

商业果胶酶对酸樱桃果浆酶解效果的优化

高 佳^{1,2}, 王宝刚³, 冯晓元^{3,*}, 李文生³, 张开春³

(1.四川农业大学园艺学院, 四川 雅安 625014; 2.四川省农业科学院农产品加工研究所, 四川 成都 610066;

3.北京市农林科学院林业果树研究所, 北京 100093)

摘 要:以酸樱桃(*Prunus cerasus*)成熟果实为试材, 结合出汁率、透光率、浊度、可溶性固形物、pH 值、果胶含量和花色苷含量等指标, 从 7 种商品果胶酶制剂中筛选出对酸樱桃果浆酶解效果较好的 Ultra AFP 果胶酶。通过单因素试验和 Box-Behnken 响应面分析确定酸樱桃果浆酶解最优工艺条件。结果表明: 加酶量、酶解温度和酶解时间对出汁率、透光率和浊度具有显著影响; 加酶量 1.73mL/kg、酶解温度 46℃、酶解时间 2.3h 最优条件下, 酸樱桃果浆出汁率为 86.2%、透光率为 90.5%、浊度为 2.67NTU。

关键词:酸樱桃果浆; 果胶酶; 响应面法; 优化

Optimization of Enzymolysis of Sour Cherry by Commercial Pectinase

GAO Jia^{1,2}, WANG Bao-gang³, FENG Xiao-yuan^{3,*}, LI Wen-sheng³, ZHANG Kai-chun³

(1. College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China;

2. Institute of Agro-products Processing, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China;

3. Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: Physico-chemical characteristics of juice yield, transmittance, turbidity, soluble solid content, pH, pectin content and anthocyanin content of sour cherry pulp were evaluated after treatment with various commercial pectinases. Ultra AFP was the best enzymes among 7 commercial pectinases. One-factor-at-a-time testing and response surface analysis based on Box-Behnken design were used to determine the optimal conditions for hydrolyzing sour cherry pulp with Ultra AFP. It was indicated that all hydrolysis conditions under investigation significantly influenced juice yield, transmittance and turbidity. Under the optimal hydrolysis conditions: 2.3 h of hydrolysis at 46 °C and an enzyme dose of 1.73 mL/kg, the juice yield, transmittance and turbidity of the samples were 86.2%, 90.5% and 2.67 NTU, respectively.

Key words: sour cherry pulp; pectinase; response surface methodology (RSM); optimization

中图分类号: TS255.44

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)08-0060-06

酸樱桃(*Prunus cerasus* Ledeb)又名欧洲酸樱桃(sour cherry、tart cherry), 原产于欧洲, 果实色泽鲜艳, 具有独特酸香味且营养丰富均衡, 尤其富含花色苷、褪黑激素、芥子醇、鞣花酸等化合物, 具有调节睡眠、清除自由基、抗氧化、抗癌等多种功效, 主要用于果汁、果酒、果酱等加工制品^[1-2]。酸樱桃果实细胞壁中含有大量果胶、纤维素等大分子物质, 破碎后果浆黏稠, 压榨取汁困难且出汁率低^[3]。商品果胶酶制剂是一类含有果胶酶、纤维素酶和蛋白酶等具有催化活性的复合酶, 能降解果胶、纤维素和蛋白质等, 降低果浆黏度, 改善压榨性能, 提高果汁出汁率和澄清度, 减少

果渣产生, 保留果实独特风味和营养成分, 有利于后续的澄清、过滤和浓缩工序^[4]。

响应面分析法(response surface methodology, RSM)是一种优化反应条件、解决多变量问题的有效统计方法^[5]。与传统正交试验相比, RSM 试验周期短、求得回归方程精度高、更有效直观^[6]。本实验比较 7 种商品果胶酶对酸樱桃果浆酶解效果的差异, 应用 Box-Behnken 响应面法建立酶解条件和酸樱桃果浆各项指标之间的数学模型, 以探讨不同酶解条件下各响应值的变化规律, 并得到最佳酶解工艺, 为酸樱桃酶解制汁提供参考。

