

响应面法优化柑橘果渣酶解工艺

刘新¹, 李新生^{1,2,*}, 吴三桥¹, 张志健¹, 江海¹, 韩豪¹, 高玥¹, 胥彦明³

(1. 陕西理工学院生物科学与工程学院, 陕西 汉中 723000; 2. 陕西省资源生物重点实验室, 陕西 汉中 723000;

3. 陕西城固酒业有限公司, 陕西 汉中 723200)

摘要: 以柑橘果渣为原料, 研究果胶酶和纤维素酶对果渣出汁率的影响。通过单因素试验对影响柑橘果渣酶解出汁率的酶解温度、pH 值、酶量、酶解时间四因素进行研究, 并通过响应面分析法优化了果渣酶解工艺参数。结果表明: 果渣酶解的最佳工艺参数为酶解温度 49.17℃、pH 4.23、混合酶酶量 0.68mg/g、时间 3.4h, 在此条件下, 果渣的出汁率为 22.36%。

关键词: 响应面法; 柑橘; 果渣; 酶解

Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Orange Pomace by Response Surface Methodology

LIU Xin¹, LI Xin-sheng^{1,2,*}, WU San-qiao¹, ZHANG Zhi-jian¹, JIANG Hai¹, HAN Hao¹, GAO Yue¹, XU Yan-ming³

(1. School of Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Bio-resources, Hanzhong 723000, China; 3. Shaanxi Chenggu Winery Co. Ltd., Hanzhong 723200, China)

Abstract: Response surface methodology was used to optimize the enzymatic hydrolysis of orange pomace to achieve the maximum juice yield. The combination of pectinase and cellulase at a ratio of 1:2 was more suitable for the enzymatic hydrolysis of orange pomace than each of them. One-factor-at-a-time experiments were conducted to investigate the effects of temperature, pH, enzyme dose and hydrolysis time on juice yield. The optimal conditions for the hydrolysis of orange pomace by both enzymes were enzyme temperature 49.17 °C, pH 4.23, enzyme addition 0.68 mg/g, and hydrolysis time 3.4 h. Under these conditions, the juice yield from orange pomace was 22.36%.

Key words: response surface methodology; orange; fruit dreg; enzymatic hydrolysis

中图分类号: TS255.36

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)04-0086-05

中国是世界柑橘的起源地, 也是世界柑橘生产大国。到 2008 年底, 我国柑橘栽培面积和产量均跃居世界首位^[1]。我国柑橘的 95% 用于鲜果销售, 5% 则用于加工, 加工的主要产品有柑橘汁、橘瓣罐头、柑橘果冻和果酱、柑橘果酒、柑橘蜜饯和柑橘果醋等^[2-3]。然而在柑橘加工中有近一半为废弃物, 除少量用于提取精油及药用外, 大部分都没有得到合理的利用^[4]。柑橘果渣是柑橘用于制汁或制罐后的下脚料, 主要包括皮、橘络、种子和残余果肉等, 约占果实的 40%~50%^[5-6]。其中含有大量的柑橘精油、柠檬苦素类化合物、柑橘色素、膳食纤维、果胶、黄酮类化合物等功能性成分, 可广泛应用于制药、化妆品、食品工业等, 具有较好的利用价值和经济效益^[7]。柑橘果渣用途广泛, 目前已开发出多种产品, 如柑橘果渣饲料, 柑橘果醋等, 已成为生产企业新的经济增长点。

柑橘果渣中含有大量的果胶、纤维素和细胞内容物。果胶酶能降解果肉组织中的果胶、粗纤维等大分子黏性物质, 提高出汁率^[8]。研究表明: 纤维素酶和果胶酶能明显提高水果的出汁率^[9-12]。本研究以橘子酒加工产生的果渣为原料, 采用纤维素酶和果胶酶混合酶解的方法, 开展果渣酶解的工艺优化研究, 以期提高橘瓣的出汁率和减少橘子酒加工中果渣的排放。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

柑橘(汉中主产柑橘品种宫川); 纤维素酶(2000U/g)、果胶酶(4000U/g) 陕西省科学院酶工程研究所。

1.2 仪器与设备

FA2004N 型分析天平(量程 200g) 上海精密科学仪器有限公司; DZKW-4 型恒温水浴锅 黄骅市渤海电器

收稿日期: 2011-11-15

基金项目: 陕西省教育厅产业化培育项目(2011JG21); 陕西省教育厅重点实验室项目(2011JS033)

作者简介: 刘新(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为植物资源学。E-mail: lxs512@163.com

