

酶法处理柑橘果渣回收果汁技术与中试试验

张其圣¹, 陈功¹, 吴厚玖², 王华², 余文华^{1*}, 游敬刚¹,
张文学³, 李洁芝¹, 张颖¹

(1. 四川省食品发酵工业研究设计院, 成都 611130; 2. 中国农科院柑橘研究所, 重庆 400712;
3. 四川大学轻纺与食品学院, 成都 610065)

摘要:以柑橘果渣为原料, 研究酶法回收果汁工艺, 并对工艺进行优化。通过单因素分析和响应面设计, 考察酶用量、酶解时间、酶解温度、渣水比对酶法回收柑橘果汁的影响, 确定了酶法回收柑橘果汁回归方程, 当酶用量 213.38 $\mu\text{g/L}$, 酶解时间 164.02 min, 酶解温度 53.76 $^{\circ}\text{C}$, 渣水比 1:1.05 时, 预测的综合指标最佳, 达到 0.0138, 验证试验的综合指标为 0.0137, 与预测的综合指标接近。利用优化后的工艺进行中试试验, 动态跟踪了果汁的可溶性固形物、酸度、pH 值和氨基酸的变化, 将中试的回收果汁与柑橘还原汁进行感官评价, 评价结果相似, 可部分替代柑橘还原汁应用于橙汁饮料。

关键词:农业废弃物, 果汁, 酶, 柑橘果渣, 理论浓缩耗能

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.04.058

中图分类号: S38, TS255.44 文献标识码: A 文章编号: 1002-6819(2010)-04-0340-07

张其圣, 陈功, 吴厚玖, 等. 酶法处理柑橘果渣回收果汁技术与中试试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 340-346.
Zhang Qisheng, Chen Gong, Wu Houjiu, et al. Technology for recovering juice from citrus pulp with enzyme treatments and its pilot plant test[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(4): 340-346. (in Chinese with English abstract)

0 引言

中国是柑橘原产地之一, 2008 年全国柑橘栽培面积达 203.1 万 hm^2 , 总产量 2 331 万 $\text{t}^{[1]}$, 在栽培面积和总产量上, 均为世界第一, 是柑橘第一生产大国。柑橘取汁后, 残留的果渣占果实质量的 40%~50%, 这些残渣中含有丰富的可溶性糖、酸、果胶、粗脂肪、粗纤维、维生素、氨基酸和矿物质等营养成分^[2-3], 然而, 迄今中国柑橘果渣利用相对较少, 除极少量柑橘果渣用于陈皮(凉果)等加工外, 多作为废弃物处理, 既浪费了资源, 又污染了环境^[4-6], 企业还不得不为此花费大量资金作无害化处理。为提高柑橘企业的竞争力, 须深入进行皮渣资源化利用研究^[7-9], 以促进柑橘产业链的延伸, 同时将大幅度提高柑橘加工企业的经济效益和社会效益^[10]。

目前, 柑橘果渣主要用于生产高蛋白发酵饲料^[11-16]、生物酶制剂^[17-18]、乙醇^[19-20]、提取果胶及功能成分^[21-22]等。而用柑橘废弃物来提高果汁出汁率的报道相对较少, 江南大学^[23]报道了一种酶法洗渣提高橙汁得率的方法, 该方法制得的产品带有苦味, 且该榨汁方式较为复杂, 在生产上很难运用。本文以橙汁生产中排出的果渣为原

料, 利用酶洗法回收果汁, 以柑橘汁回收率、理论浓缩耗能和综合指标为主要分析指标, 确定了最佳的回收工艺, 并进行了处理果渣回收果汁的中试生产研究, 分析比较了回收果汁和柑橘还原汁的感官特点, 为生产上利用柑橘果渣, 提高回收柑橘汁得率提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料、仪器与中试设备

1.1.1 试验材料

1) 果渣, 为甜橙榨汁, 取精油后剩下的部分, 以果皮渣为主, 取自四川某柑橘加工厂;

2) 果胶酶, 固体制剂, 购自天津科建科技发展有限公司, 酶活力为 22 000 U/g。主要含有果胶酯酶、果胶酶和半乳糖醛酸酶的活性, 同时含有纤维素酶和半纤维素酶的活性。

1.1.2 主要试剂、仪器与中试设备

雷磁 PHS-3C 精密 pH 计(上海楚柏实验室设备有限公司); 723 分光光度计(厦门分析仪器厂); DRP-9050 型电热恒温培养箱(上海森信实验仪器有限公司); 2WAJ 型阿贝折光仪(深圳市博大精科技实业有限公司); 1 t 夹层锅(成都味兴邦调味品机械设备有限公司); 100A-2 自动榨橙机(常州国安赛尔包装机械有限公司); 100 kg/h 动态逆流提取及浓缩设备(奈诺生物科技有限公司); LZ-1.5 型螺旋压榨机(江苏科威机械有限公司)。

