

超声波辅助提取枇杷核苦杏仁苷工艺优化

赵 静¹, 段杨峰¹, 孔繁渊¹, 申 杰¹, 吴 新¹, 金文渊², 郑永华^{1,*}

(1. 南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095; 2. 苏州大福外贸食品有限公司, 江苏 苏州 215111)

摘 要: 为优化枇杷核中苦杏仁苷超声波辅助提取工艺, 采用单因素和二水平试验研究乙醇体积分数、提取温度、提取时间、液料比和超声波功率 5 个因素对苦杏仁苷提取量的影响, 在此基础上应用响应面法对超声波提取工艺进行优化, 得到最佳条件为乙醇体积分数 75%、提取温度 60℃、提取时间 30min、液料比 12:1(mL/g)、超声波功率 250W。此条件下苦杏仁苷的提取量为 39.07mg/g, 与模型预测值的相对误差为 0.66%, 说明此模型的预测精度较高。这些结果为超声波辅助提取技术在枇杷核苦杏仁苷提取中的应用提供了依据。

关键词: 枇杷核; 苦杏仁苷; 超声波辅助提取; 条件优化; 响应面法

Optimization of Ultrasonic-assisted Extraction of Amygdalin from Loquat Seed

ZHAO Jing¹, DUAN Yang-feng¹, KONG Fan-yuan¹, SHEN Jie¹, WU Xin¹, JIN Wen-yuan², ZHENG Yong-hua^{1,*}

(1. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Suzhou Full Fortune Food Co. Ltd., Suzhou 215111, China)

Abstract: Ultrasonic was used to help extract amygdalin from loquat seed with ethanol aqueous solution. To optimize the extraction process, the effects of operation parameters such as ethanol concentration, temperature, extraction time, liquid-to-solid ratio and ultrasonic power on extraction efficiency were investigated by single-factor experiments. Based on this, a two-level, five-factor experimental design was used to investigate the affecting significance of the operation parameters, and a quadratic model for extraction efficiency as a function of ethanol concentration, liquid-to-solid ratio and ultrasonic power that were determined to be main affecting variables was established using central composite design, and the optimization of the three operation parameters were performed using response surface methodology. Ethanol concentration of 75%, temperature of 60 °C, extraction duration of 30 min, liquid-to-solid ratio of 12:1(mL/g) and ultrasonic power of 250 W were found optimum and the extraction efficient was observed to be 39.07 mg/g, with the relative error being 0.66% compared to the predicted value. Thus, the established model for extraction efficiency had high prediction accuracy.

Key words: loquat seed; amygdalin; ultrasonic-assisted extraction; optimization; response surface methodology

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)08-0037-06

枇杷是我国特产水果, 目前年产量为 40~60 万吨, 按果核占果质量的 20% 计算, 每年会产生 3~4 万吨的枇杷核废弃物, 不仅造成资源浪费, 而且污染环境。枇杷核的主要成分是淀粉, 此外还含有苦杏仁苷, 它具有镇咳平喘和抗肿瘤等多种生物活性^[1-3]。因此, 利用枇杷核提取苦杏仁苷, 对枇杷资源的综合利用具有重要意义。

目前, 对苦杏仁中苦杏仁苷提取方法的研究较多, 常用的有水提^[4]、有机溶剂提取^[5]和超临界 CO₂ 萃取法^[6]等。水和有机溶剂浸提法耗时长、得率低; 超临界 CO₂ 萃取法虽然具有选择性高、有效成分易分离等优点^[7],

但提取成本高, 生产应用受到限制。超声波可破坏细胞壁, 增加溶剂穿透力, 从而提高提取率和缩短提取时间, 被广泛用于植物天然产物的提取^[8-13]。二水平试验法可从众多的考察因素中快速而有效地筛选出主要的影响因子, 故而被广泛用于因子主效应的确定^[14]。响应曲面法能够精确地研究各因子与响应值之间的关系, 近年来已成功应用于蕃茄中茄红素^[15]和西瓜种子中蛋白质^[16]提取工艺条件的优化。本实验采用响应曲面法研究不同超声波辅助提取条件对枇杷果核中苦杏仁苷提取量的影响, 以确定枇杷果核苦杏仁苷提取的最优条件, 为超声波辅助提取技术在枇杷果核苦杏仁苷提取中的应用提供依据。

