

# 响应面法优化超声波辅助乙醇-K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>双水相提取红景天苷

何自强\*, 张惠玲, 苏天明

武汉生物工程学院化学与环境工程系, 武汉 430415

**摘要:** 讨论三种不同的双水相提取红景天苷, 筛选出乙醇-K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 为适合的双水相体系。以西藏野生大花红景天为原料, 研究超声波辅助乙醇-K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 双水相提取红景天苷的提取条件。以单因素试验为基础, 根据 Box-Behnken 试验设计原理和响应面法, 分析乙醇体积分数、液固比、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度、超声温度、超声时间 5 个因素及两因素交互作用对红景天苷提取率的影响, 确定红景天苷提取的最佳工艺参数。结果表明: 在乙醇体积分数 51%, 液固比 6 mL/g, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度 0.16 g/mL, 超声温度 57 °C, 超声时间 45 min 时, 红景天苷提取率最大, 为 45.4%。与预测值 45.1% 基本相符, 说明回归模型有效。与超声波辅助乙醇法相比, 红景天苷提取率有大幅提高。

**关键词:** 红景天苷; 双水相体系; 超声波辅助; 提取; 响应面法

中图分类号: O658.2

文献标识码: A

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2018.7.027

## Optimization of Ultrasonic-assisted Ethanol-K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> Aqueous Two-phase Extraction of *Salidroside* by Response Surface Methodology

HE Zi-qiang\*, ZHANG Hui-ling, SU Tian-ming

Department of Chemical and Environmental Engineering, Wuhan Bioengineering Institute, Wuhan 430415, China

**Abstract:** Discussing three different aqueous two-phase extractions of salidroside, selected ethanol-K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> as suitable aqueous two-phase system. Using wild Tibetan *Rhodiola crenulata* as the raw material, study the condition of the ultrasound-assisted ethanol-K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> aqueous two-phase extraction of salidroside. Based on the single factor test, according to the Box-Behnken test design principle and response surface methodology, analyze five factors of ethanol volume fraction, liquid-solid ratio, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> concentration, ultrasonic temperature, ultrasonic time, and each two of them interacted with each other on the effect of salidroside extraction rate, determine the optimal process parameters for salidroside extraction. The results showed that the highest extraction rate of salidroside was 45.4% when the ethanol volume fraction was 51%, the liquid-solid ratio was 6 mL/g, the K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> concentration was 0.16 g/mL, the ultrasonic temperature was 57 °C, and the ultrasonic time was 45 min. It is basically consistent with the predicted value of 45.1%, indicating that the regression model is effective. Compared with the ultrasound-assisted ethanol method, the extraction rate of salidroside is greatly increased.

**Key words:** salidroside; aqueous two-phase system; ultrasonicassit; extraction; response surface methodology

红景天 (*Rhodiola* L.), 属蔷薇目景天科 (crassulaceae), 为多年生草本或灌木植物, 喜生于高山坡湿地或石缝中, 青藏高原为我国主产地<sup>[1-3]</sup>。红景天中多以苷类形式存在, 红景天苷为主要有效成分之一<sup>[4,5]</sup>。红景天苷, 化学名称为(4-羟基-苯基)-(-D-吡喃葡萄糖 (化学结构如图 1), 无色透明针状结晶, mp. 158 ~ 160 °C, 溶于水、乙醇、正丁醇<sup>[6,7]</sup>。现代

研究表明, 红景天苷具有改善学习记忆能力、清除自由基、抗微波辐射、延缓细胞老化及抗癌等作用, 可治疗咯血、肺炎咳嗽、高血压、风湿、糖尿病、冠心病等症, 在多个领域具有较重要的应用价值<sup>[8,9]</sup>。

双水相萃取是一种绿色环保的新型液-液萃取分离技术。目前已被广泛用于生物工程、中草药有效成分分离和重金属分离等方面, 尤其适用于活性要求高、产物浓度低的天然产物的分离<sup>[10-14]</sup>。本文首先根据乙醇-(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、乙醇-K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>、乙醇-Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 三种双水相体系超声提取红景天苷的结果, 选取乙醇-K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 作为本实验的双水相; 利用超声波

收稿日期: 2017-05-28 接受日期: 2017-09-01

基金项目: 湖北省教育厅科学技术研究项目 (B2016307); 武汉市教育局资助项目 (2017166)

