

# 成熟香蕉果肉淀粉酶解特性研究

徐飞<sup>1</sup>, 黄茂芳<sup>2\*</sup>, 李积华<sup>2</sup>, 胡荣锁<sup>1</sup>

(1. 海南大学食品学院, 海南儋州 571737; 2. 中国热带农业科学院农产品加工研究所, 农业部热带作物产品加工重点开放实验室, 广东湛江 524001)

**摘要** [目的] 研究成熟香蕉果肉淀粉酶解特性。[方法] 以成熟香蕉为原料, 采用淀粉酶有限水解法, 研究其果肉淀粉酶解特性过程中纤维素的总提取率及大分子产物得率, 并通过二次回归通用旋转组合设计及响应面分析确定最佳工艺参数。[结果] 通过响应面分析建立了成熟香蕉果肉淀粉酶解特性研究过程中大分子产物数学模型。采用 SAS 的脊岭分析得到淀粉酶解香蕉的最佳条件工艺为: 酶解温度 53.32 ℃, 酶解时间 8.67 min, 加酶量 2.130 ml, 其产物得率达到最高为 8.85%, 是 CK 的 4.38 倍。[结论] 响应面分析表明, 随着反应时间的增加, 大分子产率逐渐上升, 但当时间到达一定值后, 大分子产物得率趋向稳定; 随着酶解温度的升高和酶解时间的加长, 大分子趋于减少, 最后即酶解过度后完全消失, 进而导致大分子产物得率下降。

**关键词** 香蕉; 纤维素; 响应面法; 提取率

**中图分类号** S668.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)25-12176-03

## Study on the Enzymolysis Characteristics of Pulp Starch in Ripe Banana

XU Fei et al (College of Food, Hainan University, Danzhou, Hainan 571737)

**Abstract** [Objective] The purpose was to research the starch enzymolysis characteristics of ripe banana pulp. [Method] With ripe banana as raw material, the total extraction rate of cellulose and the yield of large-molecule products in the process of starch enzymolysis characteristics of banana pulp were researched by using limited hydrolysis method of amylase, and the best process parameters were confirmed through general revolving combination design of quadratic regression and response surface analysis. [Result] The mathematical model of large-molecule products during the study of starch enzymolysis characteristics of ripe banana pulp was established via response surface analysis. The optimal technology conditions of starch enzymolysis of banana obtained by using ridge analysis of SAS were: the enzymolysis temperature of 53.32 ℃, enzymolysis time of 8.67 min, enzyme dosage of 2.130 ml, and its product yield reached to the highest of 8.85% and was 4.38 times of CK. [Conclusion] The response surface analysis showed that the large-molecule yield was raised gradually with the increase of reaction time, and the yield of large-molecule products tended to be stable when the time arrived at a certain value; the large-molecule tended to decrease with the rising up of enzymolysis temperature and prolonging of enzymolysis time, and finally was disappeared completely, i. e. after over-enzymolysis, which was led to the drop of the yield of large-molecule products.

**Key words** Banana; Cellulose; Response surface method; Extraction rate

香蕉是著名的热带和亚热带水果, 可清热、润肠、润肺、解毒, 有世界“百果之冠”之称<sup>[1]</sup>。我国香蕉年产量 600 多万 t, 居世界第 3 位, 主要以鲜食为主, 加工率低, 主要原因是相关基础理论研究少, 技术水平低。因此, 加强香蕉加工基础理论研究已经成为提高我国香蕉产业加工技术水平, 促进香蕉产业发展的重大课题。