收稿日期: 2011-04-07

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(200903019); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX201102004)

作者简介: 高佳(1983—), 女, 博士, 研究方向为果蔬贮藏加工。E-mail: tcherry2011@gmail.com

* 通信作者: 冯晓元(1965—), 女, 研究员, 博士, 研究方向为食品科学。E-mail: xyfeng@yahoo.cn

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

成熟酸樱桃(*Prunus cerasus* Ledeb. cv. CAB)鲜果,于2010年6月中旬采于北京市农林科学院林业果树研究所樱桃种质资源圃。剔除残、病、次果,清洗、消毒、沥干、摘除果柄后于-30℃冷冻贮藏,备用。

商品32果胶酶:Pectinex Ultra AFP、Pectinex Ultra Color、Pectinex Ultra Clear、Pectinex Yield Mash 诺维信(中国)投资有限公司;Rapidase C80MAX、Klerzyme 150 帝斯曼(中国)有限公司;JN-700 山东枣庄市杰诺生物酶有限公司。其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

TU-1810紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;3K15型高速冷冻离心机 美国Sigma公司;DK-S24型电热恒温水浴锅 上海精宏实验设备有限公司;TN100型浊度仪 美国Euteoh公司;BSA224S-CW型电子天平 北京赛多利思科学仪器有限公司;PAL-1折光仪 日本Atago公司;PHS-3C型精密pH计 上海雷磁仪器厂;SG260E1多功能榨汁机 浙江苏泊尔炊具股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 商品果胶酶的筛选

酸樱桃冷冻鲜果常温解冻后去除果核,迅速打浆。将7种商品果胶酶制剂(Ultra AFP、Ultra Color、Ultra Clear、Yield Mash、Rapidase C80MAX、Klerzyme 150、JN-700)用去离子水稀释10倍后分别加入等量酸樱桃果浆中混匀,50℃保温水浴1h,果胶酶的添加量统一为1.4mL/kg。酶解后迅速加热到90℃灭酶2min,于8000r/min离心10min,上清液用快速滤纸抽滤,除去少量杂质后即为酸樱桃粗汁。测定各种果胶酶酶解后酸樱桃粗汁的理化指标。

1.3.2 酶解单因素试验

将1.3.1节中筛选出的果胶酶进行酶解单因素试验。由于酸樱桃果浆pH值较低,已在试验所用果胶酶的适用范围内,因此试验中不再调节pH值。采用筛选好的果胶酶分别进行果胶酶添加量0.6~2.0mL/kg、酶解温度30~70℃、酶解时间0.5~5h的单因素试验。当选定某一因素进行单因素试验时,其余酶解条件控制在加酶量1.4mL/kg、酶解温度50℃、酶解时间1h。

1.3.3 酶解条件响应面优化分析

在单因素试验基础上,以果胶酶用量、酶解温度和酶解时间为影响因素,出汁率、透光率和浊度为响应值,运用Box-Behnken响应面分析方法进行试验。实验数据采用Design-expert 7.0统计软件进行回归分析,确定酸樱桃酶解最佳工艺条件,并进行验证实验。

1.3.4 酸樱桃清汁相关指标的计算或测定

出汁率:酶解后酸樱桃清汁质量占酶解前果浆质量的百分数。

透光率(T)^[7]:采用紫外-可见分光光度计测定波长660nm处酶解后酸樱桃粗汁的透光率,以超纯水作对照(计为100%)。

浊度:采用浊度仪测定(单位NTU);pH值:采用精密pH计测定;可溶性固形物(soluble solid, SS)含量:采用折光仪测定,以超纯水作对照;果胶定性^[4]:取1mL酶解后的酸樱桃粗汁于试管中,加入5mL酸化乙醇(浓盐酸体积分数1%),轻轻倒转几次试管混合均匀,静置30min,观察果汁状态,若有絮状沉淀,表明果胶未分解完全,以“+”的多少描述沉淀量多少。