\* 通信作者 E-mail: hzq.0728@163.com

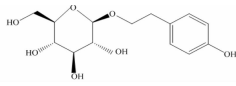


图1 红景天苷的化学结构

Fig. 1 Chemical structure of salidroside

与乙醇- $K_2HPO_4$  双水相体系相结合的方法提取红景天苷。通过响应面试验优化单因素试验结果,得到提取红景天苷的最佳工艺条件,以提高红景天苷的提取率。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

红景天购自安徽亳州,经园林系袁飞荣副教授鉴定为西藏野生大花红景天;红景天苷标准品(HPLC  $\geq$  98%,批号:20160819);上海金穗生物科技有限公司;乙醇、 $(NH_4)_2SO_4$ 、 $K_2HPO_4$ 、 $Na_2HPO_4$  均为 AR。

### 1.2 仪器与设备

AUY120 型电子天平;日本岛津公司;DHG-

9053A 型电热恒温鼓风干燥箱:上海一恒科技有限公司;TU-1810 型紫外可见分光光度计:北京普析通用仪器有限责任公司;SK3300H 型超声波清洗仪(59KHZ):上海科导超声仪器有限公司;RE-52AAA 型旋转蒸发器:上海嘉鹏科技有限公司;TG16-WS 型台式高速离心机:长沙湘智离心机仪器有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 标准溶液的配制

精确称取 10 mg 红景天苷标准品,加蒸馏水定容至 10 mL 容量瓶中,摇匀即得 1 mg/mL 的红景天苷标准溶液。

#### 1.3.2 双水相体系的选取

称取 5.0 g 红景天粉 3 份于具塞锥形瓶中,再分别加入浓度为 0.2 g/mL 的  $(NH_4)_2SO_4$  /  $K_2HPO_4$  /  $Na_2HPO_4$ ,均在相同试验条件下提取 3 次。试验结果见表 1。

表 1 三种双水相体系的试验结果

Table 1 Experimental results of three aqueous two-phase systems

双水相体系 Aqueous two-phase system	结果 Result
乙醇- $(NH_4)_2SO_4$	溶液分层明显,但上清液用蒸馏水稀释后,有大量不溶颗粒,且提取率不稳定。
乙醇- $K_2HPO_4$	溶液分层明显,上清液用蒸馏水稀释后,溶液澄清,提取率稳定。
乙醇- $Na_2HPO_4$	大量 $Na_2HPO_4$ 在乙醇中不溶。

综合考虑,选择乙醇- $K_2HPO_4$  为最佳双水相体系。

#### 1.3.3 单因素试验

精确称取 5.0 g 红景天粉末,加入具塞锥形瓶中,在按照不同提取条件配制的一定体积不同浓度的乙醇- $K_2HPO_4$  溶液中浸泡 12 h 后,将五个试验因素乙醇体积分数、液固比、 $K_2HPO_4$  浓度、超声温度、超声时间中的一个作为变量,固定其他四个,提取后抽滤得粗提液,然后减压蒸馏出乙醇,浓缩液在离心机中以 7 500 rpm 的转速离心 5 min,上清液待用。

#### 1.3.4 红景天苷提取率的计算

精确移取适量上清液于一定体积的容量瓶中,蒸馏水定容,在 276 nm 处测其吸光度,并计算红景天苷提取率。

红景天苷提取率(%) = 红景天苷含量/红景天粉质量  $\times$  100%

#### 1.3.5 响应面试验

根据单因素试验结果和响应面中心组合试验设计原理,选取以上 5 个试验因素为响应因素,红景天

苷提取率为响应值,运用 Design-Expert 8.0.6.1 软件设计五因素三水平响应面试验。结果见表 2。

## 2 结果与讨论

### 2.1 最大吸收波长的确定<sup>[15]</sup>

分别精确移取红景天苷标准溶液 0.5 mL、红景天苷提取液 0.1 mL 于一定体积容量瓶,蒸馏水定容,在 200 ~ 400 nm 之间光谱扫描,结果见图 2。

