

# 浓缩 - 结晶法制备辣椒碱类化合物工艺

张虽栓<sup>1</sup>, 蔡花真<sup>1,\*</sup>, 张根明<sup>1</sup>, 曹德彧<sup>2</sup>

(1.河南质量工程职业学院, 河南 平顶山 467000; 2.中平能化集团天宏焦化公司, 河南 平顶山 467000)

**摘要:**以辣椒油树脂为原料, 研究浓缩、皂化和结晶条件对辣椒碱类化合物提取率和纯度的影响。采用单因素和正交试验设计优化辣椒油树脂浓缩和辣椒碱类化合物的提取工艺。结果表明: 影响辣椒油树脂浓缩效果的4个因素是甲醇体积分数>浸提温度>甲醇溶液用量>浸提时间, 影响辣椒碱类化合物提取率的4个因素依次为皂化时间>pH值>结晶温度>NaOH质量分数; 获得最佳工艺条件: 质量分数1.5%的辣椒油树脂用体积分数80%甲醇浓缩得到质量分数36%的辣椒提取物, 直接用质量分数10% NaOH溶液在50℃条件下皂化4h, 然后在5℃用稀盐酸调节pH7.0, 静置结晶, 提取率为86.67%。产品经HPLC分析, 纯度达97.87%。

**关键词:**辣椒油树脂; 辣椒碱类化合物; 提取工艺; 皂化; 正交试验

## Preparation of Capsaicin by Condensation and Crystallization

ZHANG Sui-shuan<sup>1</sup>, CAI Hua-zhen<sup>1,\*</sup>, ZHANG Gen-ming<sup>1</sup>, CAO De-yu<sup>2</sup>

(1. Henan Quality Polytechnic, Pingdingshan 467000, China;

2. Tianhong Coking Company, Zhongping Energy Chemical Group, Pingdingshan 467000, China)

**Abstract:** Capsicum oleoresin was used as the raw material to explore the effect of condensation, saponification and crystallization on the purity and extraction rate of capsaicinoids. The optimal extraction processing conditions of capsaicin were investigated by single-factor and orthogonal experiments. Results indicated that four factors for affecting condensation efficiency according to the order from strong to weak were methanol concentration, extraction temperature, material-liquid ratio and extraction time. Similarly, four factors for affecting extraction rate of capsaicin according to the order from strong to weak were saponification time, pH, crystallization temperature and sodium hydroxide concentration during crystallization process. Therefore, the optimal processing parameters were 80% methanol using for the extract condensation, 10% sodium hydroxide using for saponification for 4 h at 50 °C, pH adjustment to 7.0 using hydrochloric acid at 5 °C, and then settle down and crystallization. The yield of capsaicin was up to 86.67% under the optimal processing conditions. The purity of capsaicin was 97.87% determined by HPLC.

**Key words:** capsicum oleoresin; capsaicinoids; extraction method; saponification; orthogonal experiment

中图分类号: TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2010)24-0128-06

辣椒碱是从茄科类植物辣椒果实中分离的一种极辛辣的香草酰胺类生物碱, 其主要成分结构见图1。其易溶于乙醇、甲醇、石油醚、丙酮、正己烷、三氯甲烷等有机溶剂及碱性水溶液, 难溶于冷水<sup>[1-4]</sup>。具有消炎、镇痛、促进脂肪代谢、促进食欲、改善消化、抗菌杀虫及对神经递质的选择性等药理作用<sup>[5-9]</sup>, 因此, 高纯辣椒碱类化合物已被广泛用于医药领域和食品添加剂行业。我国作为辣椒的资源大国, 研究高纯辣椒碱类化合物的制备技术为解决“三农”问题具有重要的实用意义和经济价值。