收稿日期: 2010-11-17

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201003073)

作者简介: 赵静(1985—), 女, 硕士研究生, 主要从事农产品贮藏与加工研究。E-mail: jiangsuzhaojing@126.com

* 通信作者: 郑永华(1963—), 男, 教授, 博士, 主要从事农产品贮藏与加工研究。E-mail: zhengyh@njau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

取成熟“解放钟”枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl. cv. Jiefangzhong)果实果核,用流通蒸汽灭菌^[17],破碎后备用。苦杏仁苷标准品(98%) 南京泽朗医药科技集团有限公司;乙醇(分析纯) 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

JA2003 电子天平 上海精密科学仪器有限公司; KQ-500DE、KQ-250B 型数控超声波清洗器(超声工作频率为 40kHz, 频率不可调, 超声换能器位于清洗槽底部, 每个超声换能器发射功率为 50W) 昆山市超声仪器有限公司; RE-52A 型旋转蒸发器、SHZ-III 型循环水真空泵 上海亚荣生化仪器厂; UV-1600 型分光光度计 上海美谱达仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 苦杏仁苷标准曲线制作

称取苦杏仁苷标准品 10mg 加无水乙醇溶解, 定容至 100mL, 即为 100μg/mL 苦杏仁苷标准溶液。分别量取标准溶液 5、10、15、20、25mL 用无水乙醇定溶至 50mL。随后, 在波长 207nm 处测定其吸光度并绘制出标准曲线, 其线性回归方程为 $Y=0.0163X+0.0145(R^2=0.999)$ 。

1.3.2 苦杏仁苷提取量的测定

1.0g 样品仔细研磨后加入乙醇溶液进行超声波辅助提取, 随后将提取液真空浓缩至干燥, 并用无水乙醇溶解, 在波长 207nm 处测定吸光度, 运用回归方程计算测定液中苦杏仁苷浓度, 换算成提取量。

1.4 苦杏仁苷提取试验设计

1.4.1 单因素试验

参考文献报道^[5,18-20], 分别以不同的乙醇体积分数、提取温度、提取时间、液料比和超声波功率做单因素试验, 考察各单因素对苦杏仁苷提取量的影响。

1.4.2 二水平试验

在单因素试验的研究基础上, 选取影响苦杏仁苷提取量的乙醇体积分数、提取温度、提取时间、液料比和超声波功率 5 因素进行二水平试验, 以苦杏仁苷提取量为响应值, 来筛选主要影响因素。

1.4.3 响应面试验

根据单因素和二水平试验结果, 选取乙醇体积分数、液料比和超声波功率 3 因素, 以苦杏仁苷提取量为响应值, 通过 Design-Expert 7.1.3 软件, 采用 Box-Behnken 设计对这些主要影响因素进行优化, 建立回归模型, 确定最佳提取工艺。所有试验设 3 次重复, 结果均为平均值, 以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 数据采用 SPSS 16.0 软

件进行统计分析, 设置显著性水平为 $P < 0.05$ 。

1.4.4 提取次数试验

在最优工艺条件提取基础上, 分次浸提枇杷核苦杏仁苷, 依次收集提取液, 直到紫外分光光度法检测苦杏仁苷不被浸出为止, 比较其提取率。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 乙醇体积分数对苦杏仁苷提取量的影响

在提取温度 60℃、提取时间 30min、液料比 6:1 和超声波功率 200W 时, 考察体积分数分别为 0、20%、40%、60%、80% 和 100% 的乙醇溶液对苦杏仁苷提取量的影响。由图 1 可知, 苦杏仁苷的提取量随着乙醇体积分数的升高而增加, 当乙醇体积分数增加到 80% 时, 提取量达到最高, 随后逐渐下降。为进一步明确乙醇体积分数对苦杏仁苷提取量的影响, 选取乙醇体积分数 0% 和 80% 进行二水平试验。