图 2 表明,红景天苷标准液和提取液均在 276 nm 有最大吸收,故选择测定波长为 276 nm。

### 2.2 标准曲线的绘制<sup>[16]</sup>

精确移取 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 mL 红景天苷标准溶液,加蒸馏水定容至 10 mL 容量瓶中。于 276 nm 处扫描光谱,以蒸馏水作空白测吸光度。重复三次,计算平均值。运用 Excel 绘制标准曲线,得到回归方程为:  $A = 4.8911C - 0.007$ ,  $R^2 = 0.9985$ 。

### 2.3 单因素试验结果

#### 2.3.1 乙醇体积分数对红景天苷提取率的影响

称取 5.0 g 红景天粉,在液固比为 4 mL/g、

K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度为 0.2 g/mL、超声温度为 40 ℃、超声时间为 20 min,分别在乙醇体积分数 40% ~ 90% 下

提取。结果如图 3 所示。

表 2 Box-Behnken 试验因素与水平

Table 2 Factors and levels of Box-Behnken design

因素 Factors	水平 Levels		
	-1	0	1
A 乙醇体积分数 The volume fraction of ethanol (%)	40	50	60
B 液固比 Liquid-solid ratio (mL/g)	4	5	6
C K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 浓度 K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> concentration (g/mL)	0.15	0.20	0.25
D 超声温度 Ultrasonic temperature (℃)	50	60	70
E 超声时间 Ultrasonic time (min)	35	40	45

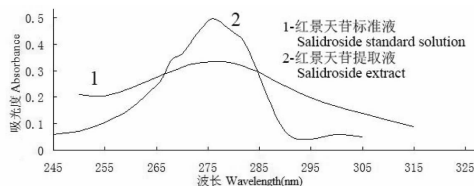


图 2 最大吸收波长的测定

Fig. 2 Determination of maximum absorption wavelength

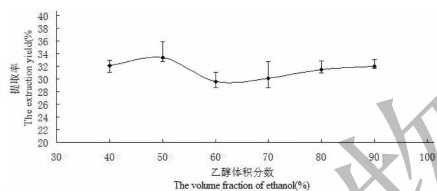


图 3 乙醇体积分数对红景天苷提取率的影响

Fig. 3 Effect of ethanol volume fraction on the extraction rate of salidroside

由图 3 可知,随乙醇浓度增加,红景天苷溶解度增大,提取率随之增大,乙醇体积分数 50% 时达到最大。但继续增加乙醇体积分数,影响了双水相的分水能力,结果红景天苷提取率下降。因此,乙醇体积分数选取 50% 较适宜。

### 2.3.2 液固比对红景天苷提取率的影响

称取 5.0 g 红景天粉,在乙醇体积分数为 50%、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度为 0.2 g/mL、超声温度为 40 ℃、超声时间为 20 min,分别在液固比 3 ~ 20 mL/g 下提取。结果如图 4 所示。

由图 4 可知,液固比在 3 ~ 5 mL/g 时,增大液固比使红景天苷溶出加快,但液固比大于 5 mL/g 时,其他杂质大量溶出,提取率下降。因此,液固比选取 5 mL/g 较适宜。

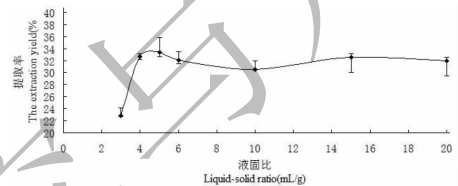


图 4 液固比对红景天苷提取率的影响

Fig. 4 Effect of liquid-solid ratio on the extraction rate of salidroside

### 2.3.3 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度对红景天苷提取率的影响

称取 5.0 g 红景天粉,在乙醇体积分数为 50%、液固比为 5 mL/g、超声温度为 40 ℃、超声时间为 20 min,分别在 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度 0.1 ~ 0.5 g/mL 下提取。结果如图 5 所示。

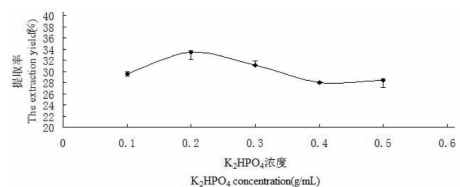


图 5 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度对红景天苷提取率的影响

Fig. 5 Effect of K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> concentration on the extraction rate of salidroside

由图 5 可知,红景天苷提取率最大时,K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 的浓度 0.2 g/mL。可能该浓度时的盐析作用最强,双水相的分相能力最大,红景天苷的溶解度最大。因此,K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度选取 0.2 g/mL 较适宜。