目前, 制备高纯度辣椒碱的常用方法主要有硅胶柱

层析法、结晶法、离子交换法、大孔吸附树脂法和超临界流体萃取法等。

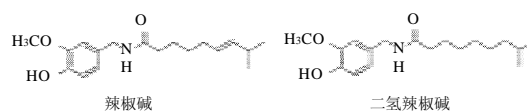


图1 辣椒碱类化合物的结构

Fig.1 Structures of capsaicinoids

萃取-结晶法<sup>[10-14]</sup>是一种用有机溶剂从辣椒中将辣椒碱类化合物提取出来, 经过皂化、萃取、结晶制得辣

收稿日期: 2010-09-21

作者简介: 张虽栓(1970—), 男, 讲师, 硕士, 研究方向为食品与药物化学。E-mail: zhangsuishuan@126.com

\* 通信作者: 蔡花真(1966—), 女, 副教授, 高级工程师, 硕士, 研究方向为食品检测及食品加工工艺。

E-mail: chz1128@126.com

辣椒碱的生产工艺。张世文等<sup>[13]</sup>以低浓度的辣椒油树脂(辣椒碱类化合物含量 6.83%)为原料,用质量分数 2% 的氢氧化钠溶液皂化后,以质量分数 5% 稀硫酸调节 pH 值,用正己烷进行萃取,浓缩后得到纯度达 85% 以上的辣椒碱类化合物粗品,再加以结晶,纯度则可达 92.5%。张彦雄等<sup>[15]</sup>采用溶剂法和超临界 CO<sub>2</sub> 萃取相结合的工艺,开发的辣椒深加工方法可得到总碱含量达 96% 的辣椒碱产品。这些直接皂化、结晶的方法增加了皂化剂的用量和废物的处理成本,浪费了溶剂,降低了辣椒碱的提取率。超临界萃取的方法由于成本过高,不适合广泛推广。

硅胶柱层析法是以硅胶为固定相,逐步增加流动相的极性来分离、纯化辣椒碱类化合物的方法。曾仕康等<sup>[16]</sup>用丙酮、石油醚、95% 乙醇提取出辣椒油树脂,再以乙醚作为结晶溶剂,得到粗辣椒碱类化合物的晶体,再经硅胶柱层析纯化后结晶,得到辣椒碱类化合物,收率为 0.23% (以干辣椒为基准),纯度为 91.3%。这种方法可以有效地提纯辣椒碱,但是分离速率太慢,不利于工业生产。

其他的如酶法、离子交换法等方法存在操作复杂、收率偏低等不足,严重制约了工艺的推广。

本研究在有机溶剂提取、分离辣椒红色素和辣椒油树脂的研究<sup>[17-18]</sup>基础上,首先利用甲醇溶液对辣椒油树脂进行浓缩,得到高浓度的辣椒油树脂,然后进行皂化、调节 pH 值,在水溶液中直接结晶,制备高纯度的辣椒碱类化合物,减少了分离环节,降低了生产成本,为生产上提供切实可行的辣椒碱类化合物提取、分离、纯化技术,为辣椒的深加工提供可靠的生产技术。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

辣椒油树脂(辣椒碱含量为 1.5%) 自制。

甲醇、乙醇、氢氧化钠、丙酮、浓盐酸均为 AR 级;分析用甲醇为色谱级;辣椒碱标准品(纯度 97%) 贵州五贝子发展有限公司。

### 1.2 仪器与设备

普通玻璃仪器;LC-6A 高效液相色谱仪 日本岛津公司;SHZ-82 型水浴恒温箱 江苏教育玻璃厂;RE-52A 旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂;pHS-4C<sup>+</sup> 酸度计 上海医用仪表厂;ZK-82B 真空干燥箱 上海市实验仪器总厂。

### 1.3 辣椒碱类化合物检测方法<sup>[19-20]</sup>

色谱条件:色谱柱为 VP-ODS C<sub>18</sub> 柱(2.6mm × 250mm, 5 μm);柱温室温;检测波长 280nm;流动相为甲醇-水(含质量分数 0.1% 磷酸)(70:30, V/V);流速为 0.7mL/min;进样量 10 μL。根据保留时间定性,辣

