

超声波辅助复合酶提取椪柑皮果胶的工艺优化

戴少庆^{1,2}, 李高阳², 唐汉军², 李林静², 苏东林², 单 杨^{3,*}

(1.湖南农业大学食品科技学院, 湖南长沙 410128;

2.湖南省农产品加工研究所, 湖南长沙 410125; 3.湖南省农业科学院, 湖南长沙 410125)

摘 要:对超声波辅助复合酶法提取椪柑皮果胶工艺进行了优化研究。分析了不同预处理方法对果胶得率的影响;在单因素实验的基础上,采用 Box-Behnken Design 响应面优化得到最佳工艺条件为料液比 1:20 (g/mL)、超声波功率 187.5W、超声时间 65.3min、复合酶用量 (m 半纤维素酶:m 纤维素酶 = 1:1) 5.6mg、pH4.82、温度 41.8℃。在此条件下验证果胶得率为 11.93%,说明优化工艺大大提高了果胶得率;所建模型能够较好地预测果胶得率;与单纯酶法相比,该工艺处理时间缩短了 4~5h。

关键词:超声波, 复合酶, 椪柑皮, 果胶, 响应面优化

Optimization of ultrasonic aided composite enzyme on pectin extraction process from penggan peel

DAI Shao-qing^{1,2}, LI Gao-yang², TANG Han-jun², LI Lin-jing², SU Dong-lin², SHAN Yang^{3,*}

(1.College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2.Hunan Provincial Research Institute of Agricultural Product Processing, Changsha 410125, China;

3.Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China)

Abstract: Ultrasonic-assisted for compound enzymes extraction of citrus peel pectin process were optimized. The effects of different pretreatment methods on the yield of pectin were analyzed. On the basis of single factor experiment, the optimum conditions (the solid-liquid ratio 1:20 (g/mL), ultrasonic power 187.5W, ultrasonic time 65.3min, enzyme dosage 5.6mg, pH4.82 and temperature 41.8℃) were gotten by Box-Behnken Design Response Surface method. Under this condition, the actual yield of pectin was 11.93% which illustrated that the yield of pectin was greatly improved by this optimization process. The model could predict the yield of pectin and compared with pure enzyme treatment, and the processing time was reduced 4~5h.

Key words: ultrasonic wave; complex enzyme; orange peel; pectin; response surface analysis

中图分类号: TS255.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2014)11-0193-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2014.11.034

果胶是构成植物细胞结构的主要成分之一,其结构主要以 α -D-半乳糖醛酸通过 1,4-糖苷键聚合而成,相对分子质量介于 1 万~40 万之间,含量约占橘皮总重的 10%~30%^[1-2]。果胶是一种天然水溶性膳食纤维,由于它具有优良的胶凝、乳化、抑菌、抗癌抗腹泻等作用,在食品行业中常作为悬浮剂、乳化剂、稳定剂使用,在医药、化妆品行业中常作辅料、稳定剂、缓释剂使用^[3-6]。

对果胶的研究始于 20 世纪四五十年代,到目前

为止其提取方法不下十种,其中技术最为成熟、应用最广的还属“酸提取法”,但此法环境污染严重^[7],因此寻求环保、高效、快捷的提取方法成为当代科研者及企业的共同目标。研究表明:超声波在一定的条件下可与酶发生协同作用促进酶解反应,但如果功率过大会导致酶的活性降低^[8-9],因此采用超声波辅助酶法提取果胶的方法是可行的。目前已有超声波辅助酶法提取果胶的报道,但果胶得率不高,本实验以湘西椪柑皮为原料,采用超声波辅助复合酶法对果胶的提取进行了优化研究,改进了提取的预处理方法,并利用 Box-Behnken Design 实验设计优化了工艺参数,为探索果胶提取新方法、推动我国果胶产业现代化提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

椪柑皮 产自湘西;纤维素酶 (15U/mg)、半纤

收稿日期:2013-10-16 * 通讯联系人

作者简介:戴少庆(1987-),男,硕士研究生,主要从事农产品深加工方面的研究。

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划(2012BAD31B02);湖南省科技重大专项(2011-9);湖南省产学研结合专项(2010XK6069);国家公益性行业(农业)科研专项(200903043-04-01)。

