

# 中心组合设计-响应面法优选酸枣仁总皂苷的 提取工艺研究

祝洪艳, 林海成, 杨鹤, 王国丽, 赵岩, 郜玉钢, 张连学\*

(吉林农业大学中药材学院, 长春 130118)

**摘要:** **目的** 优选酸枣仁中酸枣仁总皂苷的最佳提取工艺。**方法** 采用紫外分光光度法检测酸枣仁总皂苷含量, 运用中心组合设计-响应面法研究乙醇浓度、液固比、提取时间对酸枣仁皂苷提取的影响, SAS 软件建立预测模型, 响应面法分析最佳提取条件。**结果** 优选得到最佳提取工艺为 14 倍量 75%乙醇回流提取 2 次, 每次 2 h。验证实验结果酸枣仁总皂苷平均含量为 34.26 mg/g。**结论** 中心组合设计-响应面法优选酸枣仁总皂苷提取工艺的可信度高, 皂苷含量验证实验检测值与模型预测值接近, 模型预测性好, 工艺稳定, 可为酸枣仁总皂苷的工业化提取生产提供科学依据。

**关键词:** 酸枣仁总皂苷; 酸枣仁皂苷 A; 提取工艺; 中心组合设计-响应面法

## Optimization of reflux extraction of jujuboside from semen ziziphi spinosae by central composite design-response surface methodology

ZHU Hong-Yan, LIN Hai-Cheng, YANG He, WANG Guo-Li, ZHAO Yan, GAO Yu-Gang, ZHANG Lian-Xue\*

(College of Chinese Medicinal Materials, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**ABSTRACT: Objective** The extraction of jujuboside from semen ziziphi spinosae was optimized. **Methods** The content of jujuboside was detected by ultraviolet and visible spectrophotometry, and central composite design (CCD)-response surface methodology was used to study the effects of ethanol concentration, ethanol dosage and extraction time as well as their interactions on the content of jujuboside. A predictive model was developed by SAS software, and the optimum extraction conditions were determined by response surface analysis. **Results** The optimum reflux extraction conditions were 14 times of 75% ethanol extracted 2 h for 2 times. The average content of jujuboside was 34.26 mg/g. **Conclusion** CCD-response surface methodology for optimizing the reflux extraction press of jujuboside was reliable, and the detected content of jujuboside closed to the predictive value. The predicted extraction process was stabled, and it could be used to direct the industria-

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAI03B010602)、国家科技重大专项(2012ZX09304006)、吉林省科技发展计划项目(20130102075JC)、国家公益性行业科研专项(201303111)、吉林省教育厅十二五项目(2014 第 60 号)

**Fund:** Supported by National Key Technology Support Program (2011BAI03B010602), National Science and Technology Major Project (2012ZX09304006), the Project Development Plan of Science and Technology of Jilin Province (20130102075JC), National Public Scientific Research (201303111) and the Project of Education Fund of Jilin Province (2014060)

\*通讯作者: 张连学, 教授, 博导, 主要研究方向为药用植物栽培与加工。E-mail: zlxbooksea@163.com

\*Corresponding author: ZHANG Lian-Xue, Professor, College of Chinese Medicine Material in Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China. E-mail: zlxbooksea@163.com

lized extraction of jujuboside.

**KEY WORDS:** jujuboside; jujuboside A; extraction; central composite design -response surface methodology

## 1 引言

酸枣仁(*Semen ziziphi spinosae*)为鼠李科植物酸枣[*Ziziphus jujuba* Mill. var. *spinosa* (Bunge) Hu ex H.F. Chou]的干燥成熟种子, 具有养心补肝、宁心安神、敛汗生津等功效<sup>[1]</sup>, 是我国传统应用的药食两用型安神中药, 是临床治疗失眠、神经衰弱等神经系统疾病的常用组方药味<sup>[2,3]</sup>。酸枣仁主要含有脂肪油、皂苷、黄酮、生物碱等化学成分<sup>[4]</sup>, 其中皂苷类成分是酸枣仁发挥镇静催眠作用的主要药效成分<sup>[5,6]</sup>。酸枣仁单方或复方制剂的提取工艺也主要是以酸枣仁皂苷类成分含量为指标, 设计实验优选提取条件。以往文献报道<sup>[7-10]</sup>多采用线性数学模型进行正交实验设计或均匀实验设计, 实验次数少, 预测准确性差。本实验采用中心组合设计结合响应面法分析酸枣仁总皂苷的最优提取工艺, 对各因素进行多元线性回归和二次多项式拟合, 建立的二次多项式数学模型能更准确地预测酸枣仁总皂苷提取的最佳条件, 为酸枣仁皂苷的工业化提取生产提供科学依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与仪器

酸枣仁购于当地药店, 产地河北省, 经吉林农业大学中药学院张连学教授鉴定为鼠李科植物酸枣[*Ziziphus jujuba* Mill. var. *spinosa* (Bunge) Hu ex H.F. Chou]的干燥成熟种子; 酸枣仁皂苷 A 对照品(上海源叶生物科技有限公司, 批号: 20120423); 乙酸钠(西陇化工股份有限公司, 批号 1306181)。