椒碱、二氢辣椒碱、降二氢辣椒碱的峰面积定量。

### 1.4 辣椒碱类化合物提取率的计算

$$\text{辣椒碱类化合物提取率} / \% = \frac{m_1}{m_2 B} \times 100 \quad (1)$$

式中:  $m_1$  为辣椒碱类化合物质量 / g;  $m_2$  为辣椒油树脂的质量 / g;  $B$  为辣椒油树脂的质量分数 / %。

### 1.5 浓缩和精制方法

根据辣椒碱类化合物结构性质特点,该方法的工艺流程见图 2,首先取 100g 质量分数 1.5% 辣椒油树脂,用体积分数 80% 甲醇作为萃取剂,进行萃取、分离,浓缩甲醇相便得到含量达质量分数 36% 辣椒碱提取物 4.1g。该粗品用 5mL 质量分数 10% NaOH 溶液进行皂化 4h,加稀盐酸调节 pH7.0 左右,在 5℃ 条件下静止结晶约 2h,待充分结晶完毕后,过滤其结晶母液,将辣椒碱类化合物晶体在真空干燥箱内干燥处理,便可得到含量不低于 97% 的高纯度辣椒碱。

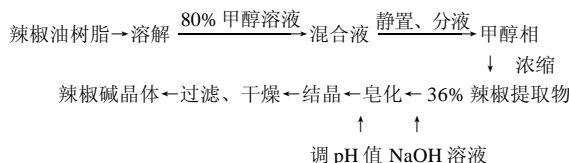


图2 辣椒碱类化合物的分离工艺流程

Fig.2 Extraction and separation of capsaicinoids from capsicum oleoresin

## 2 结果与分析

### 2.1 浓缩工艺条件的优化

从质量分数 1.5% 辣椒油树脂开始,考察了选用甲醇的体积分数、料液比、提取温度和提取时间对辣椒碱类化合物浓缩效果的影响。

#### 2.1.1 浓缩溶剂的选择

辣椒油树脂与乙醇、甲醇、正己烷及乙酸乙酯等有机溶剂均互溶,由于辣椒碱与辣椒红色素在不同体积分数的甲醇溶液中溶解度的不同,同时,甲醇又是一种良好的低沸点溶剂,且具有易分离的特点。因此,本实验采用甲醇的水溶液作为浓缩剂。

#### 2.1.2 甲醇体积分数对辣椒碱类化合物浓缩效果的影响

精确称取质量分数 1.5% 辣椒油树脂样品 25g 于锥形瓶中,分别加入 50mL 不同体积分数的甲醇溶液,于 50℃ 水浴中提取 4h,分液、浓缩,测定浓缩物中辣椒碱类化合物的提取率。

由图 3 可知,用 10%~80% 甲醇溶液分离辣椒碱时,随着甲醇溶液体积分数的增加,辣椒碱类化合物的提取率也逐步提高,当甲醇体积分数 80% 时,辣椒

红色素的溶解度最小,目标产物的含量达到最高;当甲醇体积分数高于80%时,随着色素与油脂类物质的溶解度的增大,辣椒碱类化合物提取率反而下降,故选用80% 甲醇溶液为浓缩剂。