1.2 工艺路线

酶法处理柑橘果渣回收果汁工艺路线如图 1 所示。

收稿日期: 2009-07-08 修订日期: 2010-03-20

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2007BAD47B05)

作者简介: 张其圣(1983-), 男, 从事食品生物与食品加工技术的研究。
成都 四川省食品发酵工业研究设计院, 611130。

Email: bigbeastone@163.com

*通信作者: 余文华(1970-), 女, 高级工程师, 主要从事农产品加工研究。
成都 四川省食品发酵工业研究设计院, 611130。

Email: ywh700115@163.com

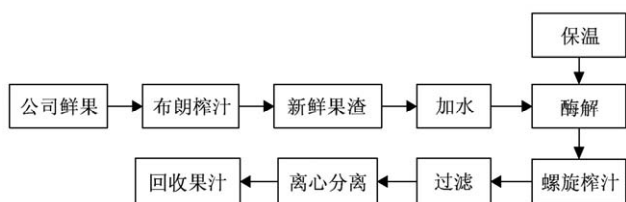


图1 酶法处理柑橘果渣回收果汁工艺路线

Fig.1 Process route of recovering juice from citrus pulp by enzymes

1.3 分析方法

1.3.1 可溶性固形物

参见 GB/T 12143.1—1989《软饮料中可溶性固形物的测定方法 折光计法》。

1.3.2 柑橘汁回收率

将果渣回收后果汁换算为可溶性固形物质量分数为 11.2% 的果汁, 计算柑橘汁回收率。

$$\text{柑橘汁回收率}(\%) = \frac{\text{果渣回收后果汁质量} \times \text{果渣回收后果汁可溶性固形物质量分数}}{\text{柑橘质量} \times 11.2\%} \times 100\%$$

1.3.3 酸度

参见 GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》。

1.3.4 感官评价

参见 GB21731—2008《橙汁及橙汁饮料》。

1.3.5 理论浓缩耗能的定义

理论浓缩耗能是将每 1 kg 果渣回收后的果汁浓缩至可溶性固形物质量分数为 11.2% 时所消耗的能量。

果渣回收后果汁在一定的真空度下进行浓缩, 其理论浓缩耗能包括果渣回收后果汁升温耗能和水分蒸发耗能。设该样品内部的初始温度和含水率均匀分布, 浓缩过程中, 环境加热部位都是均匀的, 根据能量平衡, 有

$$Q = c_p m (T_e - T_0) + r_p \Delta m$$

式中: Q ——理论浓缩耗能, kJ; m ——物料的质量, kg; c_p ——恒压热容, kJ/(kg·K); T_0 ——物料的初始温度, °C; T_e ——水在真空压力下的饱和温度, °C; r_p ——水在真空压力下的汽化潜热, kJ/kg; Δm ——蒸发的水质量, kg。

1.4 试验设计

1) 单因素试验

根据果胶酶作用于果渣回收果汁的特性, 分别研究了酶用量对柑橘果汁回收的影响 (在果汁温度 45°C、作用时间 120 min、渣水比 1:1); 酶解时间对柑橘果汁回收的影响 (酶用量 200 μg/L、果汁温度 45°C、渣水比 1:1); 酶解温度对柑橘果汁回收的影响 (酶用量 200 μg/L、酶解时间 120 min、渣水比 1:1); 渣水比对柑橘果汁回收的影响 (酶用量 200 μg/L、酶解时间 120 min、果汁温度 45°C)。

2) 中心组合设计

在单因素的基础上, 利用中心组合设计法进行试验, 优化酶法回收柑橘果汁工艺参数。

3) 中试试验设计

利用小试优化后的工艺进行回收果汁, 以时间变化动态跟踪酶法回收过程中果汁的柑橘汁回收率、可溶性固形物、酸度、pH 值和氨基酸的变化。

2 结果与分析

2.1 试验阶段酶法处理柑橘果渣回收果汁技术研究

2.1.1 单因素试验

1) 酶用量对柑橘果汁回收的影响

果胶酶加入以后可以分解果胶质、纤维素和半纤维素^[24], 大大增加果汁的可溶性固形物的含量, 从而提高了柑橘汁回收率, 而可溶性固形物含量高, 其理论浓缩耗能也较低。试验中选取酶用量 10、50、100、200、500、1 000 μg/L 6 个水平考察酶解反应后柑橘汁回收率和理论浓缩耗能, 结果见图 2。由图 2 可知, 随着酶用量的增加, 柑橘汁回收率呈现先上升后趋于平衡的状态, 而理论浓缩耗能则呈现逐渐下降的趋势。这主要是因为当酶用量较低时, 酶可能饱和, 所以酶用量越高, 酶解速度越快, 果汁回收率越高, 随着加酶量的继续加大, 反应体系中酶浓度增加, 果汁回收率达到最大。从节约成本考虑选择 200 μg/L 的水平进一步优化试验。