成熟香蕉具有香气纯正、口感爽滑、抗营养因子含量低等优点, 是加工高档食品的理想原料之一。目前有关香蕉酒、醋、果酱、果干、油炸脆片、粉等多种产品的研究报道较多<sup>[2-8]</sup>, 但加工产品和深加工产品还存在许多问题, 如难以保持香蕉原有的色泽和风味, 常见的只有油炸香蕉片, 质差(硬)量小, 难以规模化生产。由于香蕉特性及加工技术研究不多, 技术含量低, 严重影响了香蕉的加工利用。笔者以成熟香蕉为材料, 研究香蕉果肉淀粉酶解过程中纤维素的总提取率和大分子产物得率, 为进一步完善香蕉加工原理、加工技术及开发新产品提供技术参考。

## 1 材料与方 法

**1.1 材料与设备** 香蕉(购于广东省湛江市水果批发市场); 淀粉酶(2 000 活力单位); NaOH、HCl 等均为分析纯。

打浆机, pHs-4CT 型台式精密 pH 计(上海康仪仪器有限公司), SHZ-D 循环水式真空泵(巩义市予华仪器有限责任公

司), 电子分析天平, 101-1A 型数显电热鼓风干燥箱(上海沪南科学仪器联营厂), Anke TDL-5-A 离心机(上海安亭科学仪器厂), HH-4 型数显恒温水浴锅(国华电器有限公司)等。

## 1.2 方 法

**1.2.1 香蕉水分含量测定:** 参考 GB 9827-88 方法。

**1.2.2 香蕉果肉淀粉酶解过程及可溶性纤维总提取率计算。** 精确称取 20 g 香蕉果肉(精确到 4 位小数), 固液比 1:4 加水打浆, 设定水浴温度, 控制反应时间, 加入反应所需要的酶量并低速搅拌, 反应一定时间后冷却调 pH 煮沸 10 min 灭酶, 冷却后调回 pH 值, 3 000 r/min 离心 15 min, 离心渣放入 60 ℃ 烘箱烘干, 测定不可溶纤维素含量。可溶性纤维总提取率由下式计算:

$$\text{总提取率}(\%) = (A - B) / A \times 100$$

式中, A 为果肉转换干重(g); B 为离心渣烘干重量(g)。

**1.2.3 香蕉果肉淀粉酶解后大分子产物得率计算。** 离心液经 4 倍 95% 乙醇沉淀后抽滤, 滤渣放入 60 ℃ 烘箱烘干, 测定大分子产物含量。大分子产物得率由下式计算:

$$\text{大分子产物得率}(\%) = C / A \times 100$$

式中, A 为果肉转换干重(g); C 为抽滤渣烘干重量(g)。

**1.2.4 香蕉果肉淀粉酶解特性的响应面分析。** 采用二次回归通用旋转组合设计(3 因素、5 水平)安排实验<sup>[9]</sup>, 其中 3 因素包括酶解温度( $X_1$ , ℃)、酶解时间( $X_2$ , min)、加酶量( $X_3$ , ml), 所考察的响应值为大分子产物得率, 其计算方法见“1.2.3”。

采用 SAS 软件(V9.0)对实验结果进行响应面分析, 建立数学模型, 并应用脊岭分析优化工艺参数, 最后应用 MAT-

**基金项目** 海南省科技基金项目“香蕉粉制备新工艺及其营养学评价”(50890)。

**作者简介** 徐飞(1982-), 女, 贵州六盘水人, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏工程。\* 通讯作者。

**收稿日期** 2009-02-03

LAB 6.5.1 进行直观作图分析。

## 2 结果与分析

2.1 香蕉水分含量测定 此批香蕉经测定含水量为 76.85%。

2.2 香蕉果肉经淀粉酶解后可溶性纤维总提取率分析

2.2.1 最适反应温度的确定。条件:固液比为 20 g 果肉:80 g 水,2.000 ml 酶液,pH 值 6.8。

从图 1 可知,在 50.00 °C 下淀粉酶解成熟香蕉果肉所得的可溶性纤维的总提取率最高。温度过高或过低,都不利于提高总提取率。因此,实验取 50.00 °C 为淀粉酶作用的最适酶促反应温度。