* 通信作者: 李新生(1956—), 男, 教授, 研究方向为生物资源开发及产业化。E-mail: lxs9@tom.com

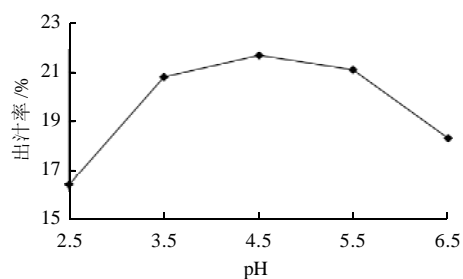


图2 pH值对果渣出汁率的影响

Fig.2 Effect of pH on juice yield from orange pomace

2.2.3 加酶量对果渣出汁率的影响

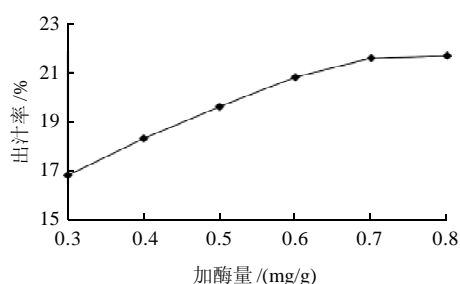


图3 加酶量对果渣出汁率的影响

Fig.3 Effect of total enzyme dose on juice yield from orange pomace

由图3可知,加酶量在0.7mg/g以下时,果渣出汁率随着混合酶量的增加而增加。当混合酶量超过0.7mg/g时,混合酶量对果渣出汁率增加影响不明显。因此,混合酶量应选择0.7mg/g为宜。

2.2.4 酶解时间对果渣出汁率的影响

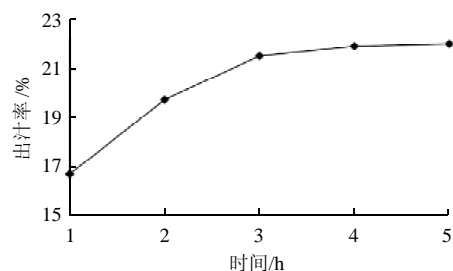


图4 时间对果渣出汁率的影响

Fig.4 Effect of hydrolysis time on juice yield from orange pomace

由图4可知,随着酶解时间的延长,果渣出汁率逐渐升高,但在3h后增加缓慢,且随着酶解时间的延长,能耗加大。因此,酶解时间以不超过4h为宜。

2.3 响应面法优化果渣酶解工艺

2.3.1 响应面试验设计及结果

果渣酶解工艺试验设计及结果见表2、3。

表2 响应面试验因素与水平设计表

Table 2 Coded values and corresponding actual values of the optimization parameters used in response surface analysis

因素	水平		
	-1	0	1
X_1 温度/℃	40.0	50.0	60.0
X_2 pH	3.50	4.50	5.50
X_3 加酶量/(mg/g)	0.30	0.55	0.80
X_4 时间/h	1.0	2.5	4.0

表3 果渣酶解工艺响应面分析方案及结果

Table 3 Experimental design and results for response surface analysis

序号	X_1 温度/℃	X_2 pH	X_3 加酶量/(mg/g)	X_4 时间/h	出汁率/%
1	40	3.5	0.55	2.5	17.61
2	60	3.5	0.55	2.5	17.72
3	40	5.5	0.55	2.5	17.46
4	60	5.5	0.55	2.5	17.06
5	50	4.5	0.30	1.0	19.08
6	50	4.5	0.80	1.0	18.31
7	50	4.5	0.30	4.0	21.80
8	50	4.5	0.80	4.0	22.42
9	40	4.5	0.55	1.0	16.32
10	60	4.5	0.55	1.0	17.35
11	40	4.5	0.55	4.0	18.91
12	60	4.5	0.55	4.0	17.59
13	50	3.5	0.30	2.5	17.90
14	50	5.5	0.30	2.5	18.83
15	50	5.5	0.80	2.5	21.16
16	50	5.5	0.80	2.5	19.41
17	40	4.5	0.30	2.5	16.45
18	60	4.5	0.30	2.5	16.92
19	40	4.5	0.80	2.5	18.99
20	60	4.5	0.80	2.5	18.22
21	50	3.5	0.55	1.0	18.11
22	50	5.5	0.55	1.0	18.92
23	50	3.5	0.55	4.0	20.75
24	50	5.5	0.55	4.0	19.12
25	50	4.5	0.55	2.5	22.25
26	50	4.5	0.55	2.5	22.25
27	50	4.5	0.55	2.5	22.25
28	50	4.5	0.55	2.5	22.25
29	50	4.5	0.55	2.5	22.25