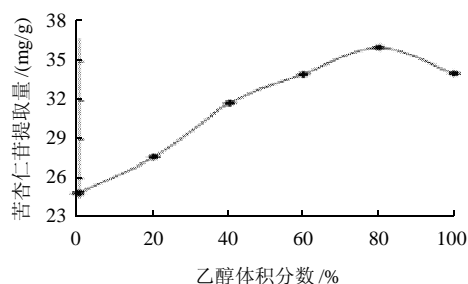


图 1 乙醇体积分数对苦杏仁苷提取量的影响

Fig.1 Effects of ethanol concentration on extraction yield of amygdalin

2.1.2 提取温度对苦杏仁苷提取量的影响

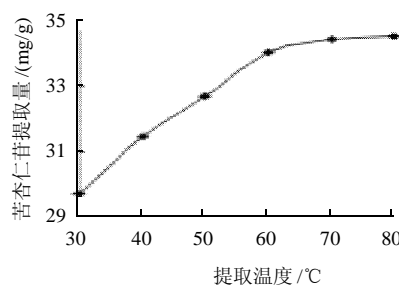


图 2 提取温度对苦杏仁苷提取量的影响

Fig.2 Effects of temperature on extraction yield of amygdalin

在乙醇体积分数 60%、提取时间 30min、液料比 6:1、超声波功率 200W 时, 分别考察提取温度为 30、40、50、60、70、80℃ 时对苦杏仁苷提取量的影响。由图 2 可知, 苦杏仁苷的提取量随着提取温度的升高而增加, 当提取温度达到 70℃ 后, 苦杏仁苷的提取量增加

趋于平缓。这可能是因为苦杏仁苷在冷乙醇中溶解度很低,而在热乙醇中溶解度增大,且随着温度上升,溶液的黏度下降、扩散系数增大,从而促使苦杏仁苷向提取液中扩散^[21]。为进一步明确提取温度对苦杏仁苷提取量的影响,选取 30℃和 70℃两个温度进行二水平试验。

2.1.3 提取时间对苦杏仁苷提取量的影响

当乙醇体积分数 60%、提取温度 60℃、液料比 6:1、超声波功率 200W,分别考察提取时间为 10、20、30、40、50、60min 时对苦杏仁苷提取量的影响,由图 3 可知,苦杏仁苷的提取量随着提取时间的延长而增加,当提取时间达到 30min 后,苦杏仁苷的提取量变化不明显。为进一步明确提取时间对苦杏仁苷提取量的影响,选取 10min 和 40min 两个时间进行二水平试验。

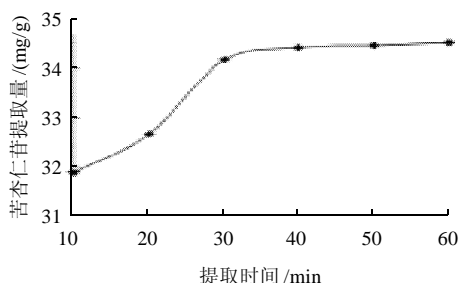


图3 提取时间对苦杏仁苷提取量的影响

Fig.3 Effects of extraction time on extraction yield of amygdalin

2.1.4 液料比对苦杏仁苷提取量的影响

当乙醇体积分数 60%、提取温度 60℃、提取时间 30min、超声波功率 200W 时,分别考察液料比为 4:1、6:1、8:1、10:1、12:1、14:1、16:1(mL/g) 时对苦杏仁苷提取量的影响,由图 4 可知,苦杏仁苷的提取量随着液料比的增加而增加,当液料比达到 12:1 后,苦杏仁苷的提取量增加趋于平缓。由于液料比过大,不利于后面的浓缩,在进一步研究液料比对苦杏仁苷提取量的影响时,选取 4:1 和 14:1 两个比例进行二水平试验。

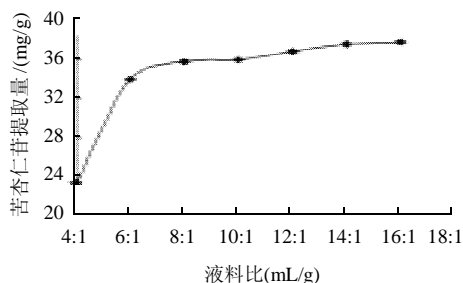


图4 液料比对苦杏仁苷提取量的影响

Fig.4 Effects of liquid/solid ratio on extraction yield of amygdalin

2.1.5 超声波功率对苦杏仁苷提取量的影响

当乙醇体积分数 60%、提取温度 60℃、提取时间

30min、液料比 6:1,分别考察超声波功率为 100、150、200、250、300、350、400W 时对苦杏仁苷提取量的影响。由图 5 可知,苦杏仁苷的提取量随超声波功率的增加上升明显,但当超声功率增加到 300W 后,苦杏仁苷的提取量略有下降。为进一步研究超声功率对苦杏仁苷提取量的影响,选取 100W 和 250W 两个超声波功率进行二水平试验。