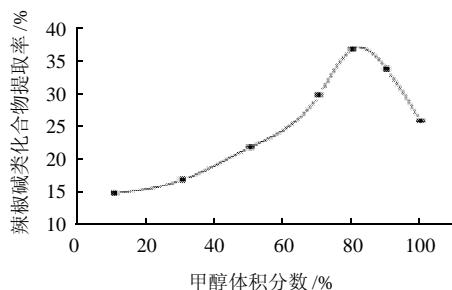


图3 甲醇体积分数对辣椒碱类化合物提取率的影响

Fig.3 Effect of methanol volume fraction on the content of capsaicin

### 2.1.3 甲醇用量对辣椒碱类化合物浓缩效果的影响

精确称取 1.5% 辣椒油树脂样品 20g/份,加入不同体积的 80% 甲醇溶液,在 50℃ 条件下提取 4h,浓缩后,测定浓缩物中辣椒碱类化合物的提取率。

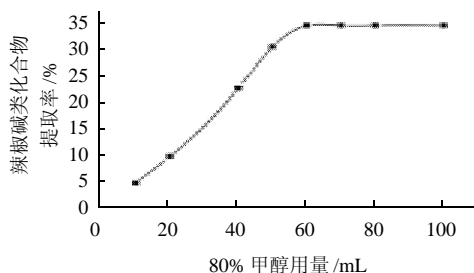


图4 甲醇溶液用量对辣椒碱类化合物提取率的影响

Fig.4 Effect of methanol solution dosage on the content of capsaicin

由图4可知,随着甲醇溶液用量的增加,辣椒碱类化合物的提取率也逐步提高,当80% 甲醇溶液用量为60mL时,效果最佳。当80% 甲醇溶液用量大于60mL时,所得辣椒碱类化合物的提取率变化不大,既浪费了试剂又增加了成本。故选用60mL 80% 甲醇溶液进行浓缩。

### 2.1.4 浸提温度对辣椒碱类化合物浓缩效果的影响

精确称取 1.5% 辣椒油树脂样品 20g 于锥形瓶中,加入 60mL 80% 甲醇溶液,分别在不同温度条件下浸提 4h,测定各种条件下得到浓缩物中辣椒碱类化合物的提取率。

由图5可知,随着浸提温度的升高,辣椒碱类化合物含量也在逐步增加。当温度在 50℃ 以上时,辣椒碱类化合物提取率反而降低。因为辣椒碱类化合物在甲

醇溶液中的溶解度随温度的升高而增大,但当温度过高则会导致辣椒碱类化合物的分解而含量降低。因此,浸提温度以 50℃ 左右为宜。

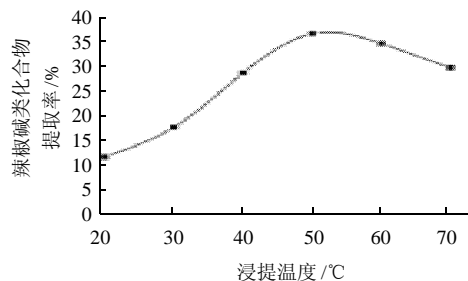


图5 浸提温度对辣椒碱类化合物提取率的影响

Fig.5 Effect of extraction temperature on the content of capsaicin

### 2.1.5 浸提时间对辣椒碱类化合物浓缩效果的影响

准确称取 1.5% 辣椒油树脂样品 20g 于锥形瓶中,加入 60mL 80% 甲醇溶液,在 50℃ 水浴条件下提取不同的时间,测定各种条件下浓缩物中辣椒碱类化合物的提取率。

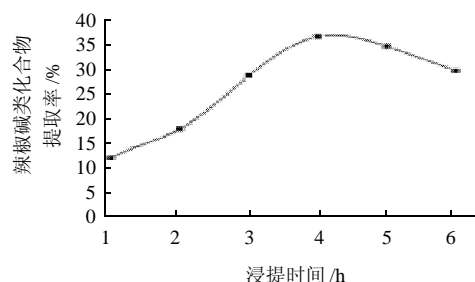


图6 浸提时间对辣椒碱类化合物提取率的影响

Fig.6 Effect of extraction time on the content of capsaicin

由图6可知,随着浸提时间的延长,辣椒碱类化合物的提取率在不断增加,质量分数达到37%。当浸提时间增大到4h以上时,辣椒碱类化合物的提取率则有所降低,可能是随着时间的延长,辣椒碱发生了水解的缘故,故选浸提时间为4h。

### 2.1.6 辣椒油树脂浓缩正交试验设计及结果分析

表1 辣椒油树脂浓缩正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiments for optimizing condensation processing of capsicum oleoresin

水平	A 提取温度 / °C	B 甲醇溶液用量 / mL	C 甲醇体积分数 / %	D 提取时间 / h
1	40	40	70	3
2	50	60	80	4
3	60	80	90	5