UV-6100 双光束紫外可见分光光度计(上海美普达公司); BS210S 万分之一天平(德国 SARTORIUS 科学仪器有限公司); RE-52AA 型旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂); SHB-III 循环水式多用真空泵(郑州长城科工贸有限公司)。

试剂均为分析纯, 其中, 甲醇(纯度 $\geq 99.5\%$ , 北京化工厂); 乙醇(纯度 $\geq 99.7\%$ , 北京化工厂); 正丁醇(纯度 $\geq 99.0\%$ , 北京化工厂); 石油醚(沸程 60~90 °C, 北京化工厂); 水为蒸馏水。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 酸枣仁总皂苷含量测定

##### (1) 溶液制备

##### ①对照品溶液制备

准确称取酸枣仁皂苷 A 2.20 mg, 置于 10 mL 容量瓶, 加甲醇配成浓度为 0.22 mg/mL 的对照品溶液。

##### ②供试品溶液制备

称取适量酸枣仁粗粉(过 40 目筛), 加石油醚连续回流脱脂 6 h, 弃去石油醚层, 挥干药渣。准确称取药渣 5.0 g, 加水或不同浓度乙醇为溶剂, 采用超声、回流、浸渍、渗漉及水煎煮等方法提取, 过滤, 提取物加水溶解, 并采用水饱和的正丁醇进行多次萃取, 合并正丁醇层, 回收溶剂得酸枣仁皂苷提取物, 加甲醇溶解, 定容至 10 mL, 作为供试品溶液。

##### (2) 标准曲线的制备

准确吸取酸枣仁皂苷 A 对照品溶液 0.10、0.15、0.20、0.30、0.40、0.50 mL, 分别置于 10 mL 容量瓶中, 挥干溶剂, 分别加入 5% 香草醛冰醋酸溶液 0.20 mL。再加入高氯酸溶液 0.80 mL, 盖上塞子, 70 °C 水浴恒温加热 20 min, 取出立即冰水浴冷却 5 min, 加冰醋酸 5 mL, 摇匀, 同时做标准空白, 于 UV-6100 型紫外分光光度计 546 nm 处测定<sup>[11]</sup>。以对照品的浓度(mg/mL)为横坐标, 以吸光度为纵坐标作标准曲线, 计算标准曲线的回归方程为  $Y=26.034X+0.0116$ ,  $R^2=0.9995$ 。在 0.0036~0.0179 mg/mL 线性关系良好。

##### (3) 样品含量的测定

准确吸取适量供试品溶液, 按[(2)标准曲线的制备]项要求进行操作, 测定提取液吸光度值, 并计算酸枣仁总皂苷含量(mg/g)。

#### 2.2.2 酸枣仁总皂苷提取单因素实验

##### (1) 不同提取方法对酸枣仁总皂苷含量的影响

准确称取 6 份已脱脂的酸枣仁粗粉, 分别以 70% 乙醇超声提取一次, 提取 30 min; 复合酶(纤维素酶和果胶酶 3:1)用磷酸盐缓冲液调 pH 值为 4.5, 45 °C 条件下酶解 5 h<sup>[12]</sup>; 70% 乙醇回流提取一次, 提取 1 h; 70% 乙醇浸渍过夜, 渗漉法收集 6 倍柱体积的 70% 乙醇提取液; 加水煎煮一次, 煎煮 1 h。每种方法重复三

次实验,考察不同提取方法对酸枣仁总皂苷含量的影响,确定最佳提取方法。

#### (2) 乙醇浓度对酸枣仁总皂苷含量的影响

准确称取已脱脂的酸枣仁粗粉,分别以水、30%、50%、70%、80%和95%乙醇为溶剂,液固比为10:1,回流提取2 h。重复三次实验,考察不同浓度乙醇对酸枣仁总皂苷含量的影响。

#### (3) 液固比对酸枣仁总皂苷含量的影响

准确称取已脱脂的酸枣仁粗粉,以70%乙醇为溶剂,液固比分别为8:1、10:1、12:1、15:1、20:1,回流提取2 h。重复三次实验,考察不同液固比对酸枣仁总皂苷含量的影响。

#### (4) 提取时间对酸枣仁总皂苷含量的影响

准确称取已脱脂的酸枣仁粗粉,以70%乙醇为溶剂,液固比为10:1,分别回流提取1、1.5、2、2.5、3 h,重复三次实验,考察不同提取时间对酸枣仁总皂苷含量的影响。

#### (5) 提取次数对酸枣仁总皂苷含量的影响

准确称取已脱脂的酸枣仁粗粉,以70%乙醇为溶剂,液固比10:1,回流提取1 h,分别回流提取1、2、3、4次。重复三次实验,考察不同提取次数对酸枣仁总皂苷含量的影响。