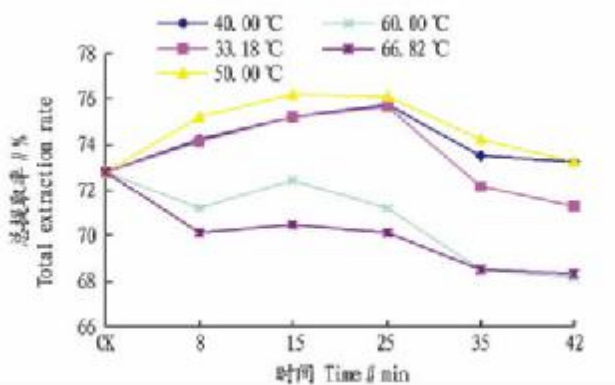


图 1 温度对可溶性纤维总提取率的影响

Fig. 1 Effects of temperature on the total extraction rate of soluble fiber

2.2.2 最适反应酶量的确定。条件:固液比为 20 g 果肉:80 g 水,温度 50.00 °C,pH 值 6.8。

从图 2 可知,在反应时间较短时加入一定的酶量,可溶性纤维总提取率增加,但当反应时间延长时总提取率趋向稳定甚至下降。图 2 显示,加酶量在 1.800 ml 时可溶性纤维总提取率最高,故实验选择 1.800 ml 为最适加酶量。

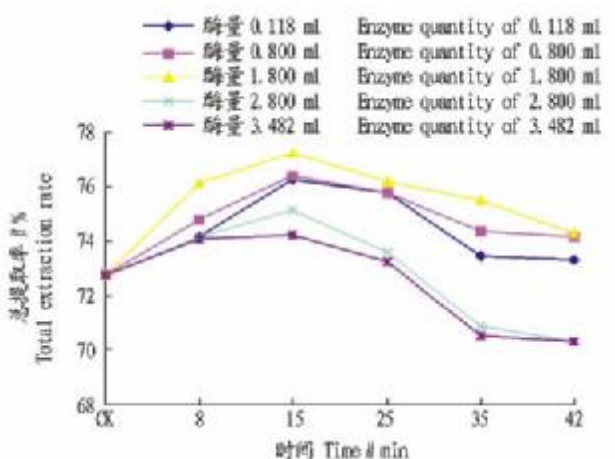


图 2 加酶量对可溶性纤维总提取率的影响

Fig. 2 Effects of enzyme addition on the total extraction rate of soluble fiber

2.2.3 最适反应时间的确定。条件:固液比为 20 g 果肉:80 g 水,温度 50.00 °C,加酶量 1.800 ml,pH 值 6.8。

从图 3 可知,在反应温度较低时,随温度升高,可溶性纤维总提取率增加,但当反应温度进一步升高时总提取率趋向稳定甚至下降。图 3 显示,反应时间在 25.00 min 时可溶性纤维总提取率最高,故实验选择 25.00 min 为最适反应时间。

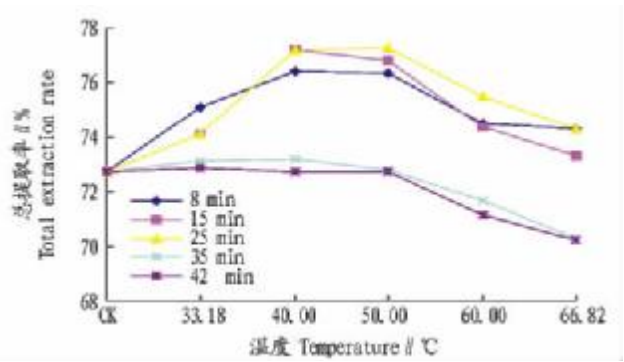


图 3 时间对可溶性纤维总提取率的影响

Fig. 3 Effects of time on total extraction rate of soluble fiber

2.3 香蕉果肉经淀粉酶解后大分子产物得率实验设计与结果分析

2.3.1 实验设计。选用 2% 淀粉酶对香蕉果肉进行纤维素提取,在单因素实验基础上,采用二次回归通用旋转组合设计,应用 SAS V9.0 进行分析优化工艺参数,实验设计与结果见表 1。