### 2.3.4 超声温度对红景天苷提取率的影响

称取 5.0 g 红景天粉,在乙醇体积分数为 50%、液固比为 5 mL/g、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度为 0.2 g/mL、超声时间为 20 min,分别在超声温度 20 ~ 80 ℃ 下提取。结果如图 6 所示。

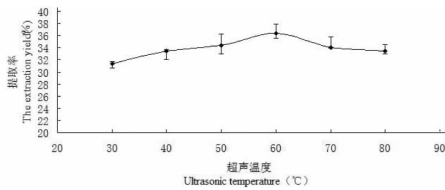


图6 超声温度对红景天苷提取率的影响

Fig. 6 Effect of ultrasonic temperature on the extraction rate of salidroside

由图6可知,60℃超声提取时红景天苷提取率最大,继续升高温度使红景天苷分解加快,提取率下降。因此,超声温度选取60℃较适宜。

### 2.3.5 超声时间对红景天苷提取率的影响

称取5.0 g红景天粉,在乙醇体积分数为50%、液固比为5 mL/g、 $K_2HPO_4$ 浓度为0.2 g/mL、超声温度为60℃,分别在超声时间10~60 min下提取。结果如图7所示。

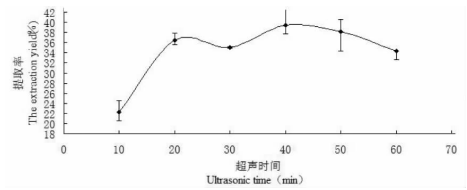


图7 超声时间对红景天苷提取率的影响

Fig. 7 Effect of ultrasonic time on the extraction rate of salidroside

由图7所示,在10~30 min时,可能因大量杂质随时间不断溶出,红景天苷提取率由大变小;30 min后,加快了红景天苷的溶出,但超声时间越长,红景天苷水解,提取率变化也呈现此趋势。因此,超声时间选取40 min较适宜。

## 2.4 响应面优化试验结果

试验方案及结果见表3。

表3 响应面优化试验分析方案及结果

Table 3 Experimental design and results of response surface analysis

试验号 No.	A 乙醇体积分数 Volume fraction of ethanol (%)	B 液固比 Liquid-solid ratio (mL/g)	C $K_2HPO_4$ 浓度 $K_2HPO_4$ concentration (g/mL)	D 超声温度 Ultrasonic temperature (°C)	E 超声时间 Ultrasonic time (min)	Y 红景天苷提取率 Extraction yield of salidroside (%)
1	50	5	0.20	60	40	38.9
2	50	6	0.15	60	40	43.4
3	50	5	0.20	60	40	42.1
4	60	5	0.20	70	40	32.5
5	50	5	0.20	60	40	40.8
6	50	4	0.15	60	40	30.6
7	50	5	0.20	50	45	37.6
8	40	5	0.15	60	40	35.3
9	50	5	0.25	50	40	32.7
10	40	5	0.20	50	40	32.1
11	50	6	0.20	70	40	34.8
12	60	6	0.20	60	40	36.6
13	60	5	0.25	60	40	35.4
14	50	5	0.20	70	45	35.0
15	50	5	0.25	70	40	31.1
16	50	5	0.20	60	40	41.4
17	50	5	0.20	70	35	33.5
18	40	5	0.20	60	45	36.2
19	60	4	0.20	60	40	34.8
20	50	5	0.20	60	40	40.4

续表 3 (Continued Tab. 3)