纤维素酶(20U/mg) 苏柯汉生物工程有限公司;盐酸、NaOH、柠檬酸缓冲液、无水乙醇 均为分析纯。

KQ-250DE 型数控超声波清洗器 昆山市超声波仪器有限公司;雷磁 PHSJ-3F 型 pH 计 上海亿测电子设备有限公司;Avanti J-26XP 型冷冻离心机 Beckman Coulter, USA;FA1104 型电子天平 上海精科天平有限公司;RE52-86A 型旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;101-1AB 型电热鼓风干燥箱 天津市泰斯特仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 原料预处理→超声波辅助复合酶处理→离心过滤→浓缩→沉淀→纯化→干燥、称重→成品检验

1.2.2 预处理 椪柑皮经干燥后粉碎、过 60 目筛备用。准确称量样品 1.0000g,滤纸包扎好,分别采用热水漂洗法、无水乙醇二次浸泡法、索氏提取法处理,其中无水乙醇二次浸泡法、索氏提取法处理后再用 60℃ 热水漂洗至溶液无色,沥干备用。

1.2.3 提取、分离与纯化 原料经预处理后加入一定量的柠檬酸缓冲液,调节一定量的料液比、pH 后加入适量复合酶(纤维素酶、半纤维素酶)摇匀后置于特定功率的超声波清洗器中在特定温度下处理一段时间,然后取出 85℃ 水浴灭酶 10min、离心,离心过滤参数设置为转速 5000r/min、温度 5℃ 条件下离心 10min,重复 3 次,得上清液;提取液经浓缩沉淀后采用 80% 酸性乙醇溶液(0.1mol/L HCl)洗涤数次,然后用 80% 的乙醇溶液冲洗数次洗去 Cl^{-1} ,0.1mol/L AgNO_3 溶液检验,再用无水乙醇洗涤 2~3 次达纯化目的。

1.2.4 单因素实验 利用单因素实验方法确定实验的适宜料液比、复合酶用量及比例、pH、温度、超声波功率、超声时间。固定实验条件为温度 50℃、加酶量($m_{\text{半纤维素酶}}:m_{\text{纤维素酶}} = 1:1$) 5mg、pH4.8、料液比 1:20、超声波功率 150W、超声时间 60min。分别测定各单因素料液比(1:10、1:15、1:20、1:25)、加酶量($m_{\text{半纤维素酶}}:m_{\text{纤维素酶}} = 1:1, 2.5, 5, 7.5, 10\text{mg}$)、加酶比例(加酶量为 5mg, $m_{\text{半纤维素酶}}:m_{\text{纤维素酶}} = 1:2, 1:1, 3:2, 2:1$)、pH(4.4、4.6、4.8、5.0)、温度(30、40、45、50、60、65、70℃)、超声功率(125、150、175、200、225、250W)、超声时间(20、40、60、80、100、120min)对果胶提取率的影响。

1.2.5 响应面优化实验设计 在单因素的基础上,采用 Design-Expert 8.0.6 软件中的 Box-Behnken Design^[10-12]对提取工艺进行优化实验设计;Box-Behnken Design 实验设计见表 1。

表 1 响应面优化实验水平和编码

Table 1 Level and code of variables chosen for RSM design

因素	编码水平		
	-1	0	1
A 超声波功率(W)	175	200	225
B 超声时间(min)	40	60	80
C 酶用量(1:1,mg)	2.5	5	7.5
D pH	4.5	4.7	4.9
E 温度(℃)	40	45	50

1.2.6 干燥与称量 所得果胶在 60℃ 条件下干燥 12h 并计算果胶得率:

$$\text{果胶得率}(\%) = \frac{\text{果胶质量}}{\text{原料质量}} \times 100$$

2 结果与分析

2.1 预处理影响

不同预处理方法在提取条件为料液比 1:20、55℃、 $m_{\text{酶}}(1:1) = 5\text{mg}$ 、pH4.8、120min 下处理果胶得率见表 2。