花色苷含量:采用pH示差法^[8]测定。于两只25mL具塞试管中分别加入2mL酸樱桃粗汁,一只试管加入8mL pH1.0缓冲溶液[0.2mol/L KCl溶液-0.2mol/L HCl溶液(1:3, V/V)],适当调节pH(1.0±0.1),另一只试管加入8mL pH4.5缓冲溶液[1mol/L NaAc溶液-1mol/L HCl溶液-H₂O(10:6:9, V/V)],适当调节pH(4.5±0.1),混匀后静置30min,测定510nm和700nm波长处的吸光度 A_{510nm} 和 A_{700nm} 。分别以对应pH1.0缓冲溶液和pH4.5缓冲溶液作对照,实验重复3次,计算平均值。

总吸光度(A)= $pH1.0(A_{510nm} - A_{700nm}) - pH4.5(A_{510nm} - A_{700nm})$

花色苷含量/(mg/L)=($A/L\varepsilon$)×1000× M_w ×DF=($A/26900$)×1000×499.2×DF

式中: A 为吸光度; ε 为矢车菊-3-葡萄糖苷的摩尔消光系数,26900L/(mol·cm); M_w 为花色苷的摩尔质量,449.2g/mol;DF为稀释倍数; L 为比色皿的宽度,1cm。

1.3.5 数据分析

结果采用SPSS 16.0统计软件进行差异显著性检验($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 7种商品果胶酶酶解效果比较

商业用果胶酶制剂通常是由聚半乳糖醛酸酶、果胶裂解酶、果胶酯酶等构成的多种酶的混合物,有的还含有蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶等^[4],因此不同公司生产的酶活性和各组分功能、作用机理各不相同。本实验采用7种不同来源商品果胶酶进行对比实验,得出不同果胶酶对酸樱桃果浆酶解效果的比较。从表1可见,酶解后的酸樱桃清汁出汁率、透光率、花色苷显著增高,浊度降低,可溶性固形物略有增加,pH值变

表1 不同商业果胶酶解效果

Table 1 Effect of different commercial pectinases on juice yield, transmittance and turbidity

酶种类	出汁率/%	透光率/%	浊度/NTU	果胶检测	SS 含量/%	pH	花色苷含量/(mg/L)
Ultra AFP	82.1 ± 0.45 ^a	87.6 ± 0.12 ^b	5.3 ± 0.05 ^f	+	13.8 ± 0.15	3.44	113.2 ± 4.2 ^{ab}
Ultra Color	79.9 ± 0.03 ^{cd}	85.4 ± 0.03 ^c	6.6 ± 0.02 ^e	++	14.1 ± 0.04	3.45	112.9 ± 5.6 ^{ab}
Ultra Clear	79.6 ± 0.91 ^d	85.1 ± 0.06 ^c	8.8 ± 0.02 ^d	++	14.0 ± 0.09	3.44	112.3 ± 1.9 ^{ab}
Yield Mash	80.5 ± 0.37 ^{bc}	85.3 ± 0.21 ^c	18.3 ± 0.05 ^b	+++	13.9 ± 0.18	3.43	120.3 ± 4.8 ^a
JN-700	80.9 ± 0.48 ^b	84.9 ± 0.04 ^d	11.2 ± 0.05 ^c	+	13.9 ± 0.04	3.44	106.9 ± 2.3 ^b
Rapidas C80MAX	78.0 ± 0.16 ^e	85.2 ± 0.01 ^c	6.6 ± 0.32 ^e	++	14.0 ± 0.16	3.46	120.4 ± 1.9 ^a
Klerzyme 150	80.0 ± 0.89 ^{bc}	88.1 ± 0.10 ^a	5.4 ± 0.01 ^f	++	14.0 ± 0.09	3.46	105.9 ± 3.2 ^b
对照	70.5 ± 0.52 ^f	80.6 ± 0.36 ^e	27.1 ± 0.05 ^a	++++	12.6 ± 0.13	3.46	80.2 ± 1.5 ^c

