

响应面法优化山杏仁脱苦工艺的研究

张乔会¹, 李 军¹, 逢锦慧², 崔 洁¹, 王建中^{1,*}

(1.北京林业大学生物科学与技术学院,林业食品加工与安全北京市重点实验室,北京 100083;

2.北京林业大学材料科学与技术学院,林木生物质化学北京市重点实验室,北京 100083)

摘要:本文以苦杏仁为原料,探索建立了真空浓缩法苦杏仁脱苦工艺。在单因素实验基础上选取实验因素与水平,根据 Box-Behnken 中心组合实验设计原理,采用四因素三水平的响应面分析法优化山杏仁脱苦工艺。得到的脱苦优化工艺参数为:脱苦时间 20min,液料比为 10:1,柠檬酸浓度为 0.24g/L,脱苦温度为 82℃,真空度为 -0.09MPa。在此条件下,脱苦评分值为 95。

关键词:苦杏仁,脱苦,工艺,响应面

Study on optimization of the technology for removing bitterness from bitter apricot seed by response surface methodology

ZHANG Qiao-hui¹, LI Jun¹, PANG Jin-hui², CUI Jie¹, WANG Jian-zhong^{1,*}

(1.Beijing Key Laboratory of Forest Food Processing and Safety, College of Biological Sciences and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2.Beijing key laboratory of lignocellulosic chemistry, College of Materials Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: New process for debittering of bitter apricot seed was established by vacuum concentration and optimized by response surface methodology. On the basis of single factor experiments, the optimal conditions were obtained through Box-Behnken center-united experiment design and response surface methodology. The results showed that the optimal process conditions were vacuum concentration 20min in the vacuum degree of -0.09MPa for debittering, concentration of citric acid 0.24g/L, concentration temperature 82℃, and ratio of liquid to material 10mL·g⁻¹. Under this condition, the score of debittering was 95.

Key words: bitter apricot seed; removal of bitterness; process; response surface methodology

中图分类号: TS201.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2014)21-0248-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2014.21.045

苦杏仁为蔷薇科杏属 *Armeniaca* 植物带苦味种子或种仁的统称, 广义而言包括西伯利亚杏 *A. sibirica*、毛杏 *A. sibirica* var. *pubescens*、杏 *A. vulgaris*、野杏 *A. vulgaris* var. *ansu*、东北杏 *A. mandshurica* 及光叶东北杏 *A. mandshurica* var. *glabra* 等。我国的苦杏仁产量全世界首屈一指, 在国际坚果市场中占有重要的地位^[1]。苦杏仁营养价值丰富, 含有多种营养成分如蛋白、油脂、无机元素等^[2-7]。

苦杏仁中的苦味主要来自它所含的苦杏仁苷, 脱苦是苦杏仁加工生产中必须的工艺流程^[8-9], 苦杏仁传统脱苦常用冷水拔苦法、去皮冷水拔苦法^[10]、酸处理法^[11-12]、碱处理法^[10]、清水热烫法等方法。传统脱苦方法具有能耗水耗大, 或脱苦时间长, 或环境污

染重等缺陷。减压辅助脱苦对苦杏仁脱苦来说是一个全新的方法, 和传统工艺操作方法上具有显著的不同, 但都是将苦味物质苦杏仁苷分解以去除苦味^[13]。利用该方法可以大幅度地加速苦杏仁苷的分解, 同时可以回收得到苦杏仁香精。我国苦杏仁资源量极大, 年产杏核 20 余万 t^[1], 研究苦杏仁脱苦, 对苦杏仁深加工, 如制作杏仁露、杏仁粉等具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

苦杏仁 购自河北承德地区的山杏仁, 经鉴定为西伯利亚杏 *Armeniaca sibirica* 的种子, 娃哈哈纯净水, 色谱纯甲醇, 色谱纯苦杏仁苷标准品。

SHZ-88A 水浴锅 太仓市实验设备厂; RE-5203 旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂; METTLER TOLEDO 电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; 岛津 DGU-20A3 高效液相色谱 日本岛津公司; 台式离心机 上海安亭科学仪器厂; 冷冻干燥机 FD-1 北京德天佑科技发展有限公司。

1.2 实验方法

收稿日期: 2014-03-24

作者简介: 张乔会(1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 天然产物提取及利用。

* 通讯作者: 王建中(1951-), 男, 硕士研究生, 教授, 研究方向: 林产品加工利用。

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201004081)。

1.2.1 减压脱苦工艺流程 将苦杏仁置于约2倍重量的沸水中漂烫1~2min,捞出后去除种皮,然后按料液比1:8~1:16(W/V)的比例加入纯净水,置于胶体磨中打浆7min;取180mL的浆液置于1000mL的带水浴的旋蒸瓶中,设置水浴锅温度和真空度,开始真空减压旋蒸脱苦。