在单因素试验基础上,采用正交试验方案进一步考察浓缩液甲醇的体积分数、甲醇溶液用量、提取温度及提取时间4个因素对辣椒碱类化合物浓缩效果的影响。

响, 每个因素选择 3 个水平(表 1)。以辣椒碱类化合物在浓缩物中的含量为考核指标, 设计  $L_9(3^4)$  正交表进行试验。试验结果和数据处理极差分析见表 2, 方差分析结果见表 3。

表 2 辣椒油树脂浓缩  $L_9(3^4)$  正交试验设计及结果

Table 2 Results of orthogonal experiments for optimizing condensation processing of capsicum oleoresin

试验号	A	B	C	D	辣椒碱类化合物提取率/%
1	1	1	1	1	25.01
2	1	2	2	2	34.46
3	1	3	3	3	21.85
4	2	1	2	3	37.66
5	2	2	3	1	31.42
6	2	3	1	2	30.65
7	3	1	3	2	24.51
8	3	2	2	3	27.53
9	3	3	1	1	31.52
$k_1$	27.11	29.06	27.73	29.32	
$k_2$	33.24	31.14	34.55	29.87	
$k_3$	27.85	28.01	25.93	29.01	
R	6.14	5.13	8.62	0.86	

表 3 辣椒油树脂浓缩正交试验方差分析

Table 3 Variance analysis of orthogonal experiments for optimizing condensation processing of capsicum oleoresin

差异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
A	67.27	2	33.63	58.93	0.01669
B	15.22	2	7.16	13.33	0.06977
C	124.02	2	62.01	108.65	0.00912
D	1.14	2	0.57	23.56	0.00135
总和	207.65	8	103.83		

因素与水平对试验指标有明显的作用, 由表 2 可见, 一定范围内, 4 种因素对辣椒碱类化合物浓缩效果的影响程度依次为  $C > A > B > D$ 。其中提取时间对辣椒碱类化合物的浓缩效果影响较弱, 甲醇的体积分数和用量对辣椒碱类化合物浓缩效果影响较为显著, 4 种因素的优化组合为  $C_2A_2B_2D_2$ , 即甲醇体积分数 80%、用量 60mL、浸提温度 50℃、浸提时间 4h, 经验证, 质量分数 1.5% 的辣椒油树脂按上述最佳优化组合浓缩后, 辣椒碱类化合物的质量分数可达 36% 以上。

## 2.2 结晶工艺条件的优化

从 36% 辣椒油树脂开始, 考察了选用氢氧化钠溶液质量分数、皂化时间、pH 值与结晶温度对辣椒碱类化合物提取的影响。

### 2.2.1 NaOH 溶液质量分数对辣椒碱类化合物晶体提取效果的影响

称取 36% 辣椒提取物 25g/份, 加入 50mL 不同质量分数的 NaOH 溶液, 温度控制在 50℃, 搅拌皂化 4h,

过滤, 滤液加 5% 稀盐酸调 pH7.0 时, 经结晶得辣椒碱类化合物晶体, 结果见图 7。

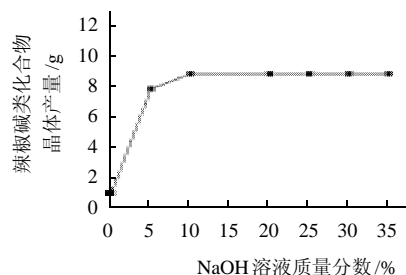


图 7 NaOH 溶液质量分数对辣椒碱类化合物晶体产量的影响

Fig.7 Effect of sodium hydroxide concentration on extraction rate of capsaicin

由图 7 可以看出, NaOH 溶液的质量分数为 10%, 所得辣椒碱类化合物晶体产量趋于最大值。实验发现, 当 NaOH 溶液的质量分数过高时, 碱液中溶有大量的油类物质, 给后期分离工作带来不便, 辣椒碱与脂肪酸的分离效果较差, 产品纯度降低。

### 2.2.2 皂化时间对辣椒碱类化合物提取效果的影响

称取 36% 辣椒提取物 25g/份, 加入 50mL 质量分数 10% NaOH 溶液, 在 50℃ 条件下皂化不同的时间, 测定辣椒碱类化合物产量, 结果见图 8。