注：采用邓肯氏新复极差法测验，同列数据肩标不同小写字母分别表示差异显著($\alpha = 0.05$)。

化不明显。其中出汁率均提高7%以上，透光率提高5%以上，浊度降低10NTU以上，可见果胶酶对酸樱桃果浆降低黏度、改善压榨性能，提高出汁率、澄清度和降低浊度都有明显促进作用。果胶酶对细胞壁的分解也有利于色素和可溶性固形物的溶出^[9]。

各种商品果胶酶制剂中所含的实质性酶种类和活性不同，对不同果品的酶解效力也不同。比较7种果胶酶，其中Ultra AFP和Klerzyme 150作用后的果浆出汁率、透光率和浊度显著优于其他种类的果胶酶，果胶定性检测表明酶解后果胶含量相对较低；Yield Mash和JN-700作用后的果浆虽然具有较高的出汁率，但透光率较低、浊度较高。比较Ultra AFP和Klerzyme 150，虽然Klerzyme 150透光率较高，但Ultra AFP在提高水果出汁率、花色苷含量和果胶分解上更好。因此，采用Ultra AFP果胶酶进行后续研究。

2.2 酶解单因素试验

2.2.1 果胶酶添加量对酸樱桃果浆酶解效果的影响

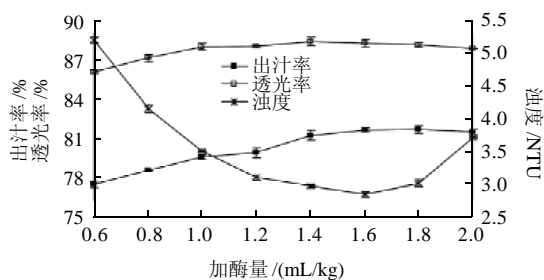


图1 果胶酶添加量对酶解效果的影响

Fig.1 Effect of pectinase concentration on juice yield, transmittance and turbidity

由图1可见，果胶酶添加量对酸樱桃果浆出汁率和浊度的影响较大，对透光率的影响变化趋势相对较缓。随着加酶量的增加，出汁率和透光率均逐渐升高；加酶量大于1.2mL/kg后，变化较平缓。浊度变化趋势相反，

随着加酶量的增加呈现先降低后增加的趋势，在1.2~1.8mL/kg保持较低水平。浊度是液体中不溶性颗粒多少的指标，表示液体的浑浊程度^[10]。出现上述变化规律是由于果胶酶添加量增加使果胶、纤维素等大分子物质的分解更加充分，细胞壁分解，水分被释出，出汁率和透光率增大^[11-12]。当加酶量超过1.8mL/kg后，由于果胶酶本身也属于蛋白质，过量加入引起果汁的浑浊。为进一步验证，实验采用加酶量1.0~2.0mL/kg进行后续响应面优化。

2.2.2 酶解温度对酸樱桃果浆酶解效果的影响

由图2可知，随着酶解温度的升高，出汁率和透光率在40~50℃之间得到最大值，之后逐渐降低。浊度在40~55℃之间较低，超过60℃之后迅速升高。这是因为随着温度的升高，酶活性增加，当温度超过60℃时，酶蛋白变性，导致酶解速度降低。同时，较高温度对色素、VC等热敏性营养物质的破坏较大^[13]。综合考虑，选取酶解温度在35~55℃之间进行响应面优化。

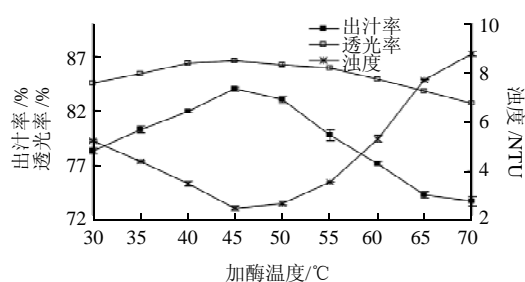


图2 酶解温度对酶解效果的影响

Fig.2 Effect of hydrolysis temperature on juice yield, transmittance and turbidity

2.2.3 酶解时间对酸樱桃果浆酶解效果的影响

由图3可知，随着酶解时间的延长，酸樱桃果浆出汁率和透光率逐渐升高，当酶解时间大于3.5h后，出汁率和透光率降低；浊度变化趋势相反，在1~2.5h之间较低。分析原因，随着酶解时间的延长，酶活性受