1.2.2 脱苦所得浆液感官评价 对旋蒸所得浆液进行感官评价,每隔一段时间品尝一次,直至无苦味,以此找出不同温度、不同真空度、不同料液比下的最短旋蒸时间。各处理随即编号后由十名经过良好培训的感官评判人员来评定打分,然后计算平均值。口感苦味等级分为极苦:分值为0~25(D级)、苦:分值为25~50(C级)、微苦:分值为50~75(B级)、无苦味:分值为75~100(A级)四个级别。

1.2.2.1 样品苦杏仁苷含量的测定 利用高效液相色谱对未脱苦的浆液和脱苦评分后所得A、B、C、D级样品分别测定其中苦杏仁苷的含量,操作流程为:取适量真空浓缩处理后和未处理的打浆液置于培养皿中,经真空冷冻干燥得干粉,脱脂。精确称取脱脂干粉10g,150mL乙醇回流30min,离心,取上清液减压抽滤,挥发至干,甲醇溶解定容至50mL容量瓶中。取2mL定容溶液过0.2 μ m微孔滤膜入式样瓶,通过高效液相色谱手动进样检测。

1.2.2.2 高效液相色谱标准曲线 精密称取苦杏仁苷标准品100mg,甲醇溶解,50mL容量瓶定容,浓度为2.0mg/mL。依次稀释得到0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4、1.6、1.8mg/mL的标准溶液,微孔滤膜过滤。用高效液相色谱检测,得到样品含量和峰面积之间的标准曲线,浓度与峰面积成线性关系。色谱条件为,C₁₈柱(4.6mm \times 150mm);流动相:甲醇:水(20:80);检测波长210nm;流速:1mL/min;柱温:室温;进样量:10 μ L。

1.2.2.3 样品中苦杏仁含量的计算 样品中苦杏仁苷的含量 = $50x_0/10000 \times 100\%$, x_0 为液相色谱检测所得的样品对应的苦杏仁苷的浓度。

1.2.3 脱苦预实验 由于苦杏仁减压法脱苦鲜见报道,而据生产实际,温度是影响脱苦效果极为重要的因素,所以在较大的温度范围内,即从30 $^{\circ}$ C到90 $^{\circ}$ C每隔15 $^{\circ}$ C为一梯度差做了脱苦预实验,并设定常压、-0.05MPa、-0.09MPa作对照进行预实验。其他条件设定为料液比1:10,真空度为-0.09MPa,脱苦时间为无苦味时所需的时间,30、45、60、75 $^{\circ}$ C脱苦时平均每10min检测一次苦味的变化;90 $^{\circ}$ C下2min检测一次。

1.2.4 单因素实验设计 选择脱苦时间、液料比、添加柠檬酸的浓度、真空度为单因素变量,分别确定各因素的最佳水平,为响应面设计确定因素水平提供支持。

1.2.4.1 脱苦时间 设置减压脱苦的温度为80 $^{\circ}$ C,柠檬酸浓度为0.2g/L,真空度为-0.09MPa,取200mL打浆苦杏仁液,置于1000mL旋蒸瓶中,选择脱苦时间为25、20、15、10、5min,真空浓缩所得脱苦杏仁浆液由评判人员感官评价,确定级别和分值。

1.2.4.2 液料比 设置真空浓缩的温度为80 $^{\circ}$ C,真空度为-0.09MPa,脱苦时间为15min,柠檬酸浓度为

0.2g/L,取200mL与水以不同的液料比打浆苦杏仁液置于1000mL旋蒸瓶中,选择液料比6、8、10、12、14(mL/g)进行真空浓缩,所得脱苦杏仁浆液由评判人员感官评价,确定级别和分值。

1.2.4.3 柠檬酸浓度 设置真空浓缩的真空度为-0.09MPa,脱苦时间为15min,取200mL打浆苦杏仁液,置于1000mL旋蒸瓶中,选择添加的柠檬酸浓度分别为0.05、0.08、0.1、0.2、0.3g/L进行真空浓缩,所得脱苦杏仁浆液由评判人员感官评价,确定级别和分值。