### 2.2.3 酸枣仁总皂苷提取工艺的中心组合-响应面分析实验设计

在单因素实验基础上,以乙醇浓度( $X_1$ )、液固比( $X_2$ )和提取时间( $X_3$ )为因素设计因素水平表(见表1),进行中心组合实验,平行三次实验。采用SAS软件结合响应面法分析,建立数学模型,岭脊分析优选酸枣仁总皂苷的提取工艺,同时采用Origin软件作图分析,确定最佳提取工艺。

表1 酸枣仁总皂苷提取工艺的中心组合实验设计因素水平表

Table 1 Factors and levels of CCD design for jujuboside from semen ziziphi spinosae

水平	因素		
	$X_1$ (%)	$X_2$ (mL/g)	$X_3$ (h)
-1.682	50.0	10.0	1.0
-1	56.1	11.0	1.2
0	65.0	12.5	1.5
1	73.9	14.0	1.8
1.682	80.0	15.0	2.0

### 2.2.4 酸枣仁皂苷最优提取工艺的验证实验

以优选得到的最佳提取工艺条件进行3次平行实验,计算酸枣仁总皂苷的平均含量,结果与模拟结果比较,预测所建立的酸枣仁总皂苷提取工艺是否合理。

## 3 结果与分析

### 3.1 酸枣仁总皂苷提取单因素实验

#### 3.1.1 不同提取方法对酸枣仁总皂苷含量的影响

分别以不同方法提取酸枣仁,酸枣仁皂苷含量结果见图1。

由图1可见,70%乙醇回流提取酸枣仁总皂苷的含量最高,其次是超声波提取和复合酶提取。本实验中复合酶提取酸枣仁总皂苷的实验条件与文献<sup>[12]</sup>一致,但实验结果却与文献相差较大,且重复三次实验的结果均低于传统的乙醇回流提取法。由于复合酶的影响因素较多,条件较难控制,难以保证酸枣仁总皂苷工业化提取生产的稳定性,因此,选择乙醇回流提取法提取酸枣仁,对其提取工艺条件进行优选。

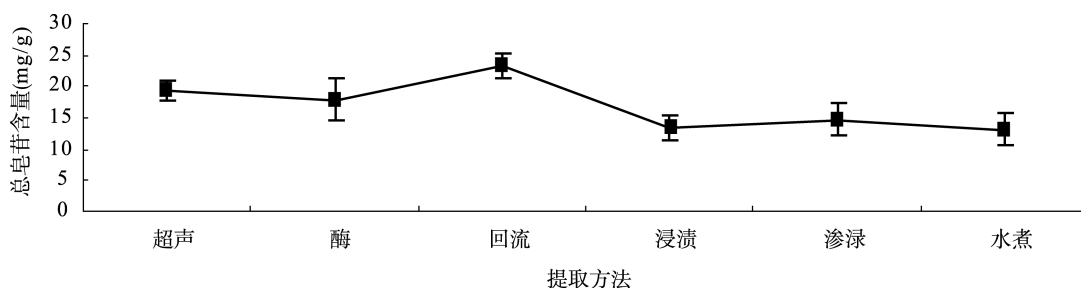


图1 不同提取方法对酸枣仁总皂苷含量的影响 ( $n=3$ )

Fig. 1 Effect of different extraction method on the content of jujuboside ( $n=3$ )

### 3.1.2 乙醇浓度对酸枣仁总皂苷含量的影响

分别以不同浓度乙醇回流提取酸枣仁, 酸枣仁总皂苷含量结果见图 2。

由图 2 可见, 70%乙醇作为提取溶剂时, 酸枣仁总皂苷含量最高; 乙醇浓度低于 70%时, 皂苷含量随乙醇浓度增加呈缓慢上升趋势; 当乙醇浓度高于 70%时, 皂苷含量随醇浓度增加而略有减少, 可能由于其他非皂苷类成分的溶解度随着醇浓度的增加而增大, 导致总皂苷含量相对减少。因此, 中心组合实验拟考察乙醇浓度在 50%~80% 范围。

### 3.1.3 液固比对酸枣仁总皂苷含量的影响

分别以 70%乙醇不同液固比进行回流提取酸枣仁, 酸枣仁总皂苷含量见图 3。

由图 3 可见, 酸枣仁总皂苷含量随液固比增加而增加, 当液固比由 8:1 增加至 10:1 时, 皂苷含量明显增加; 当液固比大于 10:1 时, 皂苷含量增加缓慢。为节约溶剂用量, 降低工艺生产成本, 中心组合实验拟考察液固比在 10:1~15:1 之间。