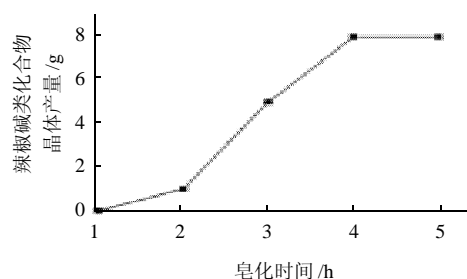


图 8 皂化时间对辣椒碱类化合物晶体产量的影响

Fig.8 Effect of saponification time on extraction rate of capsaicin

由图 8 可以看出, 在相同条件下, 皂化时间越久, 所得辣椒碱类化合物就越多。但是, 当皂化时间超过 4h, 所得辣椒碱类化合物的产量增加不明显, 所以以 4h 为宜。

### 2.2.3 pH 值对辣椒碱类化合物晶体提取效果的影响

取质量分数 36% 辣椒提取物 50g 于大三角瓶中, 加入 50mL 质量分数 10% NaOH 溶液 50℃ 皂化 4h, 分成 5 份, 加水稀释, 加酸调节不同 pH 值, 结晶, 分别得到辣椒碱类化合物晶体产量如图 9 所示。

由图 9 可看出, 最佳 pH7.0。当  $pH > 8$  时, 则乳化现象严重, 溶液成为均一单相, 辣椒碱类化合物损失较多, 基本得不到辣椒碱类化合物晶体; 当  $pH < 7$

时,溶液随着稀盐酸用量的增加,辣椒碱类化合物水解的量增加,且水相中辣椒碱类化合物含量大量减少,因此过量的酸会造成辣椒碱类化合物水解损失,结晶量减少;当  $\text{pH} < 4$ , 基本得不到辣椒碱类化合物晶体。综合考虑结晶时间和晶体性状,最适  $\text{pH}$  值为 7.0。

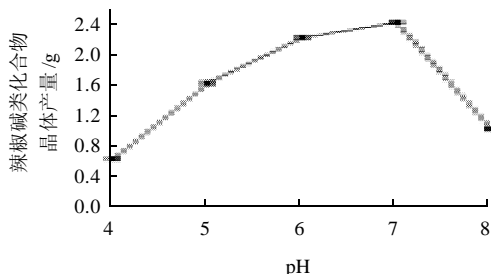


图9 pH值对辣椒碱类化合物晶体产量的影响

Fig.9 Effect of pH on extraction rate of capsaicin

#### 2.2.4 温度对辣椒碱类化合物晶体的影响

温度对结晶的影响较大,在  $\text{pH}$  值为 7.0 的条件下,分别考察了 20、10、5、 $-5^{\circ}\text{C}$  四种温度对结晶的影响,结果见表 4。

表4 温度对辣椒碱类化合物结晶效果的影响

Table 4 Effect of temperature on crystallization efficiency of capsaicinoids

结晶温度/ $^{\circ}\text{C}$	结晶时间/h	提取率/%	纯度/%	晶体形状
$-5$	5	78.4	98.6	粉末状晶体
5	2	85.6	98.7	片状晶体
10	2	78.3	97.4	片状晶体
20	10	76.2	96.7	片状晶体

由表 4 可知,温度从  $20^{\circ}\text{C}$  降至  $5^{\circ}\text{C}$  时,过饱和度增加,成核速度加快,故结晶时间变短,收率增大。当温度为  $-5^{\circ}\text{C}$  时,溶液分子运动速度减慢,成核速度与晶体生长速度随之减慢,故结晶时间又有所延长。结合工厂的经济效益考虑,以  $5^{\circ}\text{C}$  为宜。

#### 2.2.5 辣椒碱类化合物提取工艺正交试验

在单因素试验基础上,采用正交试验方案进一步考察结晶温度、 $\text{NaOH}$  溶液质量分数、皂化时间及  $\text{pH}$  值 4 个因素对辣椒碱提取效果的影响,每因素选取 3 个水平。以辣椒碱提取率为考核指标,设计  $\text{L}_9(3^4)$  正交表进行试验。