试验号 No.	A 乙醇体积分数 Volume fraction of ethanol (%)	B 液固比 Liquid-solid ratio (mL/g)	C K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 浓度 K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> concentration (g/mL)	D 超声温度 Ultrasonic temperature (°C)	E 超声时间 Ultrasonic time (min)	Y 红景天苷提取率 Extraction yield of salidroside (%)
21	50	4	0.20	60	45	32.1
22	50	5	0.20	60	40	40.4
23	40	5	0.25	60	40	28.7
24	40	5	0.20	70	40	31.9
25	40	5	0.20	60	35	33.9
26	60	5	0.15	60	40	40.2
27	50	5	0.25	60	35	30.1
28	50	5	0.15	70	40	35.8
29	50	5	0.20	50	35	35.0
30	50	4	0.20	50	40	31.1
31	50	4	0.20	70	40	30.7
32	60	5	0.20	60	45	40.8
33	50	5	0.15	50	40	37.6
34	50	6	0.20	60	45	42.9
35	60	5	0.20	60	35	37.7
36	60	5	0.20	50	40	36.5
37	50	6	0.20	50	40	39.7
38	50	5	0.25	60	45	36.7
39	40	4	0.20	60	40	27.8
40	50	6	0.20	60	35	34.9
41	50	5	0.15	60	45	39.3
42	50	4	0.20	60	35	34.0
43	50	4	0.25	60	40	32.0
44	40	6	0.20	60	40	35.9
45	50	5	0.15	60	35	37.5
46	50	6	0.25	60	40	33.3

如表 3 所示,优化试验共 46 组,其中 40 组为不同的析因试验,6 组为相同的中心试验(各因素水平均为 0),中心试验可估算试验误差。

拟合试验数据,建立二次多元回归方程: $Y = 40.67 + 2.04A + 3.02B - 2.48C - 1.06D + 1.50E - 1.57AB + 0.45AC - 0.95AD + 0.20AE - 2.87BC - 1.13BD + 2.47BE + 0.050CD + 1.20CE - 0.28DE - 3.09A^2 - 3.24B^2 - 2.81C^2 - 3.82D^2 - 1.35E^2$ ,对其进行方差分析,结果见表 4。

对表 4 中数据进行分析,由模型  $P$  值 ( $< 0.000 1$ ,差异极显著)和失拟项  $P$  值 ( $= 0.630 4 > 0.05$ ,差异不显著)可知,该模型拟合程度较好;红景天苷提

取率与各试验因素之间的线性关系显著 ( $R^2 = 0.961 6$ );校正系数  $R_{Adj}^2 = 0.930 9$ ,93.09% 的红景天苷提取率变化可用该模型解释;因此可用该模型分析和预测红景天苷提取率。由  $F$  值可知,五个因素对提取率显著性影响顺序为:液固比 (B) > K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度 (C) > 乙醇体积分数 (A) > 超声时间 (E) > 超声温度 (D);由  $P$  值可知,一次项中,5 个因素均对提取率影响极显著;二次项中,5 个因素均对提取率影响极显著;交互项中,乙醇体积分数与液固比、液固比与 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度、液固比与超声时间之间作用对提取率的影响极显著,液固比与超声温度、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度与超声时间之间作用显著。

表4 方差分析表

Table 4 Variance analysis table

方差来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F Value	P 值 p-value	显著性 Significance
模型 Model	660.66	20	33.03	31.30	<0.0001	**
A	66.83	1	66.83	63.32	<0.0001	**
B	146.41	1	146.41	138.71	<0.0001	**
C	98.51	1	98.51	93.33	<0.0001	**
D	18.06	1	18.06	17.11	0.0003	**
E	36.00	1	36.00	34.11	<0.0001	**
AB	9.92	1	9.92	9.40	0.0051	**
AC	0.81	1	0.81	0.77	0.3894	
AD	3.61	1	3.61	3.42	0.0763	
AE	0.16	1	0.16	0.15	0.7003	
BC	33.06	1	33.06	31.32	<0.0001	**
BD	5.06	1	5.06	4.80	0.0381	*
BE	24.50	1	24.50	23.21	<0.0001	**
CD	$1.000 \times 10^{-2}$	1	$1.000 \times 10^{-2}$	$9.474 \times 10^{-3}$	0.9232	
CE	5.76	1	5.76	5.46	0.0278	*
DE	0.30	1	0.30	0.29	0.5971	
A <sup>2</sup>	83.53	1	83.53	79.14	<0.0001	**
B <sup>2</sup>	91.36	1	91.36	86.55	<0.0001	**
C <sup>2</sup>	68.93	1	68.93	65.31	<0.0001	**
D <sup>2</sup>	127.27	1	127.27	120.58	<0.0001	**
E <sup>2</sup>	15.95	1	15.95	15.12	0.0007	**
残差 Residual	26.39	25	1.06			
失拟项 Lack of Fit	20.51	20	1.03	0.87	0.6304	
误差项 Pure Error	5.87	5	1.17			
$R^2 = 0.9616,$ $R^2_{Adj} = 0.9309$	687.04	45				

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

Note: \*\*  $P < 0.01$ , very significant difference; \*  $P < 0.05$ , significant difference.