表 2 不同预处理方法对果胶提取率的影响

Table 2 Effects of different pretreatment methods on the yield of pectin

序号	预处理方法	得率(%)
1	热水漂洗法	5.35
2	无水乙醇二次浸泡法	6.66
3	索氏提取法	6.71

实验结果表明,热水漂洗法得到的果胶提取率最低,原因是热水漂洗法漂洗次数明显多于方法 2 和 3,而果胶为水溶性的,因此损失较多,导致提取率降低。方法 2 和方法 3 采用先去除脂溶性色素的方法,后续步骤可省略“脱色”工艺^[13],由表 1 可知,二者得率无显著性差异,但实验中方法 2 需消耗大量乙醇,考虑到成本问题,本研究选择索氏提取法作为实验的预处理方法。

2.2 单因素实验结果

2.2.1 不同料液比对果胶得率的影响 由图 1 可知,在料液比大于 1:20 时,提取率随着提取液体积的增加而上升,此后再增加提取液体积时,提取率逐步趋向平稳。原因是提取液过少致使溶液粘度过大,减弱了超声波的瞬间冲击力和“空化效应”,因而提取率较低。考虑到能效问题,选择最佳料液比为 1:20 ($\text{g}:\text{mL}$)。

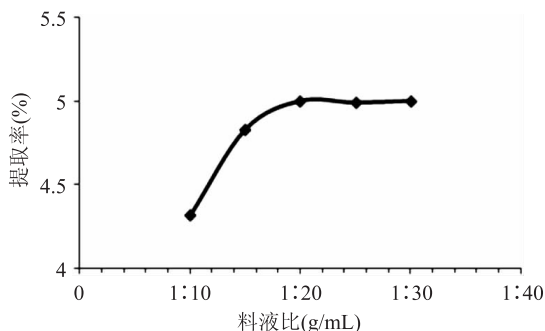


图 1 料液比对果胶得率的影响

Fig.1 Effects of the ratio of solid-liquid on productivity of pectin

2.2.2 不同加酶量及其比例对果胶得率的影响 由图 2-a 可知,果胶的提取率随加酶量的增加而升高,在低于 5mg 时上升趋势显著,高于 5mg 后上升趋势明显减缓,故实验选择复合酶(纤维素酶和半纤维素酶)的添加量为 5mg;根据图 2-b 显示,加酶比例应选择为 1:1。

2.2.3 不同 pH 对果胶得率的影响 pH 直接影响了

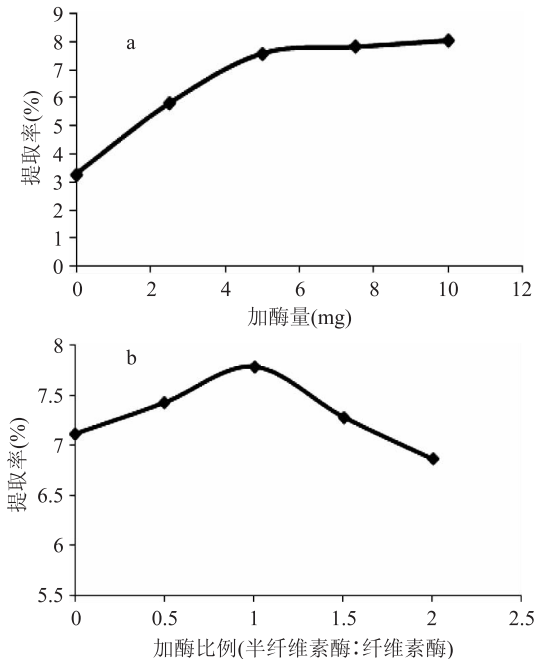


图2 加酶量及其比例对果胶提取率的影响
Fig.2 Effects of the amount and the ratio of enzyme on the extraction rate of pectin