1.2.4.4 脱苦温度 设置真空浓缩的真空度为-0.09MPa,脱苦时间为15min,柠檬酸浓度为0.2g/L,取200mL与水以液料比10(mL/g)的比例打浆苦杏仁液,置于1000mL旋蒸瓶中,选择脱苦温度为70、75、80、85、90 $^{\circ}$ C进行真空浓缩,所得脱苦杏仁浆液由评判人员感官评价,确定级别和分值。

1.2.5 响应面实验设计 选择浓缩时间、液料比、柠檬酸浓度和真空度为四个因素,根据Box-Behnken中心组合设计实验原理,设计四因素三水平响应面实验^[14-18],根据单因素实验结果设计水平值。

表1 响应面分析因素水平表

Table1 Analytical factors and levels for RSA

因素	水平		
	-1	0	1
脱苦时间(min)	10	15	20
液料比(mL/g)	8	10	12
柠檬酸浓度(g/L)	0.1	0.2	0.3
脱苦温度($^{\circ}$ C)	75	80	85

1.2.6 数据处理 实验数据均采用Microsoft excel 2007软件及Box-Behnken软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 样品苦杏仁苷含量的测定

结果表明,苦杏仁苷标准品在0.02~0.1mg/mL范围内,对应的峰面积与苦杏仁苷浓度成线性关系,得到的回归方程为:

$$y = 1E + 0.7x - 319893 \quad R^2 = 0.9995$$

式中:y-苦杏仁苷标准品在高相液相色谱中的峰面积;x-苦杏仁苷标准品的浓度,mg/mL。

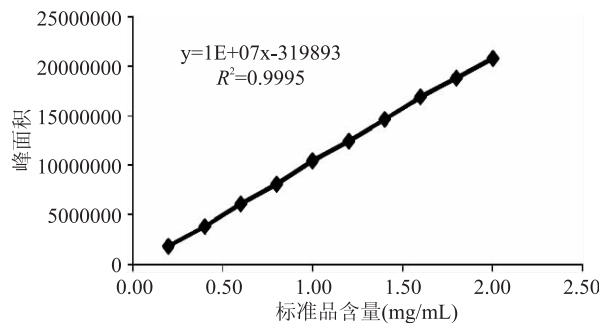


图1 苦杏仁苷标准曲线

Fig.1 Standard curve of Laetrile

经检测,苦杏仁中苦杏仁苷的含量为4.45%;评分D级的样品中苦杏仁苷的含量为4.45%~3.16%;评分C级的样品中苦杏仁苷的含量为3.16%~1.57%;

评分 B 级的样品中苦杏仁苷的含量为 1.57%~0.43% ; 评分 A 级的样品中苦杏仁苷的含量为 0.43%~0。经过对评分后的样品进行液相检测可知,对脱苦产品的苦味评分符合实际,具有可操作性,可以作为评判依据。

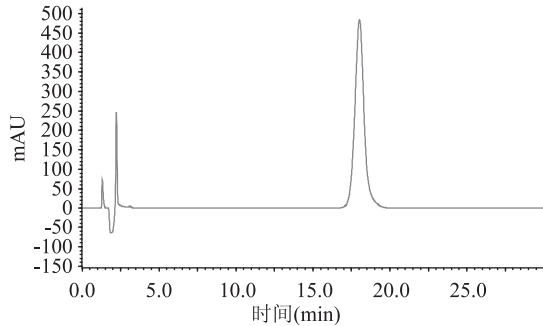


图2 苦杏仁苷标准品液相色谱图

Fig.2 Liquid chromatogram of standard Laetrile sample

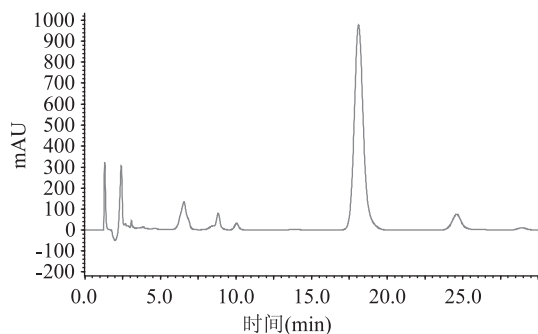


图3 样品液相色谱图

Fig.3 Liquid chromatogram of sample

2.2 减压脱苦预实验结果

初步减压脱苦实验表明,与常压脱苦相比,减压脱苦明显缩短脱苦时间;在真空度维持在 -0.09MPa 的情况下,随着温度的上升,脱苦时间明显缩短。

表2 减压脱苦预实验结果

Table 2 Result of preliminary test for reduced pressure debittering

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	真空度 (MPa)	脱苦时间 (h)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	真空度 (MPa)	脱苦时间 (h)
30	0.00	10.5	75	-0.09	0.5
30	-0.09	5.5	90	-0.09	0.25
45	-0.09	2.5	90	-0.05	0.55
60	-0.09	1.5	90	0.00	1.5