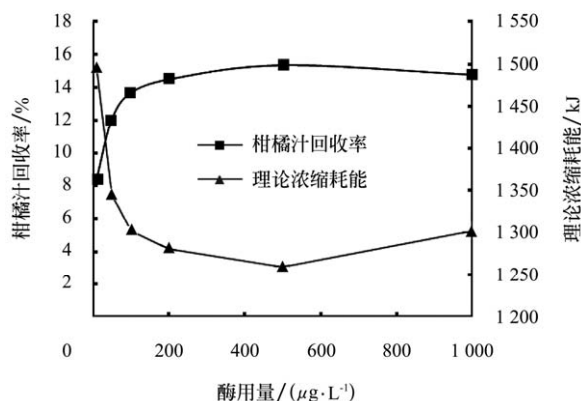


图2 酶用量对柑橘汁回收率及理论浓缩耗能的影响

Fig.2 Effects of enzyme dosage on the citrus juice recover rate and theoretical condense energy

2) 酶解时间对柑橘果汁回收的影响

选取酶解时间 30、60、90、120、150、180、210、240 min 8 个水平考察酶解反应后柑橘汁回收率和理论浓缩耗能, 结果见图 3。由图 3 可知, 随着酶解时间的延长, 柑橘汁回收率先上升后略有下降, 理论浓缩耗能变化先减低后逐渐趋于稳定。酶解时间 150 min 时柑橘汁回收率最大达到 14.67%, 理论浓缩耗能 1 260.1 kJ。这主要是因为前期底物浓度较大, 酶解速度较快, 当底物逐渐被降解后, 酶解速率下降, 而后期柑橘汁回收率略有下降, 古绍彬等人^[25]有类似的研究, 其主要原因是由于作用时间过长, 中间污染了微生物, 利用了其中部分的可溶性固形物。综合柑橘汁回收率和理论浓缩耗能考虑, 选用 150 min 的水平进一步优化试验。

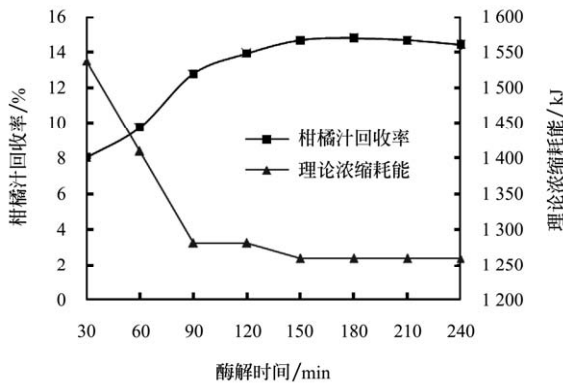


图3 酶解时间对柑橘汁回收率及理论浓缩耗能的影响
Fig.3 Effects of enzymatic reaction time on the citrus juice recover rate and theoretical condense energy

3) 酶解温度对柑橘果汁回收的影响

选取酶解温度 30、40、50、60、70、80℃ 6 个水平考察酶解反应后柑橘汁回收率和理论浓缩耗能, 结果见图 4。由图 4 可见, 随着酶解温度的升高, 柑橘汁回收率先上升后下降, 理论浓缩耗能先下降后上升, 当酶解温度为 50℃ 时, 柑橘汁回收率达到最大 14.76%, 而当酶解温度为 60℃ 时, 理论浓缩耗能最低为 1 238.7 kJ。酶在较低温度下, 酶活力较低, 当温度升高时, 活力逐渐增强, 反应速率加快, 当温度继续升高时, 酶蛋白会逐渐变性而失活, 引起酶反应速率下降。故选择 50℃ 的水平进行优化。

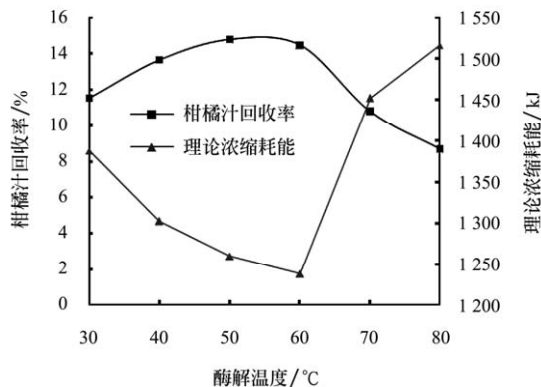


图4 酶解温度对柑橘汁回收率及理论浓缩耗能的影响
Fig.4 Effects of enzymatic reaction temperature on the citrus juice recover rate and theoretical condense energy