为评价乙醇体积分数与液固比(AB)、液固比与 $K_2HPO_4$ 浓度(BC)、液固比与超声时间(BE)、液固比与超声温度(BD)、 $K_2HPO_4$ 浓度与超声时间(CE)交互作用对红景天苷提取率的显著影响及确定各因素的最佳水平范围,分别绘制如图8的响应面图和等高线图。从响应面和等高线形状可看出两试验因素的影响是否显著,响应曲面较陡和椭圆形等高线说明两试验因素交互作用显著,响应曲面较平和圆形等高线说明不显著。

以上响应面图曲面形状均较陡,等高线图均呈明显的椭圆形,说明各交互作用均较为显著。求解

二次多元回归方程,最佳提取红景天苷工艺为乙醇体积分数51.09%,液固比为6 mL/g, $K_2HPO_4$ 浓度0.16 g/mL,超声温度56.59℃,超声时间45 min,提取率预测值为45.1%。

## 2.5 验证试验

为方便操作,验证试验在乙醇体积分数为51%,液固比为6 mL/g, $K_2HPO_4$ 浓度为0.16 g/mL,超声温度为57℃,超声时间为45 min的条件下进行5次平行试验,红景天苷提取率分别为44.9%、46.4%、44.7%、45.3%、45.7%。结果分析如表5所示。