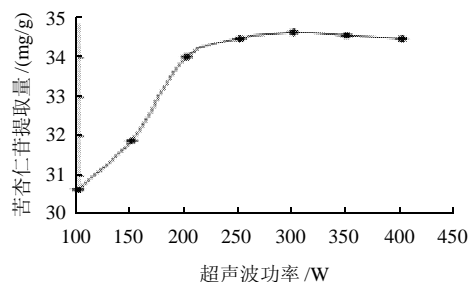


图5 超声波功率对苦杏仁苷提取量的影响

Fig.5 Effects of ultrasonic power on extraction yield of amygdalin

2.2 二水平试验结果

根据 2.1 节单因素试验结果,选取每个因素里最高响应值(用 1 表示)和最低响应值(用 -1 表示)所对应的因素水平,考察乙醇体积分数(A)、提取温度(B)、提取时间(C)、液料比(D)和超声波功率(E)对苦杏仁苷提取量的影响,进行五因素二水平优化试验,结果见表 1。

表1 二水平设计及其响应值

Table 1 Scheme and experimental results of two-level, five-factor experimental design

试验号	A 乙醇体积分数/%	B 提取温度/℃	C 提取时间/min	D 液料比(mL/g)	E 超声波功率/W	苦杏仁苷提取量/(mg/g)
1	1(80)	1(70)	1(40)	1(4:1)	1(100)	39.13 ± 0.13
2	1	1	-1(10)	1	-1(250)	36.27 ± 0.26
3	1	-1(30)	1	-1(14:1)	-1	27.97 ± 0.07
4	1	-1	-1	-1	1	30.87 ± 0.34
5	-1(0)	1	1	-1	1	19.79 ± 0.11
6	-1	1	-1	-1	-1	14.71 ± 0.26
7	-1	-1	1	1	-1	25.08 ± 0.22
8	-1	-1	-1	1	1	26.64 ± 0.28

以苦杏仁苷提取量为响应值,利用 SPSS 16.0 对表 1 数据进行分析(表 2)。从表 2 中 F 值的大小可以直观地看出,上述 5 因素按显著性排列是 $A > D > E > C > B$;且 A 、 D 、 E 因素的 F 值置信度均在 95% 以上,而 C 、 B 两因素的置信度却低于 95%。所以,选择乙醇体积分数(A)、液料比(D)和超声波功率(E)这 3 个因素作进一步的响应面分析,以确定这些因素所对应的最优水平。由于提取时间和提取温度决定着生产周期的长短、能源的消耗和生产成本,是生产工艺研究中十分重要的影响因素,同时提取时间和提取温度对苦杏仁苷提取量没有显著性影响,依据二水平试验结果,在作响应面分析试验时,将提取温度取值 60℃,提取时间取值 30min。

表2 二水平试验方差分析表

Table 2 Analysis of variance for extraction yield of amygdalin

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值
模型	451.664	5	90.333	107.475	0.009
常数项	6075.326	1	6075.326	7228.229	0.000
A	288.240	1	288.240	342.939	0.003
B	0.054	1	0.054	0.065	0.823
C	1.514	1	1.514	1.801	0.312
D	142.636	1	142.636	169.704	0.006
E	19.220	1	19.220	22.867	0.041
误差	1.681	2	0.840		
总和	453.345	7			

注: 模型 $R^2=0.996$, $R^2_{Adj}=0.987$ 。

2.3 响应面法优化试验结果

响应面试验结果见表3。运用 Design-expert 7.1.3 软件对其进行分析, 建立苦杏仁苷提取量与乙醇体积分数(X_1)、液料比(X_2)和超声波功率(X_3)3因素之间的回归模型:

$$Y=38.88-1.39X_1+1.04X_2-0.62X_3+0.35X_1X_2+0.38X_1X_3-0.37X_2X_3-5.18X_1^2-0.83X_2^2-3.40X_3^2$$

回归模型的失拟性检验($P=0.0826$)差异不显著, 表明选用的二次回归模型适当。模型中 $P < 0.0001$, 表明此模型显著。模型的校正确定系数 $R^2_{Adj}=99.57\%$, 说明试验测量值和预测值之间的相关性较高。由此可以确定该模型回归效果显著, 能够用来预测自变量和响应值之间的关系。