表 1 实验设计与结果

Table 1 Experimental design and result

温度 (X <sub>1</sub> ) °C Temperature	时间 (X <sub>2</sub> ) min Time	加酶量 (X <sub>3</sub> ) ml Enzyme quantity	水溶性大分子产物得率 (X <sub>4</sub> ) // % Yield of water-soluble macromolecule products
60.00	35.00	2.800	7.46
60.00	35.00	0.800	7.83
60.00	15.00	2.800	8.08
60.00	15.00	0.800	8.19
40.00	35.00	2.800	7.99
40.00	35.00	0.800	7.89
40.00	15.00	2.800	7.87
40.00	15.00	0.800	7.38
33.18	25.00	1.800	7.29
66.82	25.00	1.800	7.54
50.00	8.00	1.800	9.06
50.00	42.00	1.800	8.43
50.00	25.00	0.118	8.18
50.00	25.00	3.482	8.51
50.00	25.00	1.800	8.76
50.00	25.00	1.800	8.73
50.00	25.00	1.800	8.71
50.00	25.00	1.800	8.71
50.00	25.00	1.800	8.76
50.00	25.00	1.800	8.75
CK			2.02

2.3.2 实验结果分析。对实验结果用 SAS 程序进行分析,计算二次回归方程各系数,并进行相关检验,舍弃影响因子小的项得淀粉酶提取香蕉果肉水溶性大分子产物得率数学模型如下:  $Y = -9.508276 + 0.600404X_1 + 0.134740X_2 + 1.653489X_3 - 0.005198X_1^2 - 0.002013X_1X_2 - 0.000596X_2^2 - 0.013375X_1X_3 - 0.008125X_2X_3 - 0.203589X_3^3$ 。

对回归模型进行方差分析和模型可信度分析表明,方程总回归模型拟合度好,复相关系数的平方系数  $R^2 = 0.9265$ ,说明模型能解释 Y 变化的 92.65%。

采用 SAS 的脊岭分析得到工艺参数的最优解:酶解温度

( $X_1$ ) 53.32 °C, 时间 ( $X_2$ ) 8.67 min, 加酶量 ( $X_3$ ) 2.130 ml 时, 水溶性大分子产物得率达 8.85%, 是 CK 的 4.38 倍。

2.3.3 响应面分析<sup>[10]</sup>。根据上述数学模型, 采用 Matlab 软件进行直观分析得响应面图 4~6。从响应面图可以直观了解各因素对大分子产物得率的影响以及各因素之间的交互作用。

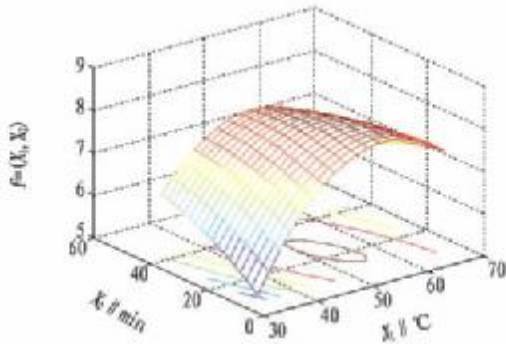


图4 温度 ( $X_1$ ) 和时间 ( $X_2$ ) 对大分子产物得率的影响 (固定条件:  $X_3 = 0$ )

Fig. 4 The influence of temperature and time on the yield of macromolecule products (fixed conditions:  $X_3 = 0$ )