4) 渣水比对柑橘果汁回收的影响

选取渣水比 1 : 0.5、1 : 0.75、1 : 1、1 : 1.25、1 : 1.5、1 : 1.75、1 : 2 考察酶解反应后柑橘汁回收率和理论浓缩耗能, 结果见图 5。由图 5 可见, 随着渣水比的减小, 柑橘汁回收率逐渐增高, 而浓缩耗能也逐渐增加, 当渣水比 1 : 0.5 时, 柑橘汁回收率最小为 7.17%, 理论浓缩耗能最低为 1 046.5 kJ; 当渣水比为 1 : 2 时, 柑橘汁回收率最大为 16.57%, 理论浓缩耗能最高为 1 687.25 kJ; 这主要是由于渣水比较大时, 底物浓度较高, 回收的柑橘汁中可溶性固形物含量较高, 理论浓缩耗能较低; 同时由于底物浓度较高, 水的比例较小, 导致回收的柑橘

汁总量下降, 柑橘汁回收率较低, 同时酶作用被完全饱和, 导致酶解速率下降, 造成单位时间内转化率较低^[26], 导致柑橘汁回收率下降。而当渣水比较小时, 由于底物浓度较小, 水的比例较大, 回收的柑橘汁总量有明显提高, 但回收的柑橘汁可溶性固形物含量较低, 浓缩成本较高。综合考虑, 选取 1 : 1 的水平进一步的优化试验。

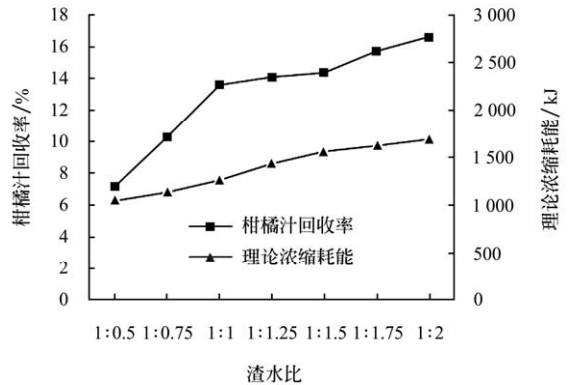


图5 渣水比对柑橘汁回收率及理论浓缩耗能的影响
Fig.5 Effects of ratio of pulp to water on the citrus juice recover rate and theoretical condense energy

2.1.2 中心组合设计试验结果与分析

1) 响应面分析与方差分析

根据上述单因素研究结果, 以酶用量、酶解时间、酶解温度以及渣水比作为自变量 (X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4), 采用中心组合设计方法 (central composite design) 进一步优化果渣果汁回收工艺。试验设计的因素水平见表 1。

表 1 中心组合设计因素水平表
Table 1 Factors and levels of central composite design

代码	因素	水平				
		-2	-1	0	+1	+2
X_1	酶用量/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	150	175	200	225	250
X_2	酶解时间/min	90	115	150	165	180
X_3	酶解温度/℃	40	45	50	55	60
X_4	渣水比	1 : 0.8	1 : 0.9	1 : 1	1 : 1.1	1 : 1.2

果汁回收工艺优劣与柑橘汁回收率 (Y_1) 成正比, 与理论浓缩耗能 (Y_2) 成反比, 故将柑橘汁回收率与理论浓缩耗能的比值作为评判的综合指标 (Y), 即 $Y=Y_1/Y_2$ 。中心组合设计试验方案及结果见表 2。

表 2 中心组合设计实验方案与结果
Table 2 Experimental design and results of the central composite design

试验号	酶用量 X_1	酶解时间 X_2	酶解温度 X_3	渣水比 X_4	综合指标 Y
1	-1	-1	-1	-1	0.01098
2	-1	-1	-1	1	0.01137
3	-1	-1	1	-1	0.01138
4	-1	-1	1	1	0.01208
5	-1	1	-1	-1	0.01176
6	-1	1	-1	1	0.01265