表3 响应面优化试验的方案设计及结果

Table 3 Scheme and experimental results of response surface central composite design

序号	X_1 乙醇体积分数/%	X_2 液料比 (mL/g)	X_3 超声波功率/W	苦杏仁苷提取量/(mg/g)	
				实测值	预测值
1	-1(60)	-1(6)	0(250)	33.83 ± 0.12	33.57
2	1(100)	-1	0	30.03 ± 0.28	30.09
3	0(80)	0(10)	0	38.87 ± 0.22	38.88
4	-1	0	-1(150)	32.51 ± 0.13	32.69
5	0	1(14)	-1	36.82 ± 0.13	36.68
6	0	-1	1(350)	33.22 ± 0.22	33.36
7	1	0	1	28.87 ± 0.22	28.67
8	1	0	-1	29.27 ± 0.23	29.15
9	-1	1	0	35.00 ± 0.28	34.95
10	0	0	0	39.01 ± 0.07	38.88
11	0	0	0	38.76 ± 0.30	38.88
12	0	0	0	39.05 ± 0.22	38.88
13	0	1	1	34.78 ± 0.15	34.70
14	0	0	0	38.72 ± 0.26	38.88
15	1	1	0	32.61 ± 0.16	32.87
16	-1	0	1	30.56 ± 0.13	30.69
17	0	-1	-1	33.77 ± 0.16	33.86

2.3.1 回归方程的响应面分析

从图6等高线图可以看出, 当超声波功率为250W时, 乙醇体积分数和液料比有显著交互作用。当提取液料比一定时, 苦杏仁苷提取量随提取乙醇体积分数的

加呈先增加后减少的趋势, 乙醇体积分数在70%~80%的范围时苦杏仁苷提取量较大; 当乙醇体积分数一定时, 苦杏仁苷提取量随液料比的增加而增加, 当液料比达到10:1时, 提取量上升不明显。

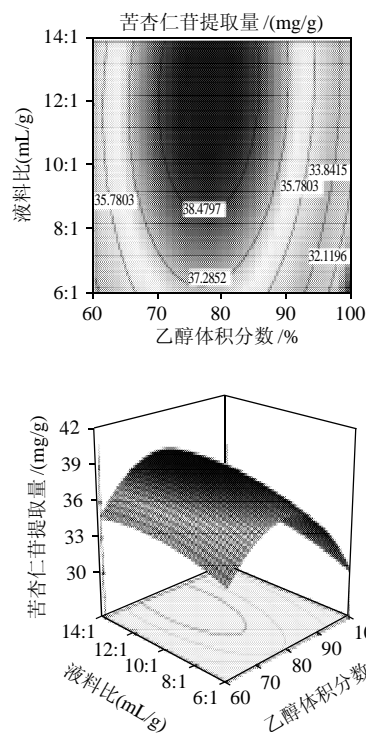
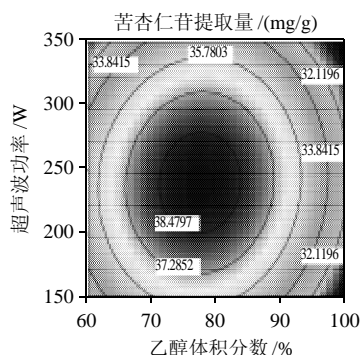


图6 乙醇体积分数和液料比交互作用对苦杏仁苷提取量的影响

Fig.6 Response surface and contour plots for interactive effects of ethanol concentration and liquid-to-solid ratio on extraction yield of amygdalin

由图7可知, 当液料比为10:1时, 乙醇体积分数和超声波功率的交互作用显著影响苦杏仁苷的提取量。随着乙醇体积分数及超声波功率的提高, 苦杏仁苷提取量均呈现出先增大后减小的趋势。乙醇体积分数大于80%时, 随着乙醇体积分数的增加苦杏仁苷提取量呈下降趋势。这可能是随着乙醇体积分数的增加蛋白质变性加快, 妨碍乙醇溶液向细胞内渗透, 阻止了苦杏仁苷的溶出, 从而影响了苦杏仁苷的提取量^[22]。