### 3.1.4 提取时间对酸枣仁总皂苷含量的影响

以 70%乙醇为溶剂, 分别回流提取不同时间, 酸枣仁总皂苷含量结果见图 4。

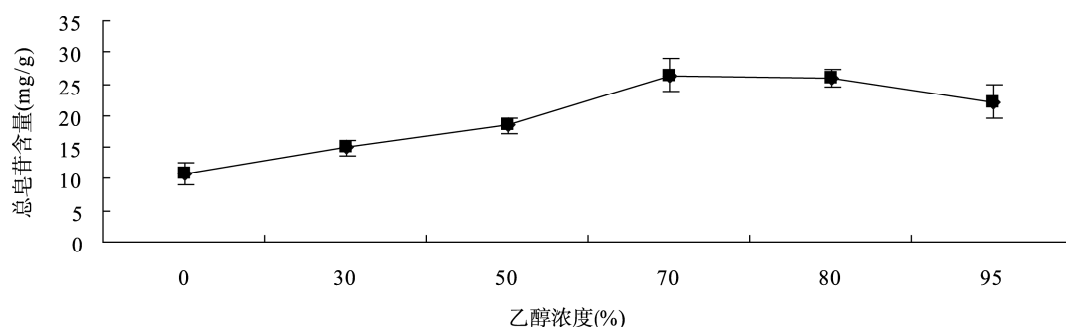


图 2 乙醇浓度对酸枣仁总皂苷含量的影响 ( $n=3$ )

Fig. 2 Effect of ethanol concentration on the content of jujuboside ( $n=3$ )

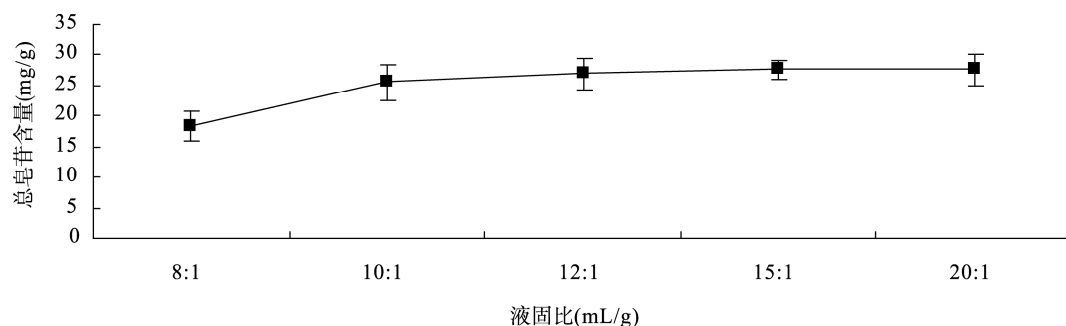


图 3 液固比对酸枣仁皂苷含量的影响 ( $n=3$ )

Fig. 3 Effect of solvent-to-solid ratio on the content of jujuboside ( $n=3$ )

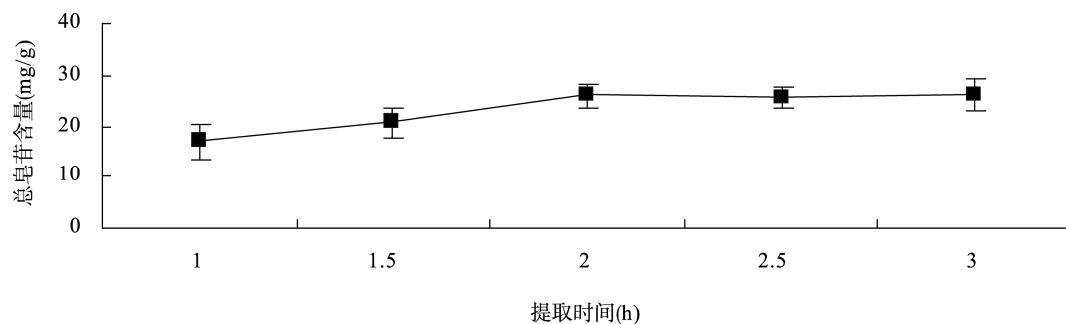


图 4 提取时间对酸枣仁总皂苷含量的影响 ( $n=3$ )

Fig. 4 Effect of extraction time on the content of jujuboside ( $n=3$ )

由图4可见, 酸枣仁总皂苷含量开始随回流时间增加而增加, 提取时间为2 h时含量最高, 之后随提取时间延长皂苷含量变化不大。考虑实际生产中能耗问题, 中心组合实验考察提取时间在1~2 h范围。

### 3.1.5 提取次数对酸枣仁总皂苷含量的影响

70%乙醇分别回流提取不同次数酸枣仁, 酸枣仁总皂苷含量见图5。

由图5可见, 回流提取2次的酸枣仁总皂苷含量较提取1次的皂苷含量有明显增加, 但提取3次和4次的酸枣仁总皂苷含量未见明显增加, 为降低生产

能耗, 节约成本, 确定中心组合实验乙醇回流提取次数为2次。

### 3.2 酸枣仁皂苷提取的中心组合设计实验结果

采用 SAS 软件对三次平行试验中酸枣仁总皂苷的平均含量(表2)进行响应面分析, 经二次回归拟合, 得到回归方程:  $Y = -77.44 + 1.59X_1 + 6.18X_2 - 13.32X_3 - 0.02X_1^2 + 0.10X_2X_1 - 0.44X_2^2 + 0.06X_3X_1 + 0.35X_3X_2 + 3.02X_3^2$ ; 回归模型参数估计值见表3, 方差分析见表4, 岭脊分析见表5。