损,果浆溶出物质增加,导致浊度升高,使榨汁困难,出汁率和透光率降低。同时,长时间温度处理对香味等营养成分损失较大,可能引起微生物污染^[5]。因此,酶解时间确定为1~2.5h为宜。

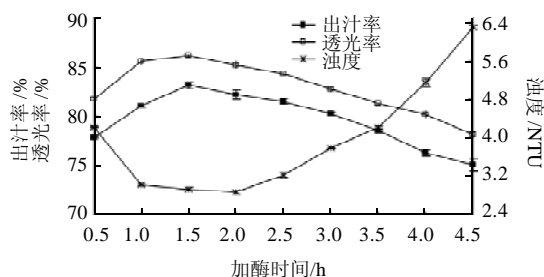


图3 酶解时间对酶解效果的影响

Fig.3 Effect of hydrolysis duration on juice yield, transmittance and turbidity

2.3 酶解工艺条件的响应面优化分析

2.3.1 响应面法试验设计及结果

综合单因素试验结果,以果胶酶添加量、酶解温度、酶解时间为自变量,分别以 X_1 、 X_2 、 X_3 表示,以出汁率、透光率和浊度为响应值进行Box-Behnken试验设计,方案及结果见表2,17个试验点随机进行,重复3次,结果取平均值。

表2 酶解工艺条件优化响应面试验设计及结果
Table 2 Box-Behnken design and experimental results

编号	X_1 果胶酶 添加量/(mL/kg)	X_2 酶解 温度/℃	X_3 酶解 时间/h	出汁 率/%	透光 率/%	浊度/ NTU
1	1(2.0)	-1(35)	0(2.0)	85.8	87.8	5.83
2	1	0(45)	-1(3.5)	86.0	88.9	4.05
3	-1(1.0)	0	-1	85.0	87.2	6.15
4	1	1(55)	0	86.0	87.8	5.65
5	0(1.5)	-1	-1	85.0	86.9	7.55
6	0	-1	1(0.5)	83.7	85.2	9.26
7	0	0	0	86.8	89.6	2.81
8	0	1	-1	85.1	87.3	6.84
9	0	1	1	85.3	87.0	6.63
10	0	0	0	86.8	89.7	2.80
11	-1	-1	0	84.9	85.7	8.82
12	-1	1	0	85.1	86.3	7.24
13	-1	0	1	85.7	87.1	6.23
14	-1	0	1	84.9	86.6	7.16
15	0	0	0	86.7	88.9	3.09
16	0	0	0	86.9	90.1	2.66
17	0	0	0	86.8	90.0	2.69

2.3.2 酶解条件对酸樱桃果浆出汁率的影响

通过对试验结果进行回归分析,建立响应面回归模型,得到出汁率的回归方程:

$$\begin{aligned} \text{出汁率}/\% = & 56.37187 + 4.88667X_1 + 0.99833X_2 + \\ & 2.93X_3 + 0.001X_1X_2 + 0.066667X_1X_3 - 0.024667X_2X_3 - 1.39X_1^2 \\ & - 0.010275X_2^2 - 0.45X_3^2 \end{aligned}$$

表3 出汁率回归模型方差分析

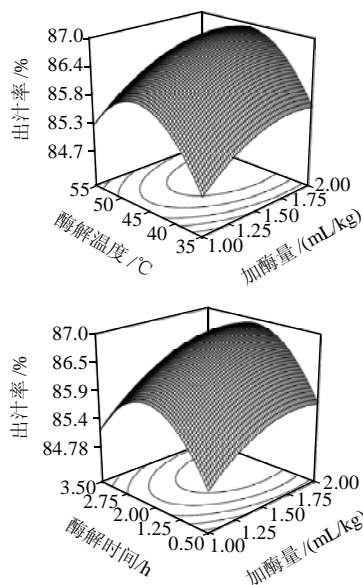
Table 3 Variance analysis for juice yield with various hydrolysis conditions