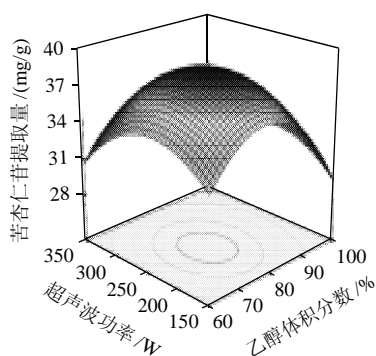


图7 乙醇体积分数和超声波功率交互作用对苦杏仁苷提取量的影响

Fig.7 Response surface and contour plots for interactive effects of ethanol concentration and ultrasonic power on extraction yield of amygdalin

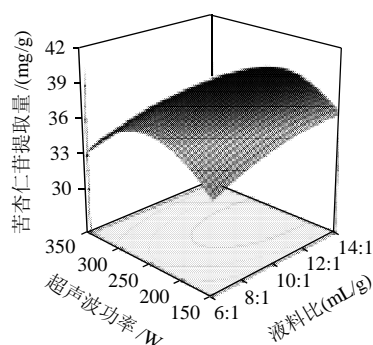
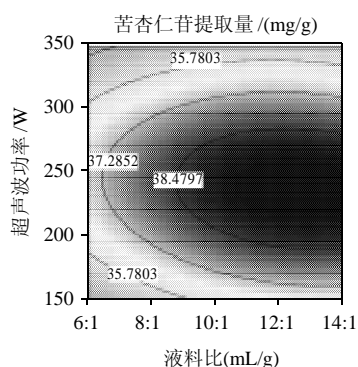


图8 液料比和超声波功率交互作用对苦杏仁苷提取量的影响

Fig.8 Response surface and contour plots for interactive effects of liquid-to-solid ratio and ultrasonic power on extraction yield of amygdalin

由图8可知,当乙醇体积分数为80%时,液料比和超声波功率的交互作用显著影响苦杏仁苷的提取量。当提取液料比一定时,苦杏仁苷提取量随超声波功率增加呈先增加后减少的趋势。超声波功率大于300W时,随超声波功率的增大,苦杏仁苷的提取量反而下降,这可能是因为超声波功率过大时,细胞的破裂越来越完全,细胞内大量不溶物、淀粉颗粒及黏液质等混入提取液中,使溶液中杂质增多,黏度增大,从而影响了苦杏仁苷的溶出^[23]。

2.3.2 优化工艺的验证

通过对二次回归模型的分析,可以确定苦杏仁苷提取的最佳工艺条件为乙醇体积分数77.64%、液料比12.53:1、超声功率236.81W,在该工艺条件下,模型预测的苦杏仁苷提取量为39.33mg/g。为便于实际应用,取超声波功率取250W、乙醇体积分数75%、液料比12:1。在此条件下进行验证实验,苦杏仁苷的提取量为39.07mg/g,此数值与模型预测值的相对误差为0.66%,预测精度较高,说明此模型可靠。

2.4 提取次数对苦杏仁苷提取率的影响

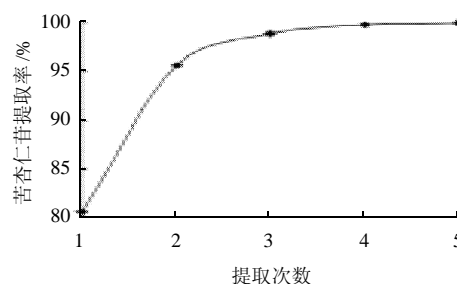


图9 提取次数对苦杏仁苷提取率的影响

Fig.9 Effect of extraction number on extraction yield of amygdalin

从图9可以看出,随着提取次数的增加,苦杏仁苷的提取率逐渐增加,提取2次的提取率达到95.74%,与传统水提取工艺2次的提取率91.0%相比^[4],提取率明显提高,并大大缩短了提取时间。此后随着提取次数的增加,苦杏仁苷提取率的增加不明显。因此,综合考虑提取率和能耗等因素,提取次数以2次为宜。

3 结论

建立了超声波辅助提取苦杏仁苷量与乙醇体积分数、液料比和超声波功率3因素之间的多项回归模型,该模型的拟合程度良好,试验误差小,可用于苦杏仁苷提取量预测。通过单因素试验、二水平试验和响应面法优化试验,得到了超声波辅助提取枇杷核苦杏仁苷的最佳条件:乙醇体积分数75%、提取温度60℃、提取时间30min、液料比12:1、超声波功率250W。在此工艺条件下提取2次,苦杏仁苷提取率可达95.74%。