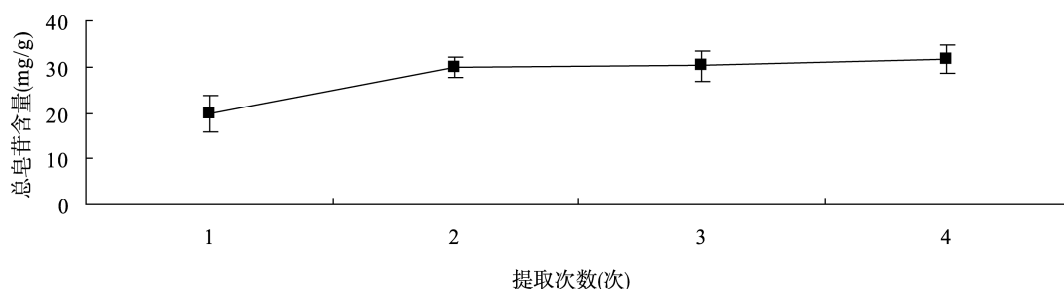


图5 提取次数对酸枣仁总皂苷含量的影响 ( $n=3$ )

Fig. 5 Effect of extraction times on the content of jujuboside ( $n=3$ )

表2 酸枣仁总皂苷的提取工艺中心组合设计实验设计及结果  
Table 2 CCD matrix and results of jujuboside from semen ziziphi spinosae

序号	$X_1$ (%)	$X_2$ (mL/g)	$X_3$ (h)	酸枣仁总皂苷含量实测值(mg/g)				酸枣仁总皂苷含量预测值(mg/g)
				1	2	3	平均值	
S1	0(65.0)	0(12.5)	0(1.5)	27.47	29.86	29.31	28.88	30.38
S2	0	0	0	29.25	29.21	27.34	28.60	30.38
S3	0	0	0	27.13	30.23	27.60	28.32	30.38
S4	1(73.9)	1(14.0)	1(1.8)	35.98	37.04	35.43	36.15	37.19
S5	1	1	-1(1.2)	33.93	33.97	33.17	33.69	34.14
S6	1	-1(11.0)	1	27.86	27.88	27.54	27.76	27.87
S7	1	-1	-1	27.45	26.34	26.73	26.84	27.17
S8	-1(56.1)	1	1	24.03	21.78	24.87	23.56	28.32
S9	-1	1	-1	25.14	21.67	20.87	22.56	25.92
S10	-1	-1	1	21.56	21.34	20.67	21.19	24.06
S11	-1	-1	-1	19.88	20.12	19.76	19.92	22.28
S12	-1.682(50.0)	0	0	17.55	19.32	18.21	18.36	20.93
S13	1.682(80.0)	0	0	30.63	30.93	31.20	30.92	30.84
S14	0	-1.682(10.0)	0	22.07	20.36	22.13	21.52	21.83
S15	0	1.682(15.0)	0	31.24	29.87	29.13	30.08	37.35
S16	0	0	-1.682(1.0)	27.16	25.34	27.78	26.76	35.21
S17	0	0	1.682(2.0)	29.56	30.43	35.89	31.96	41.00

表 3 回归系数显著性检验表  
Table 3 Significance test of each coefficient in the developed regression model

参数	自由度	预测值	标准差	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	显著性
截距 $X_1$	1	-77.442594	39.675928	-1.95	0.0919	
	1	1.596818	0.562161	2.66	0.0323	*
$X_2$	1	6.178237	3.578923	1.72	0.1282	
$X_3$	1	-13.329585	14.944914	-0.89	0.4021	
$X_1^2$	1	-0.017618	0.003384	-5.21	0.0012	**
$X_2X_1$	1	0.095572	0.023939	3.99	0.0052	**
$X_2^2$	1	-0.438665	0.121462	-3.69	0.0077	**
$X_3X_1$	1	0.051850	0.119694	0.43	0.6779	
$X_3X_2$	1	0.352778	0.711782	0.50	0.6353	
$X_3^2$	1	3.023373	3.036551	1.00	0.3526	