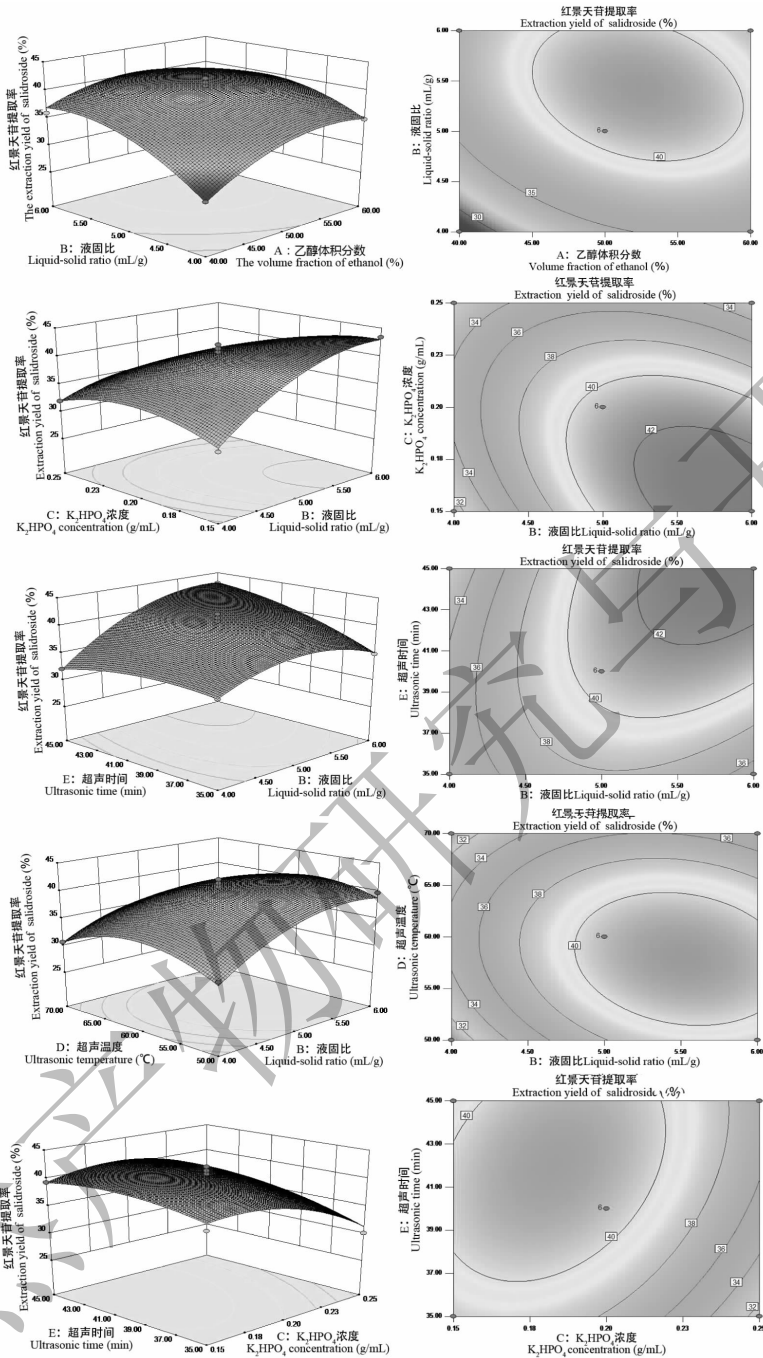


图 8 乙醇体积分数 (A) 与液固比 (B)、液固比 (B) 与 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度 (C)、液固比 (B) 与超声时间 (E)、液固比 (B) 与超声温度 (D)、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 浓度 (C) 与超声时间 (E) 对红景天苷提取率交互影响的响应面图和等高线图

Fig. 8 Response surface and contour plots of the interaction of ethanol volume fraction (A) and liquid-solid ratio (B), liquid-solid ratio (B) and K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> concentration (C), liquid-solid ratio (B) and ultrasonic time (E), liquid-solid ratio (B) and ultrasonic temperature (D), K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> concentration (C) and ultrasonic time (E) on the extraction yield of salidroside

由表 5 可知, 试验结果可靠。

### 2.6 不同提取方法的比较

按以上最佳提取工艺条件, 以超声波辅助乙醇法进行 3 次平行实验, 红景天苷提取率分别为

20.6%、19.5%、18.3%。与 2.5 验证试验结果比较可知, 以乙醇-K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 作为双水相提取红景天苷, 提取率有大幅提高。

表5 验证试验结果分析

Table 5 Results of confirmation experiments

理论值 Theoretical value ( $\mu_0$ )	试验值 Trial value ( $\bar{x}$ )	试验值标准差 Standard deviation of experimental value (s)	t 检验值 t test value	$t_{0.025}(4)$	差异显著性 Significance of difference
45.1%	45.4%	0.68%	0.989	2.776	无显著差异

### 3 结论

本实验采用的乙醇- $K_2HPO_4$  为亲水性有机溶剂/无机盐双水相体系,避免了传统的双水相原料成本较高、回收困难等缺点,与超声波辅助乙醇法相比,提取率有大幅度的提高,且操作条件温和、操作简单、选择性强、易于连续化操作、无有机溶剂残留、污染,适合大规模工业提取。选择5个因素乙醇体积分数、液固比、 $K_2HPO_4$  浓度、超声温度、超声时间进行单因素试验,得出各因素最佳提取条件,以此为基础进行响应面优化试验,由回归模型预测超声波辅助乙醇- $K_2HPO_4$  双水相提取红景天苷的最佳工艺。结果表明:在乙醇体积分数51%, $K_2HPO_4$  浓度0.16 g/mL 的双水相体系中,液固比为6 mL/g,超声温度为57℃,超声时间为45 min 为最佳提取条件,红景天苷提取率为45.4%。验证值与预测值基本相符,该工艺可靠性和稳定性较好,对红景天苷的进一步开发有一定指导意义。