参考文献:

- [1] HAMADA A, YOSHIOKA S, TAKUMA D, et al. The effect of *Eriobotrya japonica* seed extract on oxidative stress in adriamycin-induced nephropathy in rats[J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin, 2004, 27 (12): 1961-1964.
- [2] 林国荣, 沈高扬. 枇杷核仁的营养成分分析[J]. 食品科技, 2007, 32 (8): 276-277.
- [3] YOKOTA J, TAKUMA D, HAMADA A, et al. Scavenging of reactive oxygen species by *Eriobotrya japonica* seed extract[J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin, 2006, 29(3): 467-471.

- [4] 林国荣, 陈剑锋. 枇杷核中苦杏仁苷的分离纯化[J]. 莆田学院学报, 2007, 14(5): 35-37.
- [5] 林国荣. 枇杷核苦杏仁苷的醇提工艺及其药效学研究[J]. 现代农业科技, 2007(18): 7-9.
- [6] KAWAHITO Y, KONDO M, MACHMUDAH S, et al. Supercritical CO₂ extraction of biological active compounds from loquat seed[J]. Separation and Purification Technology, 2008, 61(2): 130-135.
- [7] SOVOVA H, OPLETAL L, BARTLOVA M, et al. Supercritical fluid extraction of lignans and cinnamic acid from *Schisandra chinensis*[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2007, 42(1): 88-95.
- [8] VINATORU M. An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2001, 8(3): 303-313.
- [9] XIA Tao, SHI Siqian, WAN Xiaochun. Impact of ultrasonic-assisted extraction on the chemical and sensory quality of tea infusion[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 74(4): 557-560.
- [10] MARTENS D, GFRERER M, WENZL T, et al. Comparison of different extraction techniques for the determination of polychlorinated compounds in sediment[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2002, 372(4): 562-568.
- [11] 张立华, 张元湖, 于军伟, 等. 超声波辅助提取石榴叶单宁的工艺[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊 1): 164-167.
- [12] LAI Furao, WEN Qibiao, LI Lin, et al. Antioxidant activities of water-soluble polysacchride extracted from mung bean (*Vigna radiata* L.) hull with ultrasonic assisted treatment[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 81(2): 323-329.
- [13] ZHONG Kui, WANG Qiang. Optimization of ultrasonic extraction of polysaccharides from dried longan pulp using response surface methodology[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 80(1): 19-25.
- [14] YU X, HALLETT S G, SHEPPARD J. Application of the Plackett-Burman experimental design to evaluate nutritional requirements for the production of *Golletotrichum coccodes* spores[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 1997, 47(3): 301-305.
- [15] KAUR D, WANI A A, OBEROI D P S, et al. Effect of extraction conditions on lycopene extractions from tomato processing waste skin using response surface methodology[J]. Food Chemistry, 2008, 108(2): 711-718.
- [16] WANI A A, KAUR D, AHMED I, et al. Extraction optimization of watermelon seed protein using response surface methodology[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(8): 1514-1520.
- [17] 高家鉴, 金茶琴, 张文娟, 等. 炮制对苦杏仁中苦杏仁甙含量影响和对苦杏仁酶破坏效果比较[J]. 中药材, 1991, 14(9): 28-30.
- [18] 李强. 志丹杏杏仁中苦杏仁苷提取、纯化及水解研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006.
- [19] 吴迪. 山杏仁中苦杏仁苷的提取工艺研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [20] 魏金婷, 叶舟. 枇杷仁中苦杏仁苷乙醇提取工艺研究[J]. 莆田学院学报, 2007, 14(5): 38-40.
- [21] 杨磊, 马春慧, 祖元刚. 北五味子木脂素超声提取工艺[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 185-192.
- [22] 邓洁红, 郭时印, 王锋, 等. 响应面法优化刺葡萄皮色素提取工艺参数[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2007, 33(6): 694-699.
- [23] 牛春玲, 吴胜举, 沈壮志, 等. 响应面法优化超声-酸水解法提取薯蓣皂素工艺研究[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2009, 37(1): 74-77.