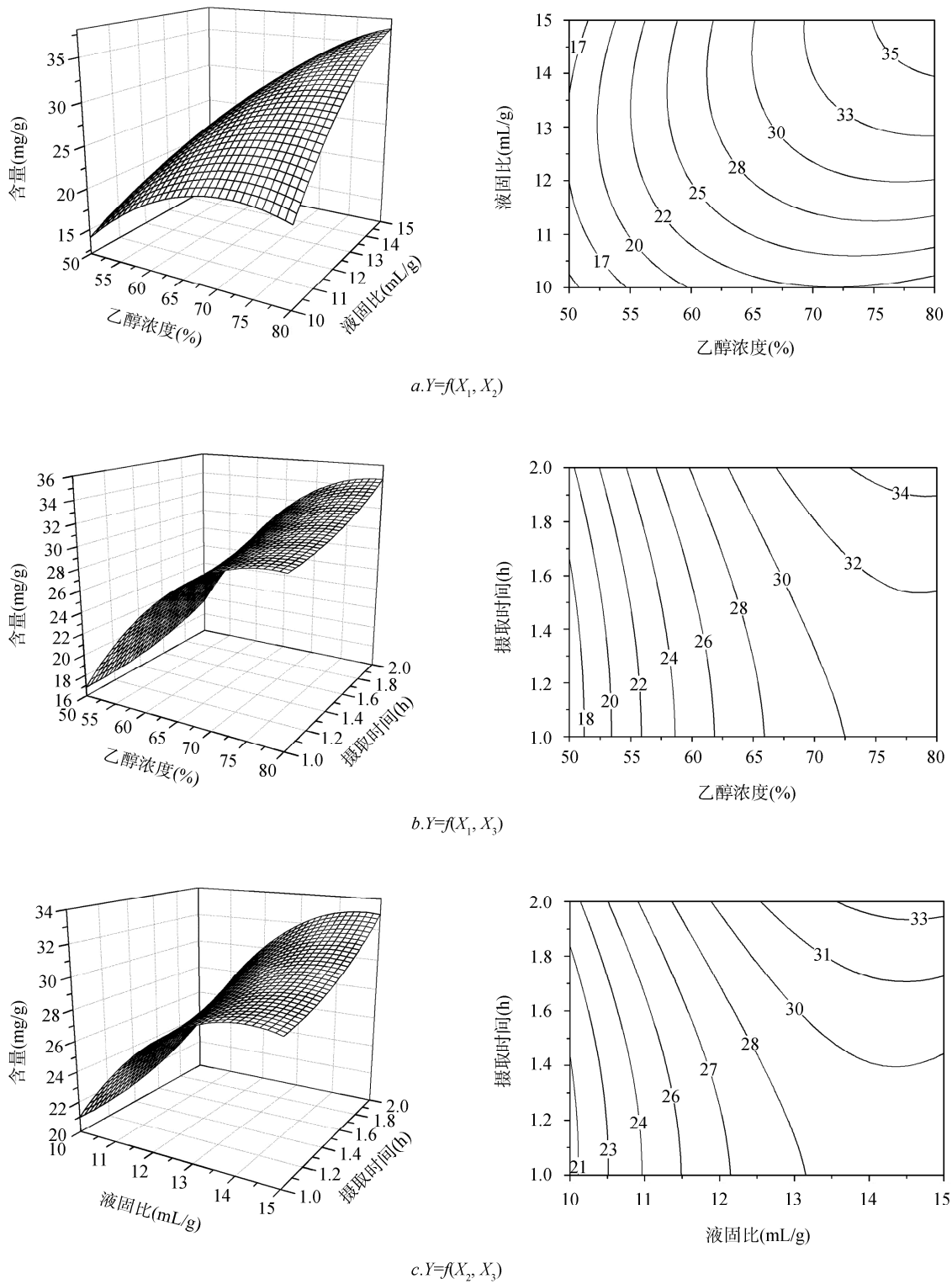
注:  $P < 0.05$ , \*差异显著;  $P < 0.01$ , \*\*差异极显著。

表 4 回归模型方差分析  
Table 4 Analysis of variance for the developed regression model

项目	自由度	总离差平方和	相关系数	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	显著性
总模型	9	400.575961	0.9859	54.23	<0.0001	**
线性项	3	352.175954	0.8667	143.03	<0.0001	**
平方项	3	34.962769	0.0860	14.20	0.0023	**
交互项	3	13.437238	0.0331	5.46	0.0300	*
总误差	7	5.745228	0.820747			
失拟项	5	5.588428	1.117686	14.26	0.0668	
纯误差	2	0.156800	0.078400			

表 5 模型岭脊回归分析  
Table 5 Ridge analysis for the developed regression model

编码半径	响应预测值	标准差	因素预测值		
			$X_1$	$X_2$	$X_3$
0.0	28.600499	0.521567	65.000000	12.500000	1.500000
0.1	29.435154	0.518235	66.234611	12.630223	1.511316
0.2	30.235925	0.508784	67.413369	12.769914	1.524786
0.3	31.005808	0.494951	68.539117	12.916185	1.540676
0.4	31.747585	0.479948	69.613710	13.066496	1.559261
0.5	32.463956	0.468813	70.637793	13.218561	1.580811
0.6	33.157631	0.468458	71.610853	13.370287	1.605568
0.7	33.831397	0.486704	72.531497	13.519743	1.633712
0.8	34.488141	0.530054	73.397920	13.665181	1.665327
0.9	35.130837	0.601604	74.208489	13.805098	1.700376
1.0	35.762494	0.700998	74.962327	13.938309	1.738695



固定水平:  $X_1=65; X_2=12.5; X_3=1.5$

图 6 两两因素交互作用对酸枣仁总皂苷含量影响的响应面图和等高图  
Fig. 6 Response surface and contour lines of the content of Jujuboside