来源	总和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	13.10	9	1.46	37.47	< 0.0001	***
X_1	1.60	1	1.60	41.24	0.0004	***
X_2	0.53	1	0.53	13.66	0.0077	**
X_3	0.26	1	0.26	6.67	0.0363	*
X_1X_2	0.09×10^{-3}	1	0.09×10^{-3}	2.57×10^{-3}	0.9610	
X_1X_3	0.01	1	0.01	0.26	0.6275	
X_2X_3	0.55	1	0.55	14.10	0.0071	**
X_1^2	0.51	1	0.51	13.09	0.0085	**
X_2^2	4.45	1	4.45	114.44	< 0.0001	***
X_3^2	4.32	1	4.32	111.13	< 0.0001	***
残差	0.27	7	0.04			
纯误差	0.03	4	0.01			
总误差	13.37	16				

注: ***.差异极显著, $P < 0.001$; **.差异高度显著, $P < 0.01$; *.差异显著, $P < 0.05$ 。下同。

由表3方差分析结果可知,出汁率回归方程(模型)的回归效果极显著。对响应值出汁率作用显著的是 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_2X_3 、 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 ;各因素对出汁率影响的大小顺序为果胶酶添加量>酶解温度>酶解时间。

RSM的图形是特定的响应值(Y)对应自变量构成的一个三维空间图,可以直观地反映出自变量对响应变量的影响^[9]。如图4所示,酸樱桃果浆出汁率在加酶量1.75mL/kg、酶解温度45℃、酶解时间2h时较高,图形表现为凸起。



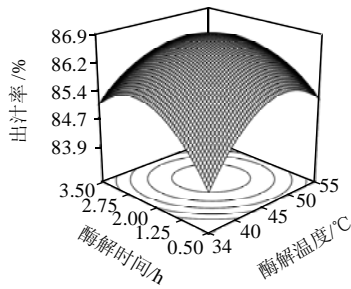


图4 各因素交互作用对出汁率影响的响应面图

Fig.4 Response surface plot showing the interactive effects of pectinase concentration, hydrolysis temperature and hydrolysis duration on juice yield

2.3.3 酶解条件对酸樱桃果浆透光率的影响

通过对试验结果进行回归分析, 建立响应面回归模型, 得到透光率的回归方程:

$$\text{透光率}/\% = 35.32958 + 13.30908X_1 + 1.73834X_2 + 3.02108X_3 - 0.027X_1X_2 + 0.41833X_1X_3 - 0.02325X_2X_3 - 3.829X_1^2 - 0.017973X_2^2 - 0.556X_3^2$$

表4 透光率回归模型方差分析

Table 4 Variance analysis for transmittance with various hydrolysis conditions

来源	总和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	35.23	9	3.91	17.40	0.0005	***
X_1	4.17	1	4.17	18.53	0.0035	**
X_2	0.91	1	0.91	4.06	0.0836	
X_3	2.58	1	2.58	11.45	0.0117	*
X_1X_2	0.07	1	0.07	0.32	0.5870	
X_1X_3	0.39	1	0.39	1.75	0.2275	
X_2X_3	0.49	1	0.49	2.16	0.1849	
X_1^2	3.86	1	3.86	17.15	0.0043	**
X_2^2	13.60	1	13.60	60.45	0.0001	***
X_3^2	6.59	1	6.59	29.29	0.0010	**
残差	1.58	7	0.23			
纯误差	0.97	4	0.24			
总误差	36.81	16				

由表4 方差分析结果可知, 透光率回归方程(模型)的回归效果极显著。对响应值透光率作用显著的是 X_1 、 X_3 、 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 ; 各因素对透光率影响的大小顺序为果胶酶添加量>酶解时间>酶解温度。