酶的活性,随着 pH 的升高,果胶得率呈现出先升高后下降的趋势。图 3 显示,最适 pH 介于 4.6~4.8 之间,因此实验选取 4.7 为适宜 pH。

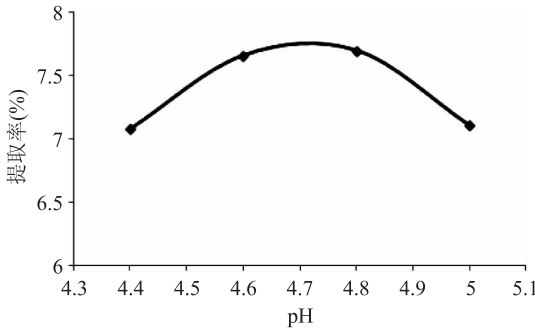


图3 pH 对果胶提取率的影响
Fig.3 Effects of pH on the extraction yield of pectin

2.2.4 不同温度对果胶得率的影响 温度影响酶的活性,在一定的范围内,温度升高能够提高酶的活性,因此提取率随之升高,当温度过高时,酶结构发生变化,活性急速下降,因而果胶得率下降。从图 4 可以看出温度为 45℃ 时,果胶的得率最高,故选 45℃ 为实验的适宜温度。

2.2.5 不同超声波功率对果胶得率的影响 超声波功率影响酶的活性,在一定的范围内能够与酶产生协同作用提高果胶得率。由图 5 可知,超声波功率为 200W 时,桉柑皮果胶的得率最高,故选择 200W 为实验的适宜功率。

2.2.6 超声时间对果胶得率的影响 由图 6 可知,随着时间的延长,果胶得率呈现出先升高后略有下降的趋势,在 60~80min 时较平稳。出现此种情况的原因可能是超声时间过长,果胶长链被打断,导致小分子果胶数量增多,因而得率略有下降。考虑能效问题,实验选取 60min 为适宜的超声时间。

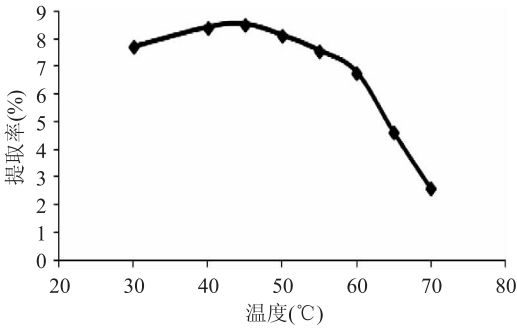


图4 温度对果胶提取率的影响
Fig.4 Effects of temperature on the extraction yield of pectin

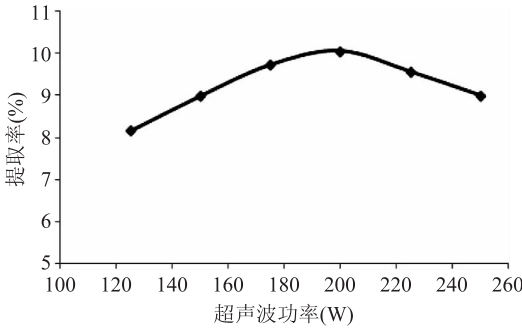


图5 超声波功率对果胶提取率的影响
Fig.5 Effects of ultrasonic power on the extraction yield of pectin

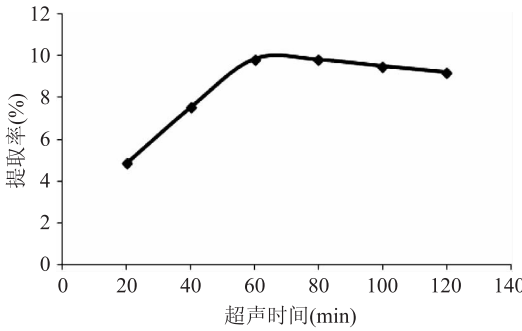


图6 超声时间对果胶得率的影响
Fig.6 Effects of ultrasound time on the extraction yield of pectin

2.3 响应面实验结果及分析

2.3.1 Box-Behnken 优化设计结果 实验设计和结果如表 3 所示。

表3 Box-Behnken 优化设计结果

Table 3 Box-Behnken experimental design and results

实验号	A	B	C	D	E	Y 果胶得率 (%)
1	0	1	0	1	0	11.55
2	1	0	0	1	0	10.6
3	0	1	0	0	-1	9.4
4	0	0	1	-1	0	11.5
5	0	1	0	-1	0	10.8
6	0	0	0	0	0	11.76
7	-1	0	0	-1	0	10.38