转下页

接上页

试验号	酶用量 X_1	酶解时间 X_2	酶解温度 X_3	渣水比 X_4	综合指标 Y
7	-1	1	1	-1	0.01265
8	-1	1	1	1	0.01320
9	1	-1	-1	-1	0.01216
10	1	-1	-1	1	0.01246
11	1	-1	1	-1	0.01296
12	1	-1	1	1	0.01286
13	1	1	-1	-1	0.01293
14	1	1	-1	1	0.01333
15	1	1	1	-1	0.01351
16	1	1	1	1	0.01402
17	-2	0	0	0	0.01123
18	2	0	0	0	0.01334
19	0	-2	0	0	0.01260
20	0	2	0	0	0.01233
21	0	0	-2	0	0.01184
22	0	0	2	0	0.01295
23	0	0	0	-2	0.01193
24	0	0	0	2	0.01284
25	0	0	0	0	0.01310
26	0	0	0	0	0.01238
27	0	0	0	0	0.01327
28	0	0	0	0	0.01267
29	0	0	0	0	0.01297
30	0	0	0	0	0.01305
31	0	0	0	0	0.01307
32	0	0	0	0	0.01302
33	0	0	0	0	0.01306
34	0	0	0	0	0.01235
35	0	0	0	0	0.01306
36	0	0	0	0	0.01297

利用 SAS 软件中 RSREG 程序分别对柑橘汁回收率、理论浓缩耗能及综合指标进行响应面分析，经二次回归拟合后得到的响应面回归方程分别为：

$$Y = 0.012914 + 0.000516X_1 + 0.000302X_2 + 0.000302X_3 + 0.000228X_4 - 0.000135X_1X_1 - 0.000069X_1X_2 - 5E^{-6}X_1X_3 - 0.000089X_1X_4 - 0.00009X_2X_2 + 0.000025X_2X_3 + 0.000066X_2X_4 - 0.000107X_3X_3 - 0.00002X_3X_4 - 0.00011X_4X_4$$

不同因素交互作用下综合指标的方差分析结果见表 3。可以看出，综合指标 (Y) 的回归方程中失拟项没有达到显著水平 ($P > 0.05$)，表明回归方程中无失拟项存在，预测值与实测值的拟合效果好；综合指标的回归方程中一次项极显著 ($P < 0.01$)，二次项显著 ($P < 0.05$)，表明各因素对综合指标有极显著影响，而各因素间交互没有显著影响 ($P > 0.05$)。

表 3 响应面回归方程的方差分析结果

Table 3 Variance analysis of regression equation

方差来源	自由度	平方和	F 值	P 值	显著性
一次项	4	0.000012008	22.68	<0.0001	**
二次项	4	0.000001588	8.00	0.0419	*
交互项	5	0.000000289	0.36	0.8937	
失拟项	10	0.000001852	2.20	0.1063	
纯误差	11	0.000000927			
总误差	21	0.000002779			

注：** 表示极显著水平 ($P < 0.01$)；* 表示显著水平 ($P < 0.05$)。下同。

对交互作用中不同因素对综合指标进行方差分析的结果见表 4。可以看出，酶用量达到极显著水平 ($P < 0.01$)，表明其对综合指标有极显著影响；酶解时间、酶解温度、渣水比为显著水平 ($P < 0.05$)，表明其对综合指标均有显著影响。同时，根据不同因素 F 值的大小，得到的各因素对综合指标影响的程度依次为：酶用量 > 酶解时间 > 酶解温度 > 渣水比。

表 4 不同因素的方差分析

Table 4 Variance analysis of different factors

方差来源	自由度	平方和	F 值	P 值	显著性
酶用量	5	0.000007168	10.83	<0.0001	**
酶解时间	5	0.000002609	3.94	0.0112	*
酶解温度	5	0.000002568	3.88	0.0120	*
渣水比	5	0.00001829	2.76	0.0453	*

根据综合指标回归方程，可预测出极大值。分析结果表明，当代码值 (X_1, X_2, X_3, X_4) 为 (0.535355, 0.934604, 0.752688, 0.516050) 时综合指标 (Y) 最大 0.013818，即当酶用量 213.38 $\mu\text{g/L}$ ，酶解时间 164.02 min，酶解温度 53.76 $^{\circ}\text{C}$ ，渣水比 1 : 1.05 时综合指标最大为 0.013818。

2) 验证试验

利用上述最佳工艺条件进行了 3 批次试验，其综合指标分别达到 0.0138、0.0134、0.0141，最大误差 0.0007，平均综合指标达 0.01387，与预测结果相近，所得回归方程具有一定的指导意义。

