的提取率随提取温度的增大而增大, 但不是很显著, 随液料比的增大先增大后减小, 在提取温度为 80 ℃, 液料比为 1:9~1:12, 达到最大。

2.3.4 BBD 实验预测结果 运用 Design expert 7.0.0 软件响应面分析, 丹酚酸 B 减压提取工艺优化最优值为提取时间 89 min, 提取温度 80 ℃, 压力 41.5 kPa, 料液比为 1:11 时, 其丹酚酸 B 的提取率预测理想值为 5.09%。

2.4 工艺验证实验

称取丹参 200 g, 避光浸泡 12 h, 以提取时间 89 min, 提取温度 80 ℃, 液料比 11 倍和提取 1 次为提取工艺条件, 共进行 5 次平行实验, 结果取其平均值, 计算偏差率 [偏差率=(真实值-预测值)/预测值]。实验结果见表 5。从结果可知丹酚酸 B 提取率实验值与预测值之间平均偏差率及实验值的 RSD 均小于 2%, 表明所建立的数学模型具有良好的预测性, 优化工艺条件重复性好, BBD 效应面分析所得丹酚酸 B 减压提取最佳工艺可信度高。

表 5 工艺验证实验结果

Table 5 Results of process validation experiments

实验号	丹酚酸 B 提取率 / %				
	预测值	实验值	RSD / %	偏差率 / %	平均偏差率 / %
1	5.09	4.96	0.97	-2.53	-1.54
2		4.99		-2.89	
3		5.04		-1.02	
4		5.09		-0.16	
5		5.00		-1.92	

2.5 减压提取与常压提取效果比对

2.5.1 丹酚酸 B 提取率比较 取 20 g 丹参, 避光浸泡 12 h, 加 11 倍水, 常压回流提取 89 min, 提取 1 次, 平行 3 次实验, 所得提取液中丹酚酸 B 提取率平均为 3.891 4%, 而减压提取所得丹酚酸 B 提取率平均为 5.014 7%, 与常压提取工艺比较, 减压提取工艺丹酚酸 B 的提取率相对提高了 28.87%。

2.5.2 浸膏得率比较 精密吸取常压、减压提取液 25 mL, 置于干燥至恒定质量的蒸发皿中, 水浴蒸干, 于 50 ℃烘箱内干燥 2~3 h, 至干燥器中冷却

20 min, 迅速精密称定质量, 计算浸膏得率。

$$\text{浸膏得率} = W_1 V / (25 \times W_2)$$

W_1 为浸膏质量, W_2 为药材质量, V 为样品溶液体积

结果丹参常压、减压提取浸膏平均得率分别为 46.60%、42.40%, 丹参减压提取较常压提取浸膏相对得率降低了 9.01%。

2.5.3 结果分析 通过对比丹酚酸 B 提取率和总浸膏得率 2 个评价指标, 丹参减压提取所得丹酚酸 B 提取率提高, 总浸膏减少, 说明在有效成分提出更多的情况下, 同时杂质可能提出更少, 表明减压提取应用于丹参中丹酚酸 B 的提取较常压回流提取较优, 适宜性更好。

3 讨论

PBD 实验次数少, 能快速从众多实验因素中筛选出显著性影响因素; BBD 效应面法是国外常用的实验设计分析方法, 近年来, 国内在中药的提取工艺优化方面也逐渐开始使用^[6-10]。BBD 充分考虑到各因素的交互作用, 在中心点进行重复实验以提高实验精度; 效应面法采用非线性模型拟合, 实验精度显著优于一般线性模型设计方法, 可信度较好, 预测值更接近真实值, 与正交及均匀设计相比, 此方法所得结果更加直观可靠, 便于分析。本实验采用 PBD 联用 BBD 效应面法优选丹参药材中丹酚酸 B 的减压提取工艺。研究结果表明, 丹酚酸 B 减压提取最佳工艺为提取时间 89 min、提取温度 80 ℃、料液比 1:11, 提取次数 1 次, 提取之前避光浸泡 12 h。最佳工艺条件下丹酚酸 B 的提取率实验值平均可达 5.01%, 与预测值之间偏差率为-1.70%, 说明 BBD 效应面法用于优化丹参水溶性成分丹酚酸 B 的减压提取工艺是科学、合理、可行的, 建立的数学模型和实验观察数据相符。

丹酚酸 B 是丹参药材中重要的有效成分, 具有较高临床应用价值。由于它受热不稳定, 传统的常压回流提取会使其大量破坏。基于溶液沸点随外界大气压的降低而降低的原理, 可采用减压 (负压) 提取, 使溶媒在较低温度下保持沸腾状态, 避免了热敏性成分在高温下被破坏。本实验对丹参进行减压提取, 所得提取液中丹酚酸 B 提取率较常压提取相对提高了 28.87%, 同时浸膏得率相对降低了 9.01%, 说明丹参在减压提取状态下, 有效成分丹酚酸 B 提取率提高了较多的同时, 无效成分的溶出可能也减少了, 有利于后续分离纯化。此外, 在减压状态下, 只需回流提取 1 次就可以达到目的, 说

明不仅高效,而且节能。综上,丹参药材中丹酚酸B适宜减压提取。

减压提取时,将连接提取烧瓶和冷凝器的体系抽真空,同时控制系统的真空度,达到实验规定的要求,真空度与沸点相关联(此处由于涉及到专利保护等问题,本文没有详细阐述)。

参考文献

- [1] 许继文,付春梅.丹参的药理作用研究进展[J].医学综述,2006,12(23):1467-1469.
- [2] 张军,王风云,詹丽玲,等.丹参药材提取液中丹酚酸B稳定性影响因素的考察[J].中国中药杂志,2005,30(10):789-790.
- [3] 陈晓东.中药减压提取法原理及突破点[J].机电信息,2008(23):31-34.
- [4] 陈晓东.用于中药提取的减压提取装置[J].机电信息,2005(16):55-57.
- [5] 韩丽,韦娟,周子渝,等.栀子减压提取工艺实验研究[J].中成药,2011,33(1):160-162.
- [6] Guo X, Zou X, Sun M. Optimization of extraction process by response surface methodology and preliminary characterization of polysaccharides from *Phellinus igniarius* [J]. *Carbohydr Polym*, 2010, 80(2): 344-349.
- [7] Song Y, Du B J, Zhou T, *et al*. Optimization of extraction process by response surface methodology and preliminary structural analysis of polysaccharides from defatted peanut (*Arachis hypogaea*) cakes [J]. *Carbohydr Polym*, 2011(346): 305-310.
- [8] Sun Y X, Liu J C, Kennedy J F. Extraction optimization of antioxidant polysaccharides from the fruiting bodies of *Chroogomphus rutilus* (Schaeff.: Fr.) O. K. Miller by Box-Behnken statistical design [J]. *Carbohydr Polym*, 2010, 82(1): 209-214.
- [9] 苏柘僮,刘英,徐佳丽,等.应用Box-Behnken设计优化地榆皂苷的闪式提取工艺研究[J].中草药,2012,43(3):501-504.
- [10] 刘泽玉,苏柘僮,杨明,等.联用Plackett-Burman与Box-Behnken设计控制青黛制备过程中靛玉红的生成[J].中国中药杂志,2010,35(19):2551-2555.