2.3.2 响应面试验数据回归分析

采用 Design Expert 8.0.6 b 软件,对响应面试验数据进行多元回归拟合。以出汁率为响应值(Y),温度(X_1)、pH值(X_2)、加酶量(X_3)、时间(X_4)为自变量,建立回归方程如下:

$$Y = 22.25 - 0.073X_1 - 0.20X_2 + 0.63X_3 + 1.04X_4 - 0.13X_1X_2 - 0.31X_1X_3 - 0.59X_1X_4 - 0.67X_2X_3 - 0.61X_2X_4 + 0.35X_3X_4 - 3.40X_1^2 - 1.72X_2^2 - 1.04X_3^2 - 1.14X_4^2$$

表4 模型和回归系数显著性检验

Table 4 Significance test of each coefficient in the fitted regression model

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	107.700	14	7.69	16.22	< 0.0001	**
X_1	0.065	1	0.06	0.136	0.7177	
X_2	0.500	1	0.50	1.055	0.3217	
X_3	4.725	1	4.73	9.967	0.0070	*
X_4	13.020	1	13.00	27.47	< 0.0001	**
X_1X_2	0.065	1	0.07	0.137	0.7167	
X_1X_3	0.384	1	0.38	0.811	0.3831	
X_1X_4	1.381	1	1.38	2.912	0.1100	
X_2X_3	1.796	1	1.80	3.788	0.0720	
X_2X_4	1.488	1	1.49	3.14	0.0982	
X_3X_4	0.483	1	0.48	1.019	0.3299	
X_1^2	75.000	1	75.00	158.2	< 0.0001	**
X_2^2	19.170	1	19.20	40.44	< 0.0001	**
X_3^2	7.005	1	7.00	14.78	0.0018	*
X_4^2	8.436	1	8.44	17.8	0.0009	*
残差	6.637	14	0.47			
失拟项	6.637	10	0.66			
纯误差	0.000	4	0.00			
总和	114.300	28			$R^2 = 0.9419$	

注：*，显著， $P < 0.05$ ；**，高度显著， $P < 0.0001$ 。

从表4可以看出，根据 P 值判断，模型的显著水平小于0.0001，说明此模型高度显著，该实验方法可靠。回归方程各项方差分析，显著水平小于0.05时，它所对应的条件对响应值的作用显著，并且该模型的 $R^2 = 0.9419$ ，说明此模型与试验实际拟合较好，方程的失拟误差不显著，因此可用该回归方程代替实验真实点对试验结果进行分析。结果表明， X_4 、 X_1^2 、 X_2^2 对果渣出汁率的影响高度显著， X_3 、 X_3^2 、 X_4^2 对果渣出汁率的影响显著，各因素的交互作用均不显著，因此各试验因素对响应值的影响不是简单的线性关系。对果渣出汁率大小的影响因素依次为时间、加酶量、pH值和温度。

2.3.3 响应面分析图

响应面分析图是指在其他因素水平固定的条件下，响应值与试验中两个因素所构成的三维曲面图，可直观地反映各因素之间的相互作用对响应值的影响，见图5。

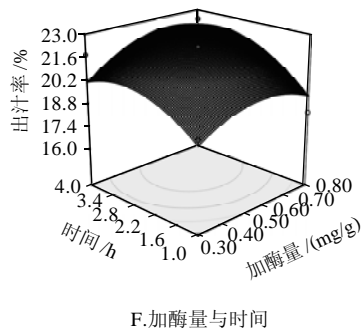
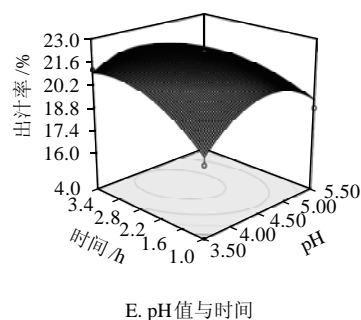
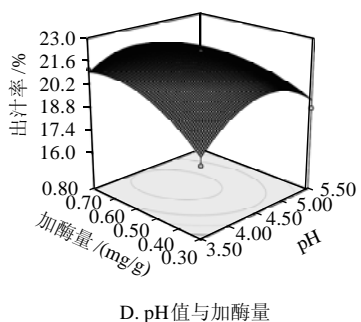
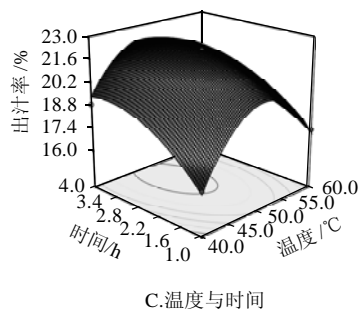
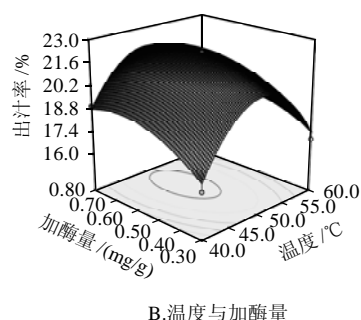
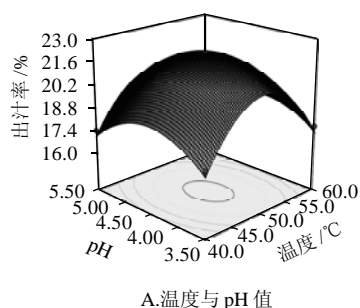