续表

实验号	A	B	C	D	E	Y 果胶得率 (%)
8	1	0	0	-1	0	9.92
9	-1	-1	0	0	0	6.58
10	0	0	0	1	1	9.11
11	0	0	0	1	-1	9.95
12	0	0	0	0	0	11.8
13	0	-1	0	1	0	7.15
14	0	0	0	-1	-1	7.62
15	0	0	0	0	0	11.8
16	1	0	-1	0	0	7.18
17	-1	1	0	0	0	11.06
18	0	1	-1	0	0	8.12
19	0	0	1	0	-1	10.36
20	-1	0	1	0	0	11.54
21	0	-1	-1	0	0	3.56
22	0	0	-1	-1	0	7.18
23	0	0	0	0	0	11.84
24	-1	0	-1	0	0	6.56
25	0	0	1	0	1	10.31
26	0	0	0	0	0	11.88
27	0	-1	0	-1	0	6.4
28	-1	0	0	0	-1	9.62
29	0	-1	1	0	0	7.64
30	0	0	-1	0	1	6.74
31	0	0	-1	1	0	8.09
32	1	-1	0	0	0	6.32
33	1	0	0	0	-1	8.86
34	-1	0	0	0	1	10.12
35	1	1	0	0	0	10.3
36	0	1	0	0	1	10.46
37	0	0	0	-1	1	9.98
38	1	0	1	0	0	10.31
39	0	-1	0	0	1	7.12
40	0	0	-1	0	-1	6.28
41	0	0	1	1	0	11.87
42	-1	0	0	1	0	11.21
43	0	-1	0	0	-1	5.44
44	1	0	0	0	1	9.5
45	0	1	1	0	0	11.56

2.3.2 回归方程及方差分析 运用 Design-Expert 8.0.6 软件对实验数据进行二次多元回归分析,得到回归方程: $Y = 11.82 - 0.26A + 2.06B + 1.96C + 0.36D + 0.36E - 0.12AB - 0.46AC - 0.037AD + 0.035AE - 0.16BC - 0.15BE - 0.14CD - 0.13CE - 0.80DE - 0.87A^2 - 2.25B^2 - 1.80C^2 - 0.60D^2 - 1.63E^2$

同时得到如表 4 所示的响应面回归模型与方差分析表,由表可知模型的 $p < 0.0001$,回归模型相关性极度显著($p < 0.01$);决定系数 $R^2 = 0.9856$,校正决定系数 $R^2_{adj} = 0.9735$,预测决定系数 $R^2_{pred} = 0.9423$,说明回归方程具有较高的预测性;显著性检验结果表明,一次项和二次项对实验结果的影响高度显著,交互