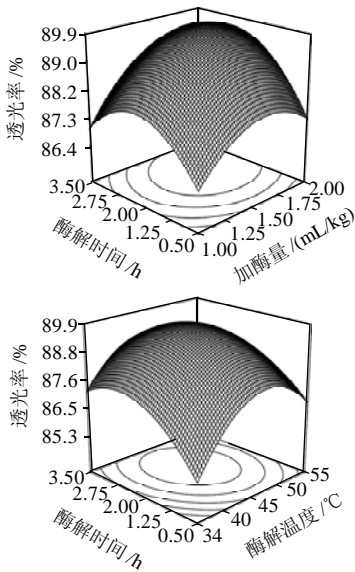
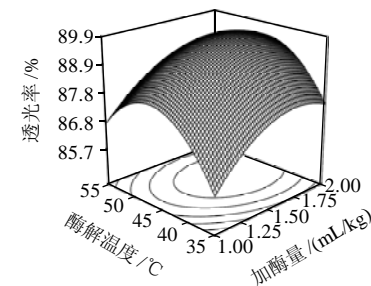


图5 各因素交互作用对透光率影响的响应面图

Fig.5 Response surface plot showing the interactive effects of pectinase concentration, hydrolysis temperature and hydrolysis duration on transmittance

如图5 所示, 酸樱桃果浆透光率在加酶量 1.5mL/kg、酶解温度 45℃、酶解时间 2h 时较高, 图形中表现为凸起。

2.3.4 酶解条件对酸樱桃果浆浊度的影响

通过对试验结果进行回归分析, 建立响应面回归模型, 得到浊度的回归方程:

$$\text{浊度}/\text{NTU} = 88.16642 - 18.7055X_1 - 2.82102X_2 - 4.60294X_3 + 0.07025X_1X_2 - 0.39X_1X_3 + 0.032083X_2X_3 + 4.806X_1^2 + 0.028752X_2^2 + 0.83844X_3^2$$

表5 浊度回归模型方差分析

Table 5 Variance analysis for turbidity with various hydrolysis conditions

来源	总和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	76.47	9	8.50	54.55	< 0.0001	***
X_1	7.27	1	7.27	46.66	0.0002	***
X_2	3.25	1	3.25	20.87	0.0026	**
X_3	2.74	1	2.74	17.62	0.0041	**
X_1X_2	0.49	1	0.49	3.17	0.1183	
X_1X_3	0.34	1	0.34	2.20	0.1818	
X_2X_3	0.93	1	0.93	5.95	0.0448	*
X_1^2	6.08	1	6.08	39.03	0.0004	***
X_2^2	34.81	1	34.81	223.49	< 0.0001	***
X_3^2	14.98	1	14.98	96.21	< 0.0001	***
残差	1.09	7	0.16			
纯误差	0.12	4	0.03			
总误差	77.56	16				

由表5方差分析结果可知,浊度回归方程(模型)的回归效果极显著。对响应值浊度作用显著的是 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_2X_3 、 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 ;各因素对浊度影响的大小顺序为果胶酶添加量>酶解温度>酶解时间。

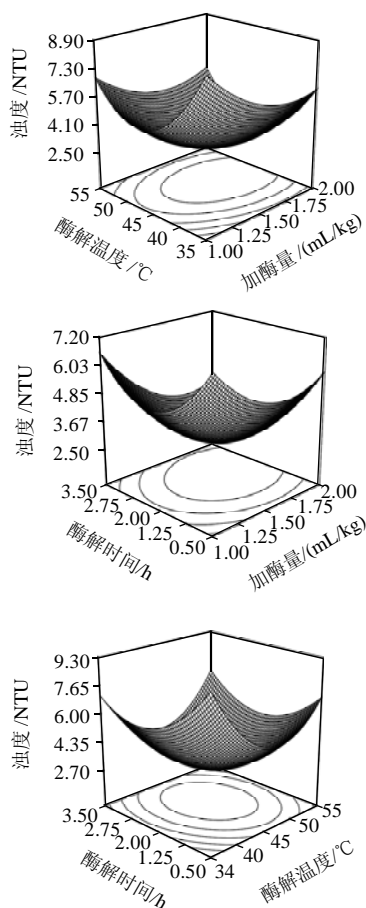


图6 各因素交互作用对浊度影响的响应面图

Fig.6 Response surface plot showing the interactive effects of pectinase concentration, hydrolysis temperature and hydrolysis duration on turbidity