2.3 单因素实验

2.3.1 确定最佳的脱苦时间 图4表明,脱苦效果随着时间的增加而提高,当时间为15min时评分为85.8,已经达到无苦(A等级)的要求了,且变化趋于平缓,20min评分86.3和25min评分86.9和15min时相差不大,推测可能是因为苦杏仁中的苦杏仁苷基本分解完毕。根据节约能耗和缩短时间的要求,选择15min为最佳的脱苦时间。

2.3.2 确定最佳的液料比 图5表明,在液料比6至10时,脱苦效果随着液料比的增加而提高,随后开始下降,当液料比为16时脱苦评分88,与液料比为10时脱苦评分87.3,相差不大。液料比为6时评分为

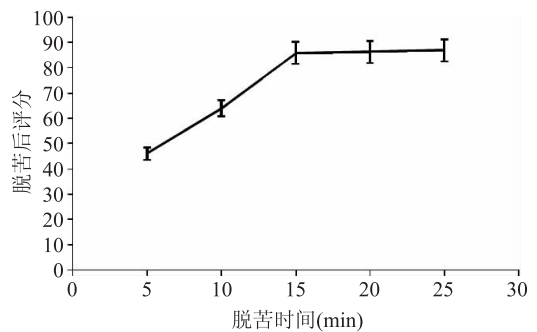


图4 时间对脱苦效果的影响

Fig.4 Effect of time on removal of bitterness

74分,基本无苦了,说明液料比对脱苦效果影响不大。且液料比为10时已经满足需求了,所以选择液料比10为最佳的液料比。

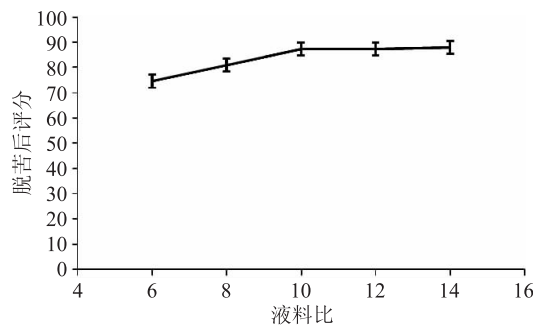


图5 液料比对脱苦效果的影响

Fig.5 Effect of ratio liquid to material on removal of bitterness

2.3.3 确定最佳的柠檬酸浓度 图6表明,在0.05~0.2g/L之间,随着柠檬酸的浓度增大,脱苦效果逐步提高,当柠檬酸浓度为0.2g/L时已经达到无苦味的效果,且趋于平缓,0.3g/L和0.2g/L差别很小。推测可能是因为当柠檬酸在0.2g/L时,已经能够满足酸催化苦杏仁苷分解的反应要求,所以选择0.2g/L作为最佳的柠檬酸浓度。

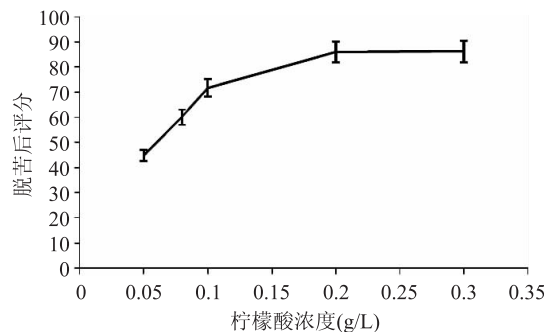


图6 柠檬酸浓度对脱苦效果的影响

Fig.6 Effect of citric acid concentration on removal of bitterness

2.3.4 确定最佳的脱苦温度 图7表明,在70~85 $^{\circ}\text{C}$ 时,随着温度的增高脱苦效果逐步提高,在80 $^{\circ}\text{C}$ 后脱苦效果趋于平缓,提高不大。70~75 $^{\circ}\text{C}$ 时脱苦评分从55.7提高到63.3,75~80 $^{\circ}\text{C}$ 时脱苦评分从63.3提高到84,80~85 $^{\circ}\text{C}$ 时,脱苦评分由84分提高到85.5,90 $^{\circ}\text{C}$ 时为85.2,80 $^{\circ}\text{C}$ 已能满足要求。为节约能源,选择80 $^{\circ}\text{C}$