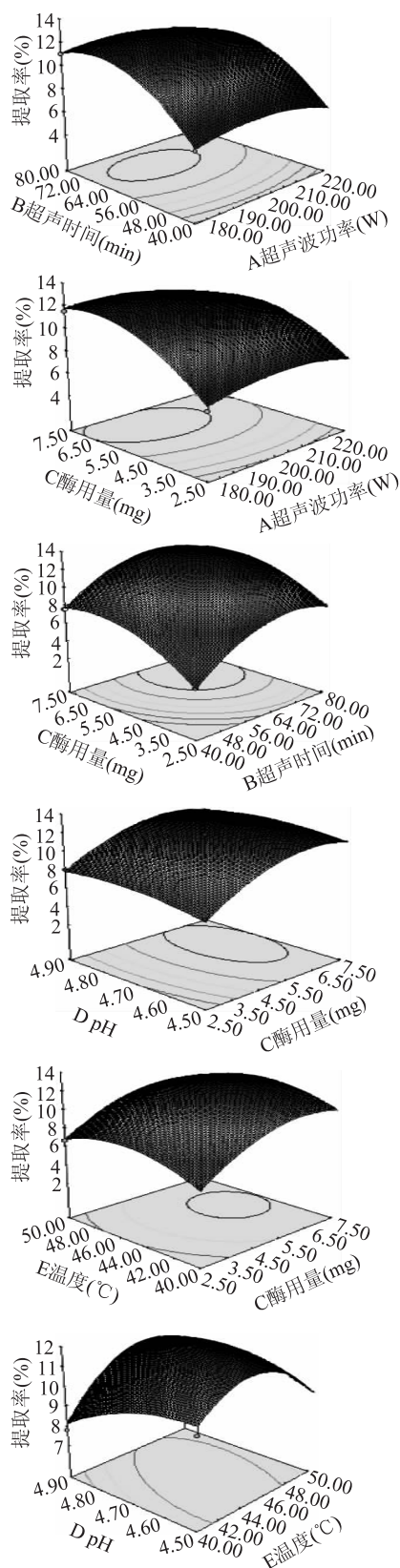


图 7 各因素相互作用对果胶提取率影响的响应面曲线图

Fig.7 Interaction of various factors affecting the extraction rate of pectin response surface plot

项 DE 之间影响极显著,AC 之间影响显著,其他交互影响较小;失拟项显著表明模型未能较好地拟合方程,但模型的变异系数 C.V.为 3.75%在可接受范围内,且精密度为 34.76 大于 4,因此该模型可用于果胶

表4 响应面二次模型方差分析
Table 4 ANOVA for response surface quadratic model

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	
模型	197.0681	20	9.87836	81.87396	<0.0001	significant
A	1.035306	1	1.0404	8.623057	0.0072	
B	68.2276	1	68.2276	565.4849	<0.0001	
C	61.54403	1	61.54403	510.09	<0.0001	
D	1.788906	1	2.066406	17.12682	0.0004	
E	2.1025	1	2.109756	17.48611	0.0003	
AB	0.0625	1	0.0625	0.518013	0.4786	
AC	0.855625	1	0.855625	7.091603	0.0136	
AD	0.0049	1	0.005625	0.046621	0.8309	
AE	0.0049	1	0.0049	0.040612	0.8420	
BC	0.1024	1	0.1024	0.848713	0.3661	
BD	0	1	0	0	1.0000	
BE	0.0961	1	0.0961	0.796497	0.3810	
CD	0.0729	1	0.0729	0.604211	0.4446	
CE	0.065025	1	0.065025	0.538941	0.4700	
DE	2.576025	1	2.56	21.21783	0.0001	
A ²	6.097228	1	6.108972	50.63246	<0.0001	
B ²	41.18186	1	41.18186	341.3241	<0.0001	
C ²	26.5023	1	26.5023	219.6567	<0.0001	
D ²	3.134472	1	2.887065	23.92861	<0.0001	
E ²	21.70063	1	21.67849	179.676	<0.0001	
Residual	2.907395	24	0.120653			
Lack of Fit	2.899075	20	0.144368	69.40765	0.0404	significant
Pure Error	0.00832	4	0.00208	81.87396		
Cor Total	199.9755	44				
Std.Dev.	0.347352		R ²	0.985555		
Mean	9.274		R ² _{Adj}	0.973518		
C.V.%	3.745437		R ² _{pred}	0.942321		
PRESS	11.56243		Adeq Precision	34.76108		

得率的预测。出现此种情况的原因是超声波功率、时间与温度、pH 之间的相互影响极小;此外,由表 4 还可得到模型的主次影响因素依次为:超声时间 > 复合酶用量 > 温度 > pH > 超声波功率。

各交互因素响应面图见图 7,由图可知:超声波功率、超声时间、复合酶用量三者之间的相互作用较明显,温度、pH 与复合酶用量三者之间相互作用明显,其原因是酶的活性受温度、pH 和超声波功率影响较大,而超声时间即处理时间直接影响果胶得率。