表5 辣椒碱类化合物提取正交试验因素及水平

Table 5 Factors and levels of orthogonal experiments for optimizing extraction processing of capsaicin

水平	$E$ 结晶温度/ $^{\circ}\text{C}$	$F$ $\text{NaOH}$ 溶液质量分数/%	$G$ 皂化时间/h	$H$ $\text{pH}$
1	$-5$	5	3	6
2	5	10	4	7
3	10	20	5	8

正交试验结果和数据处理极差分析见表 6, 方差分析结果见表 7。

表6 辣椒碱类化合物提取物的  $\text{L}_9(3^4)$  正交试验设计及结果

Table 6 Results of orthogonal experiments for optimizing extraction processing of capsaicin

试验号	$E$	$F$	$G$	$H$	辣椒碱类化合物提取率/%
1	1	1	1	1	74.02
2	1	2	2	2	86.51
3	1	3	3	3	73.64
4	2	1	2	3	85.97
5	2	2	3	1	73.21
6	2	2	3	1	85.46
7	3	1	3	2	78.11
8	3	2	2	3	86.32
9	3	3	1	1	80.12
$k_1$	78.057	79.367	81.933	75.783	
$k_2$	81.547	82.013	84.200	83.360	
$k_3$	81.517	79.740	74.987	81.977	
$R$	3.490	2.646	9.213	7.577	

表7 辣椒碱类化合物提取正交设计方差分析

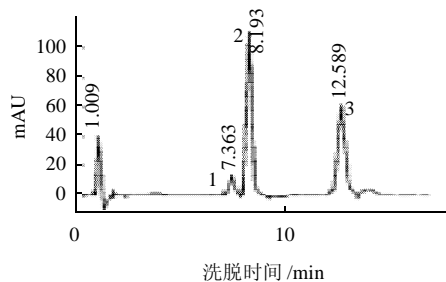
Table 7 Variance analysis of orthogonal experiments for optimizing extraction processing of capsaicin

变异来源	平方和	自由度	均方	$F$ 值	显著水平
$E$	24.153	2	0.355	4.5901	5.18
$F$	12.312	2	0.181	3.5214	2.80
$G$	97.677	2	1.434	5.8604	24.96
$H$	97.677	2	1.434	5.8604	24.96
总和	272.42	8	4		

由表 7 可见,一定范围内,4 种因素对辣椒碱提取率的影响程度依次为  $G > H > E > F$ 。根据计算结果,结合经济效益考虑,最佳提取工艺组合为  $G_2H_2E_2F_2$ , 即皂化时间 4h、 $\text{pH} 7.0$ 、温度  $5^{\circ}\text{C}$ 、氢氧化钠溶液质量分数 10% 条件下进行结晶,制得片状的辣椒碱晶体。

取质量分数 36% 辣椒油树脂,分 3 组,每组分别称取 5g,按最优提取工艺提取、结晶,得到粉末状辣椒碱晶体 1.77、1.75、1.76g。HPLC 法测定晶体中辣椒碱类化合物的含量分别为 98.31%、97.23%、98.07%,平均含量为 97.87%。优化工艺辣椒碱类化合物的提取率按式(1)计算为 87%、84%、89%,均值为 86.67%。

#### 2.2.6 产品纯度检测



1. 降二氢辣椒碱; 2. 辣椒碱; 3. 二氢辣椒碱。

图10 辣椒碱高效液相色谱图

Fig.10 HPLC chromatogram of capsaicinoids

白色的辣椒碱类化合物晶体,经 HPLC 分析(图 10),纯度为 97.87%,其中辣椒碱含量 68.16%,二氢辣椒碱含量 24.35%,其他占 5.39%。

### 3 结 论

通过单因素和四因素三水平正交试验设计分别优化了辣椒油树脂的浓缩和辣椒碱的结晶工艺。优化后辣椒油树脂浓缩的条件是 80% 甲醇溶液、甲醇溶液用量 60mL、浸提温度 50℃、浸提时间 4h 进行浓缩辣椒油树脂;结晶工艺条件为:36% 辣椒提取物用 10% 氢氧化钠溶液皂化 4h、调节 pH7.0、控制温度 5℃,此时进行结晶,得到片状的辣椒碱类化合物,纯度为 97.87%,提取率为 86.67%。