为最佳的脱苦温度。

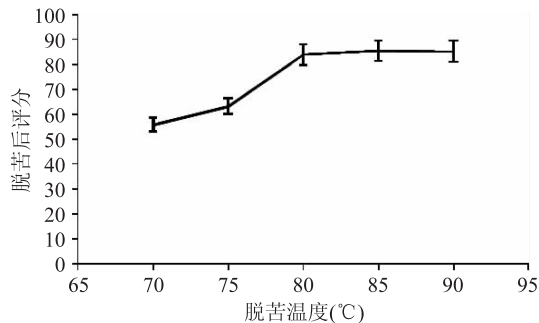


图7 温度对脱苦效果的影响

Fig.7 Effect of temperature on removal of bitterness

2.4 响应面分析结果讨论

2.4.1 实验结果 以脱苦时间(X_1)、液料比(X_2)、柠檬酸浓度(X_3)和脱苦温度(X_4)为自变量,脱苦后评分(Y)为响应值,进行响应面实验,实验结果见表3。

表3 实验设计方案和实验结果表

Table 3 Program and experimental results of RSA

实验号	X_1 脱苦时间 (min)	X_2 液料比 (mL/g)	X_3 柠檬酸浓度 (g/L)	X_4 脱苦温度 (°C)	脱苦后评分
1	0	-1	0	1	88.2
2	-1	0	-1	0	65.0
3	-1	0	0	1	76.0
4	1	-1	0	0	89.5
5	0	-1	0	-1	67.0
6	0	0	-1	-1	58.0
7	-1	1	0	0	68.0
8	0	0	0	0	85.8
9	0	0	0	0	85.2
10	0	0	-1	1	78.5
11	0	-1	1	0	87.2
12	0	0	1	-1	65.7
13	0	0	1	1	88.5
14	0	1	1	0	86.7
15	0	1	0	1	88.1
16	0	0	0	0	89.2
17	-1	0	1	0	67.3
18	0	0	0	0	89.6
19	1	1	0	0	89.8
20	1	0	1	0	89.1
21	0	0	0	0	85.8
22	1	0	0	1	87.3
23	0	1	0	-1	63.4
24	1	0	-1	0	86.5
25	0	1	-1	0	71.6
26	15	-1	-1	0	72.4
27	-1	-1	0	0	68.2
28	-1	0	0	-1	52.7
29	1	0	0	-1	80.3

利用 Design-Expert7.1.6 软件进行响应面回归分

析,得到拟合回归方程为:

$$Y = 87.12 + 10.44X_1 - 0.41X_2 + 4.38X_3 + 9.96X_4 + 0.13X_1X_2 + 0.075X_1X_3 - 4.07X_1X_4 + 0.075X_2X_3 + 0.87X_2X_4 + 0.57X_3X_4 - 5.06X_1^2 - 2.51X_2^2 + 5.46X_3^2 - 8.31X_4^2$$

决定系数 $R^2 = 0.9204$,说明该回归模拟实验的拟合情况良好,实验值和预测值比较接近,通过方差分析及相关的系数考察模型的可靠性。
2.4.2 方差分析 由方差分析可知,模型在 $p \leq 0.01$ 时水平差异显著,因变量与自变量之间的线性关系显著($R^2 = 0.9204$),较好地描述实验结果。从表4可以看出, X_1 、 X_3 、 X_4 、 X_4^2 为极显著影响因素, X_1^2 、 X_3^2 、 X_1X_4 项为显著影响因素。通过对 Y 的回归系数的检验可知,各因素对脱苦效果影响的大小顺序为:脱苦时间(X_1) > 脱苦温度(X_4) > 柠檬酸浓度(X_3) > 液料比(X_2)。