2.4 最佳工艺条件的确定与验证

利用 Design-Expert 8.0.6 软件分析模型方程,得到最佳工艺条件为超声波功率 187.5W、超声时间 65.3min、复合酶用量 5.6mg、pH4.82、温度 41.8℃,在此工艺条件下模型的预测值为 12.18%。为了方便操作将上述工艺条件调整为:超声波功率 200W、超声时间 65.3min、复合酶用量 5.6mg、pH4.8、温度 42℃在料液比为 1:25 (g/mL) 条件下进行验证,得到果胶的平均提取率为 11.93%,低于预测值说明该模型存在干扰因素,但其偏差在可接受范围内,因此能够有效地预测实验结果。

3 结论

采用超声波辅助复合酶法提取柑橘皮果胶能够有效地缩短酶法提取果胶的时间、提高提取效率。本研究优化了预处理方法,采用索氏提取法作为实验预处理方法,可省略传统“脱色”工艺^[14];利用响应面法对工艺条件进行优化,果胶得率提高了 8%^[15],与单纯酶法相比,处理时间缩短了 4~5h^[16]。由于实验采用的实验因子过多,导致模型存在一定偏差,但在可接受范围内,因此所建模型可用于果胶得率的预测。

参考文献

[1] 单杨.中国柑橘工业的现状、发展趋势与对策[J].中国食品学报,2008(1):1-8.

[2] 蔡文,谭兴和,张喻,等.柑橘皮果胶提取与分离方法的研究进展[J].食品与机械,2011,27(2):161-164.

[3] 苏东林,单杨,李高阳.柑橘皮里功能性物质种类及其提取工艺的研究进展[J].现代食品科技,2007(3):161-164.

[4] Heather A Ross, Wayne L Morris, Laurence JM, et al.Taylor.Pectin engineering to modify product quality in potato

(下转第 201 页)

均质可以通过空穴和剪切效应将乳浊液中的粒子破碎成微小的粒子^[10],从而显著提高乳浊液的稳定性^[11]。由于乳液中颗粒减小会导致乳液黏度下降,故以杏仁乳均质后的黏度为指标确定最优的均质条件。

杏仁乳经过均质后,可观察到色泽变得更加乳白、均一,不易分层,表观稳定性更好。从图6可看出,均质操作可明显降低杏仁乳的黏度;在一定均质温度下,随着均质压力增加,杏仁乳黏度呈下降趋势,但是当均质压力超过20MPa后,其黏度变化不大;在一定均质压力下,均质温度为50、60℃时,所得的杏仁乳黏度较低且相差不大,均质温度较高时杏仁乳黏度较高。因此,均质温度可取50或60℃,均质压力为20MPa即可。

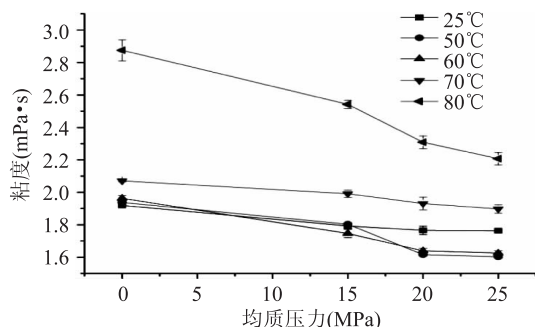


图6 均质条件对杏仁乳黏度的影响

Fig.6 The effect of homogeneity conditions on the viscosity of almond milk

3 结论

3.1 不同磨浆工艺比较表明,虽然热水制浆的杏仁粕成分转化率和杏仁乳蛋白得率稍高于冷水制浆,但热水制浆的杏仁乳黏度高于冷水制浆,同时,水温较高可能造成营养成分和风味物质的损失;当料液比1:9时,转化率、固形物含量和可溶性蛋白含量均较高,黏度适中,且采用冷水和热水制浆得到的转化

率相近。综合考虑,确定制浆工艺参数为:冷水制浆,料液比1:9。

3.2 杏仁乳经过热处理后,黏度和蛋白粒子粒径有增大趋势。当热处理温度低于70℃时,杏仁乳黏度和蛋白粒子粒径分布与未经热处理的杏仁乳相比差别不大,容易保持稳定。因此,杏仁乳后续浓缩工艺的温度不宜超过70℃。