由表 3 可知, 在一次项预测中乙醇浓度( $X_1$ )达到显著水平( $P < 0.05$ ); 在交互项中, 液固比( $X_2$ )和乙醇浓度( $X_1$ )达到极显著水平( $P < 0.01$ ); 在二次项中, 乙醇浓度( $X_1$ )和液固比( $X_2$ )达到极显著水平( $P < 0.01$ ), 而提取时间( $X_3$ )无论在一次项、二次项, 还是在与乙醇浓度( $X_1$ )和液固比( $X_2$ )的交互项中都未达到显著水平。若将不显著项排除, 在  $P > 0.3$  水平拒绝假设, 则得到校正回归方程:  $Y = -77.44 + 1.59X_1 + 6.18X_2 - 0.02X_1^2 + 0.10X_2X_1 - 0.44X_2^2$ , 但由此方程计算得到的酸枣仁总皂苷含量的预测值和实测值误差较大。因此, 放弃校正, 在  $P < 0.3$  水平上接受所有系数及截距的假设, 最终确定回归方程为:  $Y = -77.44 + 1.59X_1 + 6.18X_2 - 13.32X_3 - 0.02X_1^2 + 0.10X_2X_1 - 0.44X_2^2 + 0.05X_3X_1 + 0.35X_3X_2 + 3.02X_3^2$ 。

由表 4 可知, 总模型、线性项和平方项对总皂苷含量均有极显著性影响( $P < 0.01$ ), 交互项对总皂苷含量具有显著性影响( $P < 0.05$ )。总模型相关系数  $R^2 = 0.9859$ , 失拟项  $P > 0.05$ , 说明回归方程与实测值拟合很好。

由表 5 可知, 岭脊分析表明回归方程预测得到的酸枣仁总皂苷最佳提取工艺为乙醇浓度为 75.0%, 液固比 13.9 mL/g, 回流提取 2 次, 每次 1.7 h, 预测此工艺条件下酸枣仁总皂苷含量为 35.76 mg/g。

### 3.3 酸枣仁皂苷提取的响应面优化与预测分析

根据酸枣仁总皂苷含量的二次回归模型, 采用 Origin 软件绘制响应面图三维空间图和等高图(图 6), 以其中一个影响因素为中心值(编码水平为 0), 观察其他两个因素对酸枣仁总皂苷含量的影响。

由图 6 可见, 乙醇浓度( $X_1$ )、液固比( $X_2$ )和提取时间( $X_3$ )三个因素对酸枣仁总皂苷含量有一定的影响, 且两两因素之间均呈现一定程度的正相关, 即随着乙醇浓度、液固比和提取时间的增加, 酸枣仁总皂苷含量相应增加。三个响应面图重叠可得酸枣仁总皂苷的最佳提取工艺条件为: 乙醇浓度( $X_1$ )75%~80%; 液固比( $X_2$ )14~15 mL/g; 提取时间( $X_3$ )1.9~2 h。考虑实际工业化提取过程中生产成本和能耗的问题, 最终确定酸枣仁总皂苷的最佳提取工艺为 75%乙醇, 液固比 14:1, 回流提取 2 次, 每次 2 h。

### 3.4 优选酸枣仁皂苷提取工艺的验证实验

以上述确定的最佳提取条件, 即 75%乙醇, 液固比 14:1, 回流提取 2 次, 每次 2 h, 进行 3 次平行实验,

酸枣仁总皂苷含量分别为 34.12、33.71、34.96 mg/g, 平均含量为 34.26 mg/g, 与预测值接近, 说明所建立模型可信度高。

## 4 讨论

叶振海<sup>[13]</sup>以酸枣仁皂苷提取物的质量为检测指标, 采用响应面法对酸枣仁的乙醇回流提取工艺进行了优选, 得出最佳提取条件为 82.3%乙醇, 料液比 1:22.3, 78.5 °C 提取 3 h。本实验采用紫外分光光度法检测酸枣仁乙醇提取物中总皂苷的含量, 通过单因素考察实验, 确定提取方法、提取溶剂浓度、提取时间和次数, 以及液固比, 再应用中心组合设计结合响应面法优选酸枣仁总皂苷的最佳提取工艺, 最终优选得到的工艺为 75%乙醇, 液固比 14:1, 回流提取 2 次, 每次 2 h, 酸枣仁总皂苷的平均提取率为 3.426%。

除皂苷外, 酸枣仁总黄酮<sup>[14]</sup>和酸枣仁蛋白<sup>[15]</sup>也有文献报道采用响应面法分析最佳提取工艺条件, 结果通过两者所建立的二次项数学模型得到的最优提取工艺条件下的实际检测值与模型预测的理论值都接近, 说明响应面法在预测提取工艺条件方面较一般的线性数学模型更准确, 可用于指导工业化提取生产。