2.4.3 响应面分析 根据拟合函数,每两个因素对应的评分值画出响应面和等高线图,考虑到定性分析各因素对评分的关系,固定另两个因素时,均做“0”水平处理。

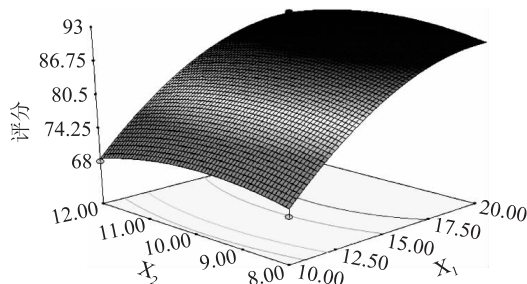


图8 $Y = f(X_1, X_2)$ 的响应面

Fig.8 Responsive surfaces graph of $Y = f(X_1, X_2)$

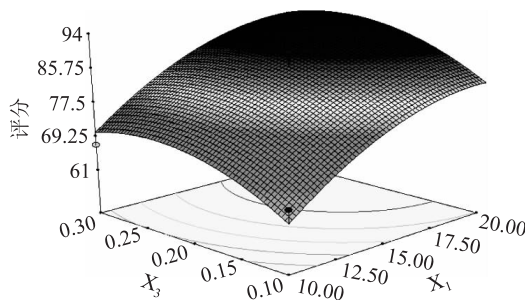


图9 $Y = f(X_1, X_3)$ 的响应面

Fig.9 Responsive surfaces graph of $Y = f(X_1, X_3)$

图8~图13比较直观的反映了每两个因素对响应值的影响。其中温度和时间这两个因素对响应值的影响大,实际生产中要考虑节能和省时间,在保证无苦味的基础上,要降低这两个值。经过软件优化得到的工艺为,脱苦时间20min,液料比为10:1,柠檬酸浓度为0.24g/L,脱苦温度为82°C,真空度为-0.09MPa,优化预测值为94.6。经实验检验,此时得到的脱苦浆液实际评分为95,完全无苦味,与理论预测值接近,证明该回归模型具有可靠性。

3 结论

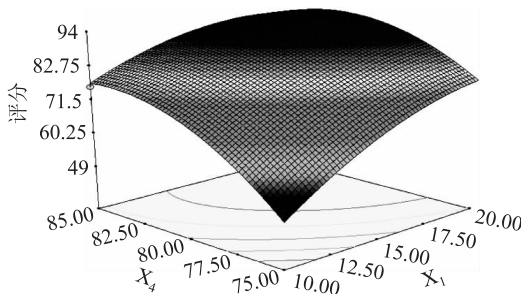
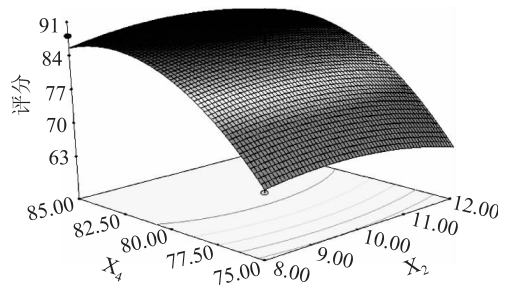
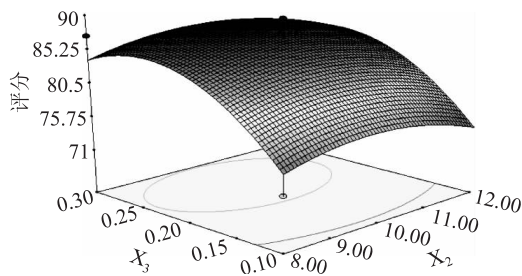
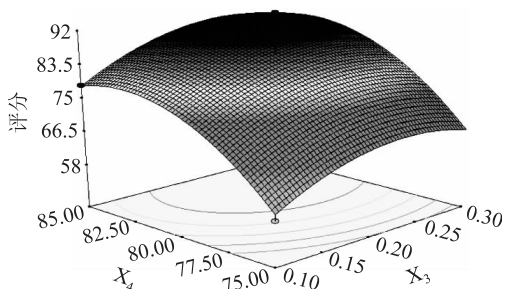
建立了真空浓缩新工艺,突破了传统工艺先脱苦后打浆的思路,探索了先打浆后脱苦,优化工艺为脱

表4 方差分析表

Table 4 Analysis of variance table

方差来源	自由度	平方和	均方	F 值	Pr > F	显著性
X ₁	1	1308.34	1308.34	129.67	<0.0001	**
X ₂	1	2.00	2.00	0.20	0.6629	
X ₃	1	229.69	229.69	22.76	0.0003	**
X ₄	1	1190.02	1190.02	117.94	<0.0001	**
X ₁ X ₂	1	0.062	0.06	6.19E-003	0.9384	
X ₁ X ₃	1	0.022	0.02	2.23E-003	0.9630	
X ₁ X ₄	1	66.42	66.42	6.58	0.0224	*
X ₂ X ₃	1	0.022	0.022	2.23E-003	0.9630	
X ₂ X ₄	1	3.06	3.06	0.30	0.5904	
X ₃ X ₄	1	1.32	1.32	0.13	0.7227	
X ₁ ²	1	165.80	165.80	16.43	0.0012	**
X ₂ ²	1	40.73	40.73	4.04	0.0642	
X ₃ ²	1	193.08	193.08	19.14	0.0006	**
X ₄ ²	1	447.48	447.48	44.35	<0.0001	**
总回归	14	123.61	12.36	2.20	0.0786	
总残差	10	0.14	0.011			
总离差	28	3547.97				
失拟差	4	17.56	0.013	2.80	0.1664	