#### 参考文献

- Li BQ(李炳奇), Ma YM(马彦梅). Chemistry of natural product(天然产物化学)[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010:131-133.
- Wang XF(王兴芳), Li Y(李莹), Song JG(宋金国), et al. Extraction process of salidroside from *Rhodiola rosea* [J]. *J Gansu Agric Univ* (甘肃农业大学学报), 2015, 50: 136-142.
- Zeng QH(曾庆华), Wang ZJ(王竹君), Li Y(李燕). Optimization of salidroside extraction with hot reflux by response surface[J]. *J Anhui Agric Sci* (安徽农业科学), 2013, 41: 309-313.
- Cheng ZY(程子毓), Chen YT(陈元涛), Zhao GZ(赵耿藏), et al. Study on the extraction technology of salidroside from the root of *Rhodiola rosea* L. under high pressure[J]. *J Anhui Agric Sci* (安徽农业科学), 2008, 36:8139-8140.
- Pu ZH(蒲忠慧), Chen XW(陈希文), Wang XQ(王雄清), et al. Uniform design method for optimizing the extraction technology of salidroside[J]. *Food Res Dev* (食品研究与开发), 2016, 37(14): 51-54.
- Yu XJ(余秀娟), Gou YD(苟迎娣), Wang LL(王骊丽). Extraction and determination of salidroside in *Rhodiola rosea* drop pills[J]. *J Hebei North Univ: Nat Sci* (河北北方学院学报: 自科版), 2013, 29(3): 82-84.
- Liu D(刘迪), Zhang YF(张越非), Liu Z(刘哲), et al. Optimization of extraction of salidroside and tyrosol by response surface methodology[J]. *J Wuhan Inst Tech* (武汉大学学报), 2015, 37(9): 1-9.
- Han XJ(韩雪娇), Guo N(郭娜), Zhu MX(朱美宣), et al. Research progress in pharmacological activities and related mechanism of salidroside[J]. *Chin J Biochemical Med* (中国生化药物杂志), 2015, 35: 171-175.
- Yang L(杨柳), Zhang MP(张美萍), Jiang SP(蒋世翠), et al. Salidroside glycoside extraction process optimization [J]. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2009, 21: 160-163.
- Liu LL(刘磊磊), Li XN(李秀娜), Zhao S(赵帅). Advances in application of aqueous two-phase system in separation and purification of active constituents from Chinese materia medica[J]. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2015, 46:766-773.
- Ma CH(马春宏), Zhu H(朱红), Wang L(王良), et al. Application and progress of aqueous two-phase extraction technology[J]. *Chin J Spec Lab* (光谱实验室), 2010, 27: 1906-1914.
- Ge YR(戈延茹), Cao HJ(曹恒杰). Application of aqueous two phase extraction in drug extraction and separation[J]. *Chin J Mod Appl Pharm* (中国现代应用药学杂志), 2009, 26:623-627.
- Zhao ZM(赵子铭), Fu G(付刚), Li C(李诚). Optimization of microwave-assisted extraction of salidroside from *Rhodiola rosea* by response surface methodology[J]. *Food Sci* (食品科学), 2013, 34: 147-151.



- 14 Fan Y (范勇), Lu YM (卢艳敏), Cui B (崔波). Application of aqueous two-phase systems for extraction and purification of biological products. *Food Ferment Ind* (食品与发酵工业), 2015, 41:268-273.
- 15 Li ZY (李志英), Zhi X (智新), Zhang Y (张焱), et al. Ultrasonic coupling extraction with ethanol ammonium sulfate aqueous two-phase system of licorice flavonoids in research [J]. *Food Res Dev* (食品研究与开发), 2015, 36:101-104.
- 16 Fu YH (付幼华). Parameters optimization of salidroside from *Rhodiola rosea* using response surface methodology [J]. *Guangdong Agric Sci* (广东农业科学), 2013, 10:101-103.

## 《天然产物研究与开发》青年编委会

青年编委 (以姓氏笔划为序)

Members

丁克	王红兵	戈惠明	尹文兵	尹胜	吕兆林
DING Ke	WANG Hongbing	GE Huiming	YIN Wenbing	YIN Sheng	LV Zhaolin
伍婉卿	刘相国	孙昊鹏	孙桂波	孙黔云	李芸霞
WU Wanqing	LIU Xiangguo	SUN Haopeng	SUN Guibo	SUN Qianyun	LI Yunxia
李良成	李国友	邱莉	汪海波	沐万孟	张炳火
LI Liangcheng	LI Guoyou	QIU Li	WANG Haibo	MU Wanmeng	ZHANG Binghuo
陈益华	林茂祥	林昌俊	欧阳杰	易华西	罗应刚
CHEN Yihua	LIN Maoxiang	LIN Changjun	OU Yangjie	YI Huaxi	LUO Yinggang
周文	胡友财	袁涛	夏永刚	高慧敏	唐金山
ZHOU Wen	HU Youcai	YUAN Tao	XIA Yonggang	GAO Huimin	TANG Jinshan
黄胜雄	韩淑燕	蓝蔚青	廖晨钟	潘卫东	薛永波
HUANG Shengxiong	HAN Shuyan	LAN Weiqing	LIAO Chenzhong	PAN Weidong	XUE Yongbo