2.2 酶法处理柑橘果渣回收后果汁中试试验

以上述优化的工艺条件为依据，进行了 3 批次中试试验，每次处理柑橘的量为 1 000 kg，中试试验方案如表 5 所示。

表 5 回收果汁中试试验方案

Table 5 Pilot plant test design of recovered juice

批次	果渣/kg	酶用量/g	加水量/kg
1	245	107.17	257
2	242	105.86	254
3	244	106.72	256

分别选取酶作用后 30、60、90、120、150、164、180、210 和 240 min 的样品进行回收果汁，检测其可溶性固形物、酸度、pH 值和氨基酸，结果如图 6 所示。由图可见，随着时间的延长，可溶性固形物逐渐增加，主要是由于酶的作用，将不溶性的果胶、纤维素类物质转化为可溶性固形物，当酶解时间超过 150 min 后，可溶性固形物含量上升趋于缓慢，固形物含量也接近最大值；pH 值随着酶解时间的延长出现下降，酸度随酶解时间的增大呈现上升趋势，主要原因是酶解时间越长，酶解作用越彻底，果渣中被果胶和纤维素类降解成酸类物质，导致了酸度的增大和 pH 值的降低；而氨基酸质量分数随着酶解时间的延长呈现先上升后下降的趋势，在 160 min 左右时达到最高值；因此中试试验过程 160 min 左右的果汁最佳。

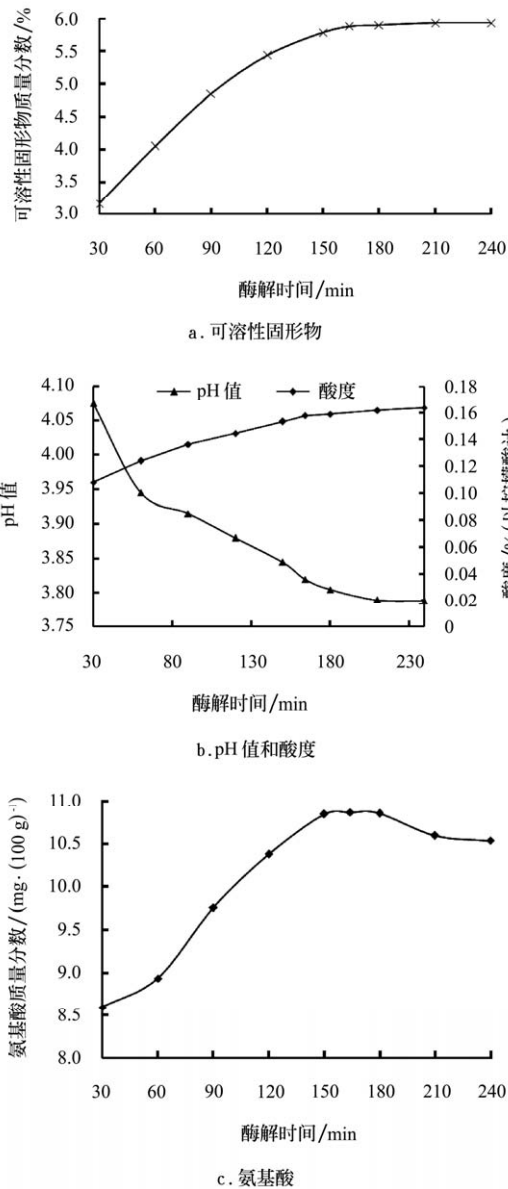


图6 果渣回收后果汁可溶性固形物、pH值、酸度和氨基酸随着时间的变化规律

Fig.6 Changes of juice recovery rate and soluble solid, acid, pH, amino acid in the recovering juice

取164 min的中试的样品进行进一步分析,计算可知柑橘汁回收率达15.64% (平均值),理论浓缩耗能1146.1 kJ,综合指标达到0.0137,中试试验结果与前述试验结果接近;将果渣回收后果汁浓缩汁可溶性固形物质量分数为11.2%,与可溶性固形物11.2%柑橘复原汁进行比较,其感官和理化指标如表6所示。

表6 果渣回收后果汁和柑橘复原汁感官评价

Table 6 Sensory evaluation of recovered juice and restored juice

感官评价指标	回收后果汁	柑橘复原汁
状态	汁液均匀,含少量果肉	汁液均匀,含少量果肉
色泽	浅黄色	橙黄色
气味与滋味	柑橘味、苦	柑橘味、微苦
杂质	无可见杂质	无可见杂质

从表6可以看出,果渣回收后果汁感官评价与柑橘复原汁结果类似,因此可部分替代柑橘还原汁应用于橙汁饮料。

3 结果与讨论

1) 利用单因素试验和响应面设计优化了酶法处理果渣回收果汁的工艺,当酶用量 $213.38 \mu\text{g/L}$,酶解时间164.02 min,酶解温度 53.76°C ,渣水比1:1.05时,预测综合指标为0.0138。在最佳条件下进行验证,平均综合指标达0.01387,预测效果较好,所得的回归方程具有一定的指导意义;进一步对回归方程进行方差分析表明,酶用量对综合指标有极显著影响,酶解时间、酶解温度、渣水比对综合指标有显著影响,其影响程度依次为:酶用量>酶解时间>酶解温度>渣水比。