a: * 为 5% 显著水平, b: ** 为 1% 显著水平

图 10 $Y = f(X_1, X_4)$ 的响应面Fig.10 Responsive surfaces graph of $Y = f(X_1, X_4)$ 图 12 $Y = f(X_2, X_4)$ 的响应面Fig.12 Responsive surfaces graph of $Y = f(X_2, X_4)$ 图 11 $Y = f(X_2, X_3)$ 的响应面Fig.11 Responsive surfaces graph of $Y = f(X_2, X_3)$ 图 13 $Y = f(X_3, X_4)$ 的响应面Fig.13 Responsive surfaces graph of $Y = f(X_3, X_4)$

苦时间 20min,液料比为 10,柠檬酸浓度为 0.24g/L,脱苦温度为 82℃,真空度为 -0.09MPa,与传统工艺(80℃热水一般浸泡 3~4h)相比,时间缩短了 9~12 倍,大幅节省了时间。对于样品中的氰化物,可以通过浓缩后继续加水来降低浓度,对于馏出液和真空泵中的水要进行脱毒处理,可以用碱液吸收。工厂的实际生产中,要特别重视真空浓缩设备的设计,严防氰化物挥发造成人员中毒。

参考文献

- [1] 王利兵,王涛.新型木本能源植物山杏的调查与研究[C].非粮生物质能源与高技术产业化研讨会论文集,福州:2010,11:33-36.
- [2] D H Dwivedi, R B Ram. Chemical composition of bitter apicot kernels from Ladakh, India [J]. International Society for Horticultural Science, 2006, 12: 53-58.

(下转第 258 页)