如图6所示,酸樱桃果浆浊度在加酶量1.5mL/kg、酶解温度45℃、酶解时间2h时较低,图形中表现为凹陷。

2.4 酶解工艺条件验证

根据响应面优化分析得出理论最优酶解工艺条件为加酶量1.73mL/kg、酶解温度45.73℃、酶解时间2.26h。此条件下酶解预测值为出汁率86.9%、透光率89.9%、浊度2.54NTU。根据理论推荐酶解工艺和实际操作的方便性进行验证实验,重复3次,结果取平均值。最终得出,在加酶量1.73mL/kg、酶解温度46℃、酶解时间2.3h条件下,酸樱桃果浆酶解出汁率达86.2%、透光率90.5%、浊度2.67NTU。可知酸樱桃果浆出汁率、透

光率和浊度实际测定值与理论预测值接近,误差较小,说明该方程与实际情况拟合很好。

3 结论

3.1 实验结合出汁率、透光率、浊度、可溶性固形物、pH值、果胶含量和花色苷含量等指标,从7种商品果胶酶制剂中筛选出对酸樱桃果浆酶解效果较好的Ultra AFP果胶酶。

3.2 选用Ultra AFP果胶酶在单因素试验的基础上,通过响应面分析确定了酸樱桃果浆酶解工艺条件为:加酶量1.73mL/kg,酶解温度46℃,酶解时间2.3h。此条件下酸樱桃果浆酶解后出汁率86.2%、透光率90.5%、浊度2.67NTU。各因素对出汁率和浊度影响的大小顺序为果胶酶添加量>酶解温度>酶解时间,对透光率影响的大小顺序为果胶酶添加量>酶解时间>酶解温度。

3.3 经回归分析和验证性实验表明,响应面法能较好的对酸樱桃果浆酶解工艺进行分析和参数优化,所得酶解工艺条件可行。

参考文献:

- [1] KIRAKOSYAN A, SEYMOUR E M, URCUYOLLANES D E, et al. Chemical profile and antioxidant capacities of tart cherry products[J]. Food Chemistry, 2009, 115(1): 20-25.
- [2] 崔新颖,李香艳,孔祥雨,等. 酸樱桃果实有效成分及药理作用的研究[J]. 北华大学学报: 自然科学版, 2007, 8(2): 145-149.
- [3] MANUEL P, BIRGITTE Z P, BIRGITTE Z, et al. Juice clarification by protease and pectinase treatments indicates new roles of pectin and protein in cherry juice turbidity[J]. Food and Bioprocess Technology, 2010, 88(2/3): 259-265.
- [4] 王卫东,孙月娥. 果胶酶及其在果蔬汁加工中的应用[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(11): 222-226.
- [5] 张瑶,蒲彪,刘云,等. 枇杷果浆酶解工艺的响应面法优化[J]. 食品科学, 2010, 31(14): 106-110.
- [6] LEE W C, YUSOF S, HAMID N S A. Optimizing conditions for enzymatic clarification of banana juice using response surface methodology (RSM)[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(1): 55-63.
- [7] 王卫东,许时婴. 黑莓澄清汁的酶解工艺[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(10): 156-159.
- [8] LEE J, DURST R W, WROLSTAD R E. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants and wines by the pH differential method: collaborative study [J]. Journal of AOAC International, 2005, 88(5): 1269-1278.
- [9] LIEW A A G, SULAIMAN N M, AROUA M K, et al. Response surface optimization of conditions for clarification of carambola fruit juice using a commercial enzyme[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81(1): 65-71.
- [10] 陈启聪,黄惠华. 复合酶对香蕉果浆的酶解效果优化研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(10): 186-190.
- [11] 闫莹,梁艳晖. 果胶酶对香蕉汁澄清的工艺研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2007(1): 59-63.
- [12] 但晓容,张颖,卢晓黎. 响应面法优化酶解制备板栗清汁工艺条件研究[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 185-189.
- [13] 鲁周民,张丽,卢蓉,等. 酶解条件对红枣汁主要成分的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 300-302.