## 参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中国药典(2010 版 I 部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 343-344.  
Pharmacopoeia Commission of People's Republic of China. Pharmacopoeia of people's republic of China: 2010 Part I [M]. Beijing: Chinese Medical Science and Technology Press, 2010: 343-344.
- [2] 康健. 酸枣仁汤治疗失眠 60 例临床观察[J]. 实用中医内科杂志, 2014, 28(6): 53.  
Kang J. 60 cases of insomnia treatment efficacy suanzaoren decoction [J]. J Pract Trad Chin Int Med, 2014, 28(6): 53.
- [3] 丁德正. 酸枣仁汤治疗精神疾病举隅[J]. 中华中医药杂志, 2014, 29(1): 152-154.  
Ding DZ. Examples of suanzaoren decoction on mental illness [J]. China J Trad Chin Med Pharm, 2014, 29(1): 152-154.
- [4] 张军武, 赵琦, 尉亚辉. 酸枣仁汤的药理学及化学成分研究进展[J]. 中医学报, 2013, 28(4): 550-552.  
Zhang XW, Zhao Q, Wei YH. Research progress of biology characteristics and chemical constituents of semen ziziphi spinosae [J]. China J Chin Med, 2013, 28(4): 550-552.



- [5] Cao JX, Zhang QY, Cui S Y, *et al.* Hypnotic effect of jujubosides from semen ziziphi spinosae [J]. *J Ethnopharm*, 2010, 130: 163–166.
- [6] You ZL, Xia Q, Liang FR, *et al.* Effect on the expression of GABA<sub>A</sub> receptor subunits by jujuboside A treatment in rat hippocampal neurons [J]. *J Ethnopharm*, 2010, 128: 419–423.
- [7] 王勇, 魏娜, 徐爽, 等. 多指标正交实验法优选酸枣仁药材水提取工艺[J]. *海南医学院学报*, 2011, 17(11): 1452–1456.  
Wang Y, Wei N, Xu S, *et al.* Optimization of water extraction technology of ziziphi spinosae Semen by orthogonal design with multitargets [J]. *J Hainan Med Univ*, 2011, 17(11): 1452–1456.
- [8] 武传芹, 陈冠华, 郭东山, 等. 超声回流法提取酸枣仁皂苷 A 和 B 工艺[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(9): 253–255.  
Wu CQ, Chen GH, Guo DS, *et al.* Extraction technology of jujuboside A and jujuboside B by ultrasonic reflux method [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2012, 40(9): 253–255.
- [9] 张雪, 陈复生. 酸枣仁中皂苷 A 提取工艺的优化研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2011, 32(5): 37–39.  
Zhang X, Chen FS. Optimization of extraction of jujuboside A from semen ziziphi spinosae [J]. *J Henan Univ Technol(Nat Sci Ed)*, 2011, 32(5): 37–39.
- [10] 王筱亮, 张玉杰, 陈明霞, 等. 多指标正交实验优选酸枣仁最佳提取工艺[J]. *中国中药杂志*, 2005, 30(10): 753–755.  
Wang XL, Zhang YJ, Chen MX, *et al.* Optimization study on extraction technology of the seed of ziziphus jujube var. spinosa by orthogonal design with multi-targets [J]. *China J Chin Mater Med*, 2005, 30(10): 753–755.
- [11] 姚煜. 酸枣仁提取工艺及成分研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2005: 26–27  
Yao Y. Study on the extraction technology and composition of semen ziziphi spinosae [D]. Beijing: Capital Normal University, 2005: 26–27.
- [12] 张明春, 解军波, 张巾英, 等. 复合酶法提取酸枣仁皂苷的工艺条件优化[J]. *上海中医药杂志*, 2008, 42(9): 76–78.  
Zhang MC, Xie JB, Zhang JY, *et al.* Optimum extraction conditions of ziziphus jujuba with complex phosphoesterasum [J]. *Shanghai J Trad Chin Med*, 2008, 42(9): 76–78.
- [13] 叶振梅. 响应面优化酸枣仁皂苷提取工艺研究[J]. *食品工业*, 2013, 34(10): 87–89.  
Ye ZM. Response surface optimization extraction of saponins from semen ziziphi spinosae [J]. *Food Ind*, 2013, 34(10): 87–89.
- [14] 李游, 靳爱仙, 梁宗锁, 等. 酸枣仁总黄酮提取工艺及其预测模型研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2009, 37(10): 193–198.  
Li Y, Jin AX, Liang ZS, *et al.* Optimization of the extraction technics of total flavones from semen ziziphi spinosae and its mathematical model [J]. *J Northwest A F Univ (Nat Sci Ed)*, 2009, 37(10): 193–198.
- [15] 赵节昌. 响应面法优化酸枣仁蛋白提取工艺[J]. *食品科学*, 2013, 34(16): 134–138.  
Zhao JC. Optimization of protein extraction from ziziphi spinosae semen by response surface methodology [J]. *Food Sci*, 2013, 34(16): 134–138.

(责任编辑: 杨翠娜)

## 作者简介



祝洪艳, 讲师, 博士, 主要研究方向为中药研究开发。  
E-mail: popzhy@163.com



张连学, 教授, 博导, 主要研究方向为药用植物栽培与加工。  
E-mail: zlxbooksea@163.com