本研究利用辣椒碱类化合物和辣椒红色素在低体积分数甲醇溶液中溶解度的不同对辣椒油树脂进行浓缩,然后又依据辣椒碱难溶于冷水的特点,选择合适的条件下在水溶液中直接结晶,得到辣椒碱晶体,且收率较高。

### 参考文献:

- [1] 吕小兰. 辣椒素的应用与提取[J]. 江西化工, 2005(4): 6-7.
- [2] 江苏新药学院. 中药大辞典: 下册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1997: 2570.
- [3] 侯炳军. 辣椒碱镇痛机制研究进展[J]. 临沂医学专科学校学报, 2004, 26(5): 353-355.
- [4] 吴明光. 新型长效镇痛药辣椒碱研究进展[J]. 中国新药杂志, 1994, 3(4): 10-13.
- [5] 张军. 辣椒碱的药理与临床研究进展[J]. 国外医学: 中医中药分册, 1996, 18(2): 8-11.
- [6] BERUETEIN J E. 辣椒碱与 P 物质[J]. 国外医学: 皮肤性病学分册, 1993, 19(3): 160-163.
- [7] SENO N, DRAG A. Capsaicin-induced activation of fine afferent fibers from rat skin *in vitro*[J]. Neurosci, 1993, 55(2): 563-569.
- [8] CAMSE R, PETSCH U, LEMBCK F, et al. Capsaicin applied to peripheral nerve inhibits axoplasmic transport of substance P and somatostatin[J]. Brain Research, 1982, 239(2): 447-462.
- [9] SHIN H C, PARK H J, RAYMOND S A, et al. Potentiation by capsaicin of lidocaine's tonic impulse block in isolated rat sciatic nerve[J]. J Neurosci Letters, 1994, 174(1): 14-16.
- [10] 吴艳阳, 陈开勋, 邵纪生. 辣椒素的制备工艺及分析方法[J]. 化学世界, 2004(4): 218-221.
- [11] 彭书练, 单扬, 丁芳林. 辣椒碱的制取、纯化及应用研究[J]. 辣椒杂志, 2005(3): 40-43.
- [12] 吴波, 谭文洁. 辣椒素的分离纯化及分析[J]. 广州医学院学报, 2002, 30(4): 42-44.
- [13] 张世文, 姚祖凤. 萃取-晶法制备高纯度辣椒碱类化合物[J]. 吉首大学学报: 自然科学版, 2002, 23(2): 90-92.
- [14] 程绍玲. 辣椒的分析与综合利用[J]. 粮食加工, 2004(2): 52-55.
- [15] 张彦雄, 邱建生. 辣椒碱类化合物及脱色辣椒精生产技术研究[J]. 贵州林业科技, 2001, 9(4): 1-18.
- [16] 曾仕廉, 赵家俊. 辣椒碱(素)、辣椒色素的分离纯化及性质研究[J]. 中国生化药物杂志, 1993, 66(4): 51-53.
- [17] 杨丽飞, 邓宇. 辣椒碱产品生产及应用[J]. 化学工业与工程技术, 2004, 25(2): 44-45.
- [18] 狄云, 蒋健篇. 辣椒果实中的辣椒碱类物质研究进展[J]. 食品科学, 1999, 20(6): 30-32.
- [19] 孙进平, 杨更亮, 陈义, 等. 辣椒碱主要组分的 RP-HPLC 法测定[J]. 河北大学学报: 自然科学版, 2002, 6(2): 145-147.
- [20] 朱书平, 李添宝. 高效液相色谱法测定辣椒碱[J]. 湖南师范大学: 自然科学学报, 2005, 28(4): 63-66.