图5 各因素交互作用对果渣出汁率的影响

Fig.5 Response surface and contour plots showing the interaction effects of hydrolysis conditions on juice yield from orange pomace

由图 5 可知,在交互项对果渣出汁率的影响大小依次为: pH 值与加酶量、pH 值与酶解时间、酶解温度与时间、加酶量与酶解时间、酶解温度与加酶量、酶解温度与 pH 值。

2.3.4 验证实验

经回归方程计算得到果渣酶解的最佳工艺参数: 温度 49.17℃、pH 4.23、作用时间 3.4h、加酶量 0.68mg/g。在此条件下果渣出汁率的预测值为 22.76%。在此条件下重复 3 次,果渣出汁率实验值为 22.36%,与预测值的相对误差为 1.77%。验证实验结果见表 5。

表 5 验证实验结果
Table 5 Results of verification experiments

实验号	出汁率/%	平均出汁率/%
1	22.11	22.36
2	22.79	
3	22.18	

3 结 论

响应面法分析结果表明,果渣酶解的最佳工艺参数是酶解温度 49.17℃、pH4.23、酶解时间 3.4h、混合酶酶量 0.68mg/g,果渣出汁率为 22.36%,与理论值的相

对误差为 1.77%。回归分析和验证实验表明: 利用响应面分析方法对果渣酶解工艺优化获得的工艺参数合理、可靠。

参考文献:

- [1] 吴厚玖. 中国柑橘加工产业与技术革新同步发展: 柑橘所建所以来柑橘加工技术研究简介[J]. 中国果业信息, 2010, 27(12): 19-21.
- [2] 蒋新祥, 周灿芳, 万忠, 等. 2008 年广东省柑橘产业发展现状分析[J]. 广东农业科学, 2009(5): 184-187.
- [3] 温志英, 刘焕云. 柑橘加工废料综合利用现状及发展前景[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(11): 162-166.
- [4] 张惠雄. 柑橘加工过程中果渣的发酵处理研究[J]. 粮油食品科技, 2004, 12(5): 13-15.
- [5] 王文娟, 汪水平. 柑橘渣的综合利用[J]. 中国饲料, 2004(14): 30-34.
- [6] 刘晓军. 柑橘加工副产品加工利用[J]. 农产品加工, 2007(11): 29-30.
- [7] 曾顺德, 张超, 张迎君, 等. 柑橘果渣功能性成分提取研究进展[J]. 南方农业, 2007, 1(2): 33-36.
- [8] 蒋依辉, 钟云, 林秉斌, 等. 不同澄清剂对番木瓜柑橘果汁澄清效果的影响[J]. 广东农业科学, 2009(7): 146-148; 155.
- [9] 李长春, 王捷, 张久红, 等. 复合酶对沙棘果汁出汁率的影响[J]. 国际沙棘研究与开发, 2006, 4(4): 8-11.
- [10] 林慧, 王维民. 酶处理对菠萝果汁提取率的影响研究[J]. 农产品加工: 创新版, 2009(4): 40-42.
- [11] 杨建军, 马齐, 宋宏新. 复合酶在苹果汁加工中的应用研究[J]. 食品科技, 2005(3): 76-78.
- [12] 王海棠, 李燕, 邹盈, 等. 果胶酶和纤维素酶对尤力克柠檬出汁率的影响[J]. 农产品加工: 学刊, 2010(3): 56-58.