2) 利用上述最优化条件,进行了酶法处理果渣回收果汁的中试试验,动态跟踪了果汁的可溶性固形物、酸度、pH值和氨基酸的变化规律,取164 min中试样品进行进一步分析表明:柑橘汁回收率达15.64%,理论浓缩耗能1146.1 kJ,综合指标达到0.0137;将回收果汁与柑橘还原汁进行感官评价,结果相似,可用回收果汁部分替代柑橘还原汁应用于橙汁饮料。

本文利用酶法处理果渣回收果汁,进行了实验室规模和中试规模的研究,为实际生产提供参考,但是由于柑橘品种多种多样,利用酶法回收果汁处理的方式和工艺参数也不尽相同,此外,所得的回收果汁其风味较差,尤其是苦味较为明显,这些问题都有待进一步研究。

[参考文献]

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [2] 聂宇燕. 我国柑橘加工业现状研究[J]. 农业产业化, 2005, (5): 50-52.
Nie Yuyan. Current situation of Chinese citrus processing industries[J]. Agricultural Industrialization, 2005, (5): 50-52. (in Chinese with English abstract)
- [3] 郑立辉, 吴高明. 柑橘加工技术研究现状及对策[J]. 武汉工业学院学报, 2002, (4): 18-22.
Zheng Lihui, Wu Gaoming. The current situation of the citrus processing and the way to cope with the situation[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2002, (4): 18-22. (in Chinese with English abstract)
- [4] Bampidis V A, Robinson P H. Citrus by-products as ruminant feeds: A review[J]. Anim Feed Sci Technol, 2006, 128(3): 175-217.
- [5] Laufenberg G, Kunz K, Nystroem M. Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations[J]. Bioresource Technology, 2003, 87(2): 167-198.
- [6] Maria Marcella Tripodo, Francesco Lanuzza, Giuseppe Micali, et al. Citrus waste recovery: a new environmentally friendly procedure to obtain animal feed[J]. Bioresource Technology, 2004, 91(2): 111-115.
- [7] Esther Sendra, Patricia Fayos, Yolanda Lario, et al.