- 炎活性研究[J]. 华中师范大学学报:自然科学版, 2013, 47(3):348-352.
- [20] Wang H B, Mayer R, Rucker G. Triterpenoid glycosides from *Stauntonia hexaphylla* [J]. *Phytochemistry*, 1993, 34(5):1389-1394.
- [21] Ikuta A, Morikawa A, Kubota K. A saponin from callus tissue of *Stauntonia hexaphylla* [J]. *Phytochemistry*, 1991, 30(7):2425-2427.
- [22] Wei Y, Ma C M, Chen D Y, et al. Anti-HIV-1 protease triterpenoids from *Stauntonia obovatifoliola* Hayata subsp. *intermedia* [J]. *Phytochemistry*, 2008, 69(9):1875-1879.
- [23] Wang D, Tian J, Zhou G P, et al. Triterpenoid glycosides from *Stauntonia chinensis* [J]. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2010, 12(1-2):149-155.
- [24] Chen C, Meng D L. Chemical constituents from *Stauntonia brachyanthera* Hand-Mazz [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2013, 48:182-185.
- [25] 田亮, 王文平, 吴国卿, 等. 野木瓜糯米酒的加工工艺[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(5):66-68.
- [26] 潘红梅, 游敬刚, 柏红梅, 等. 野木瓜饮料的工艺研究[J]. *食品与发酵科技*, 2011, 47(6):92-95.
- [27] 孙帅, 谢培山. 野木瓜的研究进展[J]. *中药新药与临床药理*, 2011, 22(6):696-700.
- [28] 付婧, 岳田利, 袁亚宏, 等. 真空耦合超声提取茶多酚的工艺研究[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2013, 41(3):172-178.
- [29] 令博, 王捷, 吴洪斌, 等. 葡萄皮渣多酚超声波辅助提取工艺响应面法优化及抗氧化活性研究[J]. *食品科学*, 2011, 32(18):24-29.
- [30] 房玉林, 齐迪, 郭志君, 等. 超声波辅助法提取石榴皮中总多酚工艺[J]. *食品科学*, 2012, 33(6):115-118.
- [31] 赖富饶, 李臻, 吴晖, 等. 甜玉米芯多酚的超声提取工艺优化[J]. *现代食品科技*, 2012, 28(1):52-55, 17.
- [32] 石恩慧, 李红, 谷明灿, 等. 响应面法优化超声提取板栗总苞多酚工艺条件[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(5):69-76.
- [33] 周丽萍, 杨瑞华, 张悦. 响应面法优化研磨珠辅助超声波萃取苹果多酚的工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(21):277-281.
- [34] Yoo K S, Lee E J, Leskovaar D, et al. Development of an automated method for Folin-Ciocalteu total phenolic assay in artichoke extracts [J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(12):C1279-C1284.
- [35] 王文昕, 董全. 响应面法优化超声辅助提取花生红衣多酚工艺[J]. *食品科学*, 2012, 33(22):1-5.
- [36] 周晓丽, 邵震, 李婷婷. 木瓜黄酮的提取及抗氧化性研究[J]. *食品工业科技*, 2007, 28(8):170-171.
- [37] 李倩, 李傲, 徐金龙, 等. 响应面法优化南酸枣皮中多酚提取工艺[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(20):251-254.
- [38] 程正涛, 丁庆波, 张昊, 等. 海红果多酚提取工艺优化[J]. *食品科学*, 2010, 31(24):172-176.
- [39] Kallithraka S, Garcia V C. Survey of solvents for the extraction of grape seed phenolics [J]. *Phytochemical Analysis*, 1995, 6(5):265-267.
- [40] Luengthanaphol S, Mongkholkhajornsilp D, Douglas S, et al. Extraction of antioxidants from sweet Thai tamarind seed coat: preliminary experiments [J]. *Journal of Food Engineering*, 2004, 63(2):247-252.
- [41] 张玉香, 曲慧鸽, 张润亚, 等. 响应面法优化蓝莓叶黄酮的微波提取工艺[J]. *食品科学*, 2010, 31(16):33-37.
- [42] 刘奉强, 肖鉴谋, 刘太泽. 应用响应面法优化超声波提取荆芥中总黄酮的工艺[J]. *南昌大学学报:工科版*, 2011, 33(2):149-155.
- (上接第252页)
- [3] 许宁侠, 陈邦, 申烨华. 响应面法优化长柄扁桃中苦杏仁苷的提取工艺[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(4):270-273.
- [4] Mukta N, Murthy IYLN, Sripathi P. Variability assessment in *Pongamia pinnata* (L.) Pierre germplasm for biodiesel traits [J]. *Ind Crops Prod*, 2009, 29:536-540.
- [5] 宋日钦, 王建中, 王少伟. 山杏挥发油提取工艺的研究[J]. *食品工业科技*, 2006, 27(10):123-125.
- [6] 杨晓宇, 陈锦屏. 杏仁的营养保健功能及其在食品加工中的应用[J]. *食品科学*, 2005, 26(9):629-631.
- [7] 航晓敏, 唐涌濂, 柳向龙. 多步饱和脂肪酸的研究进展[J]. *中国临床营养杂志*, 2000, 8(4):251-254.
- [8] 李科友, 史清华, 朱海兰, 等. 苦杏仁化学成分的研究[J]. *西北林学院学报*, 2004, 19(2):124-126.
- [9] Abdelmadjid Silem, Hans-Otto Günter, Jörn Einfeldt, et al. The occurrence of mass transport processes during the leaching of amygdalin from bitter apricot kernels; detoxification and flavour improvement [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2006, 41(2):210-213.
- [10] 朱丽清. 苦杏仁系列蛋白食品加工工艺[J]. *河北果树*, 2012(2):30-33.
- [11] 于森, 张华, 鲁明. 杏仁脱皮去苦及杏仁油脱色研究[J]. *食品科技*, 2007(2):108-110.
- [12] 臧瑾康, 吴纯红, 沈中, 等. 苦杏仁脱苦去毒的最佳工艺条件探讨[J]. *四川食品与发酵*, 1997(4):22-26.
- [13] 张宁, 程新华. 苦杏仁真空脱苦新方法及设备[P]. 中国专利:92105361.4, 1992-04-08.
- [14] 吴发旺, 刘春雷. 响应面优化冷榨法制取山桐子油工艺的研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(11):278-282.
- [15] 吴萍萍, 赖曼萍, 尹艳艳, 等. 响应面法优化山稔叶总黄酮提取工艺的研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(4):223-232.
- [16] 周芳, 赵鑫, 宫婕, 等. 响应面法优化超声辅助提取红皮云杉多酚工艺[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(1):210-218.
- [17] Yaw-Nan Chang, Jen-Chang Huang, Chih-Chen Leeb, et al. Use of response surface methodology to optimize culture medium for production of lovastatin by *Monascus ruber* [J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2002, 30(7):889-894.
- [18] WC Leea, SYusofa, NSA Hamidb, et al. Optimizing conditions for enzymatic clarification of banana juice using response surface methodology (RSM) [J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 73(1):55-63.