3.3 均质操作可提高杏仁乳的稳定性。结合对杏仁乳黏度影响的考察,确定均质温度50~60℃,均质压力20MPa。

参考文献

- [1] 孔令明,李芳,朱正兰,等.杏仁饼粕制备蛋白粉的工艺研究[J].现代食品科技,2009,25(7):783-785.
- [2] 冯秀华,张学勤,孙景琦.杏仁粕营养成分分析[J].内蒙古农牧学院学报,1999(3):111-113.
- [3] 何余堂,潘孝明,钱建华,等.扁桃仁乳饮料的稳定性分析与工艺研究[J].食品开发,2011,36(3):54-57.
- [4] 张伟,邢建华,郭志刚,等.山药杏仁乳饮料制作工艺优化[J].安徽农业科学,2011,39(20):12154-12155,12157.
- [5] 牟朝丽.新疆小白杏杏仁油的提取及杏仁粕菠萝复合蛋白饮料的研制[D].西安:陕西师范大学,2006.
- [6] 盛小娜,王璋,许时婴.甜杏仁蛋白的功能和结构的研究[J].食品工业科技,2008,29(5):133-136.
- [7] 赵声兰,李涛,陈朝银,等.打浆条件对核桃蛋白溶出率的影响[J].食品工业科技,2000,21(6):42-44.
- [8] 韩丽华.高乳化性大豆蛋白的研制[D].无锡:江南大学,2011.
- [9] 王金梅,夏宁,杨娟,等.天然和热处理大豆蛋白稳定乳液的性质研究[J].中国粮油学报,2012,27(9):16-20.
- [10] 赵新淮.乳蛋白的胰蛋白酶水解模型的建立[J].东北农业大学学报,1996,27(2):201-204.
- [11] 苏国万.均质压力对大豆分离蛋白乳浊液稳定性的影响[J].中国乳品工业,2008,36(11):39-40.

(上接第197页)

- [J].Plant Biotechnology Journal,2011,9(8):848-856.
- [5] Sanko Nguyen, Siv Jorunn Alund, Marianne Hiorth, *et al.* Studies on pectin coating of liposomes for drug delivery[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2011, 88: 664-673.
- [6] 宋馨,艾连中,穆海菠,等.高甲氧基果胶在稳定调配型酸乳体系中的研究[J].中国乳品工业,2012,40(7):19-21.
- [7] 戴少庆,李高阳,苏东林.柑橘果胶的提取及其改性方法的研究进展[J].食品工业科技,2013,34(16):376-379.
- [8] 黎春怡,黄卓烈,张东方,等.超声波和超临界流体对酶活性的影响[J].生物技术通讯,2007,18(2):360-362.
- [9] 杨芙莲,聂小伟,康银.超声波协同酶法提取陕北滩枣总黄酮的研究[J].陕西科技大学学报,2011,29(1):58-61.
- [10] Vega-Estrada J, Flores-Cotera L B, Santiago A, *et al.* Draw-fill batch culture mode for production of xylanases by *Cellulomonas flavigena* on sugar cane bagasse[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2002, 58(4): 435-438.

- [11] Trupkin S, Levin L, Forchiassin F, *et al.* Optimization of a culture medium for ligninolytic enzyme production and synthetic dye decolorization using response surface methodology[J]. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, 2003, 30(12): 682-690.
- [12] 余先纯.响应面优化微波加热法提取橘皮果胶[J].食品研究与开发,2012,33(3):64-67.
- [13] Xue Zhao-hui, Zhang Xin, Zhang Zhi-jun. Optimization of Pectin Extraction from Citrus Peel by Response Surface Methodology[J]. Food Science, 2011, 32(18): 128-132.
- [14] 苏东林,李高阳,刘伟,等.柑橘果胶液的脱色与浓缩纯化工艺优化研究[J].中国食品学报,2011,11(4):108-114.
- [15] 张圣燕.超声波辅助酶解法提取桔皮中果胶的工艺研究[J].广东化工,2011,33(11):27-28.
- [16] 苏东林,李高阳,陈亮,等.橘皮果胶生产工艺优化及品质分析[J].食品科学,2011,32(18):95-101.