- Incorporation of citrus fibers in fermented milk containing probiotic bacteria[J]. *Food Microbiology*, 2008, 25(1): 13—21.
- [8] 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, 8(1): 1—8.
Shan Yang. Present situation, development trend and counter measures of citrus industry in China[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2008, 8(1): 1—8. (in Chinese with English abstract)
- [9] 吴厚玖, 孙志高, 王华. 论我国柑橘工业发展方向[J]. *食品与发酵工业*, 2006, 32(4): 85—89.
Wu Houjiu, Sun Zhigao, Wang Hua. Study on the Development of Citrus Processing Industries in China[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2006, 32(4): 85—89. (in Chinese with English abstract)
- [10] 程绍南. 我国柑橘加工业发展现状与趋势[J]. *农产品加工*, 2007, (11): 14—17.
- [11] 焦必林, 王华. 柑桔皮渣发酵饲料研究[J]. *饲料与畜牧*, 1992, (3): 6—9.
- [12] 吴厚玖, 焦必林, 王华, 等. 柑桔皮渣发酵饲料中间试验研究[J]. *中国饲料*, 1997, (17): 37—39.
- [13] 余文华, 李洁芝, 张其圣, 等. 柑橘废渣生产单细胞蛋白饲料研究[J]. *食品与发酵工业*, 2008, 34(9): 101—104.
Yu Wenhua, Li Jiezi, Zhang Qisheng, et al. Research on the single cell protein feed by citrus waste residue[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2008, 34(9): 101—104. (in Chinese with English abstract)
- [14] 余文华, 李洁芝, 张其圣, 等. 双菌株二次发酵生产单细胞蛋白饲料[J]. *四川食品与发酵*, 2007, (增刊).
Yu Wenhua, Li Jiezi, Zhang Qisheng, et al. Single cell protein feed produced by two-step fermentation with two strains[J]. *Sichuan Food and Fermentation*, 2007, (Additional Issue). (in Chinese with English abstract)
- [15] Scerra V, Caridi A, Foti F, et al. Influence of dairy *Penicillium* spp. On nutrient content of citrus fruit peel[J]. *Anim Sci Technol*, 1999, 78(1): 169—176.
- [16] Scerra V, Caridi A, Foti F, et al. Changes in chemical composition during the colonization of citrus pulp by a dairy *penicillium roqueforti* strain[J]. *Bioresource Technology*, 2000, 72(2): 197—198.
- [17] 戚炯炯, 张嘉, 单丽君, 等. 以柑橘皮为原料用宇佐美霉生产饲用复合酶的研究[J]. *饲料工业*, 2006, 27(16): 11—14.
Qi Jiongiong, Zhang Jia, Shan Lijun, et al. Study on the production of mixed enzymes using *A.usamii* from citrus pulp[J]. *Feed industry*, 2006, 27(16): 11—14. (in Chinese with English abstract)
- [18] 单丽君, 郑晓冬, 叶兴乾, 等. 利用柑橘皮固体发酵生产复合酶菌株的选育[J]. *菌物学报*, 2005, 24(2): 227—234.
Shan Lijun, Zheng Xiaodong, Ye Xingqian, et al. Utilization of orange peels: screening of multienzyme producing fungal strain in solid-state fermentation[J]. *Mycosystema*, 2005, 24(2): 227—234. (in Chinese with English abstract)
- [19] 饶志明. 微生物发酵法从柑橘皮渣制取乙醇的研究[J]. *果蔬科学*, 2000, 17(1): 31—34.
Rao Zhiming. Study on the production of ethanol by fermentating citrus dregs received from processing[J]. *Journal of Fruit Science*, 2000, 17(1): 31—34. (in Chinese with English abstract)
- [20] Univ U, Sch B S, Coleraine B T, et al. Use of *Saccharomyces cerevisiae* cells immobilized on orange peel as biocatalyst for alcoholic fermentation[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(4): 860—865.
- [21] 余文华, 张颖, 张其圣, 等. 柑桔提取低甲氧基果胶工艺优化研究[J]. *四川食品与发酵*, 2008, 44(6): 25—28.
Yu Wenhua, Zhang Ying, Zhang Qisheng, et al. Optimization of the technology extracting pectin from citrus[J]. *Sichuan Food and Fermentation*, 2008, 44(6): 25—28. (in Chinese with English abstract)
- [22] 张珉, 钟晓红. 柑橘功能性成分研究进展[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(11): 137—140.
Zhang Min, Zhong Xiaohong. Advance in study of functional components in citrus[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(11): 137—140. (in Chinese with English abstract)
- [23] 何霞, 杨瑞金, 王璋, 等. 酶法洗渣提高橙汁得率[J]. *食品工业科技*, 2004, 25(3): 103—108.
He Xia, Yang Ruijin, Wang Zhang, et al. Enhance the recover rate of citrus juice using enzyme treatments[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2004, 25(3): 103—108. (in Chinese with English abstract)
- [24] 宋维春. 用果胶酶提高胡萝卜出汁率方法[J]. *食品与发酵工业*, 2004, 30(12): 155—156.
Song Weichun. The research of increase juice yield of carrot [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2004, 30(12): 155—156. (in Chinese with English abstract)
- [25] 古绍彬, 吴影, 彭光清. 桔皮饮料混浊剂制备工艺的研究[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(29): 9360—9362.
Gu Shaobin, Wu Ying, Peng Guangqing. Study on the preparation technology of beverage clouding agent from orange peel[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2007, 35(29): 9360—9362. (in Chinese with English abstract)
- [26] 林峰, 蔡木易, 谷瑞增, 等. 基于响应面的玉米分离蛋白酶解工艺研究[J]. *食品与发酵工业*, 2008, 34(1): 60—64.
Lin Feng, Cai Muye, Gu Ruizeng, et al. Study on the hydrolysis of corn protein isolate based on the response surface method[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2008, 34(1): 60—64. (in Chinese with English abstract)

Technology for recovering juice from citrus pulp with enzyme treatments and its pilot plant test

Zhang Qisheng¹, Chen Gong¹, Wu Houjiu², Wang Hua², Yu Wenhua^{1*}, You Jinggang¹,
Zhang Wenxue³, Li Jiezhi¹, Zhang Ying¹

(1. *Sichuan Academy of Food and Fermentation Industries, Chengdu 611130, China;*

2. *Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agriculture Science, Chongqing 400712, China;*

3. *College of Light Industry, Textile and Food Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)*

Abstract: Citrus juice was recovered from pulp by enzyme. Taking composite indicator as the main index, the technology was optimized with enzyme dosage, reaction time, reaction temperature, and ratio of pulp to water dilution through single-factor test and responsible surface design. Best predicted composite indicator 0.0138 was got under the conditions: enzyme dosage of 213.38 $\mu\text{g/L}$, reaction time of 164.02 min, reaction temperature of 53.76 $^{\circ}\text{C}$, and ration of pulp to water 1:1.05 (by weight). And it was proved correct that the composite indicator 0.0137 was got by the confirmative test. Meanwhile pilot plant tests were carried out based on the optimized technology. Changes of solid soluble, acid, pH and amino acids were studied during the tests. Recovered juice in the tests can alternatively replace restored juice in citrus beverage, since the similar results of the sensory evaluation.

Key words: agriculture wastes, fruit juices, enzymes, citrus pulp, theoretical condense energy