图4表明, 随着反应时间的增加, 大分子产率逐渐上升, 但当时间到达一定值后, 大分子产物得率趋向稳定, 不再增加。因为大分子不溶于水, 当加入适量的淀粉酶时大分子转换成小分子, 而不溶性纤维中的小分子转换成可溶性纤维的大分子, 可溶性纤维中大分子产物得率升高。随着酶解温度的升高、酶解时间的延长, 大分子趋于减少, 最后即酶解过度后完全消失, 进而导致大分子产物得率下降。

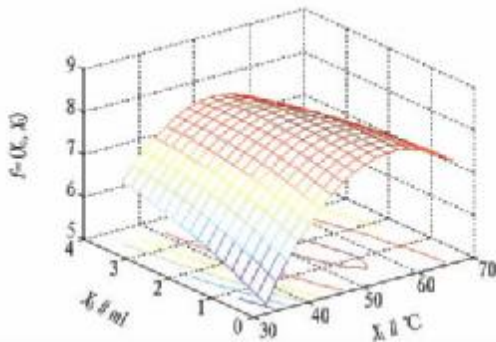


图5 温度 ( $X_1$ ) 和加酶量 ( $X_3$ ) 对大分子产物得率的影响 (固定条件:  $X_2 = 0$ )

Fig. 5 The effects of temperature and enzyme quantity on the yield of macromolecule products (fixed conditions:  $X_2 = 0$ )

图5显示, 加酶量并非越多越好, 在一定酶量的情况下, 反应温度也并非越高越好, 酶量与反应温度具有很明显的交互作用。

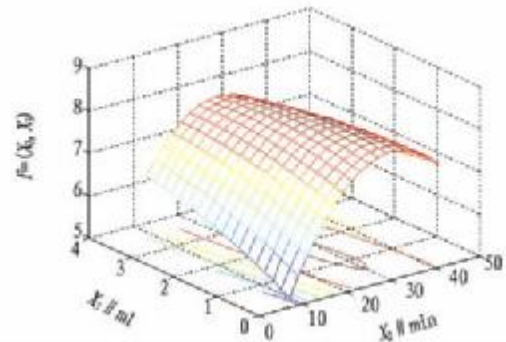


图6 时间 ( $X_2$ ) 和加酶量 ( $X_3$ ) 对大分子产物得率的影响 (固定条件:  $X_1 = 0$ )

Fig. 6 The effects of time and enzyme quantity on the yield of macromolecule products (fixed conditions:  $X_1 = 0$ )

图6显示, 在一定酶量的情况下, 反应时间并非越长越好, 酶量与反应时间具有较强的交互作用。

### 3 结论

通过响应面分析, 建立了成熟香蕉果肉淀粉酶解特性研究过程中大分子产物数学模型; 通过脊岭分析, 优化了淀粉酶酶解香蕉的工艺参数: 酶解温度 53.32 °C, 时间 8.67 min, 加酶量 2.130 ml 时, 水溶性大分子产物得率达 8.85%, 是 CK 的 4.38 倍。这为进一步完善香蕉加工原理、加工技术及开发新产品提供了技术参考。

### 参考文献

- [1] 郭卫强. 香蕉罐头加工技术[J]. 食品科学, 1987, 5 (3): 56-57.
- [2] 曹海燕, 宋国敏. 香蕉干护色方法[J]. 广西热带农业, 2002 (1): 10-11.
- [3] 潘慧生, 李少华. 香蕉酱加工中的护色研究[J]. 仲恺农业技术学院学报, 1995 (1): 93-95.
- [4] 王素雅, 王璋. 酶法生产澄清型香蕉汁的研究[J]. 食品科技, 2002 (7): 44-46.
- [5] 郑怡春, 陈文学, 张艳, 等. 香蕉脆片的研制[J]. 食品科学, 1997 (4): 41-43.
- [6] 黄发新, 尹仁兴. 香蕉清凉饮料的研制[J]. 江苏食品与发酵, 1999 (2): 7-11.
- [7] 杨晓虹, 翟书华. 香蕉醋的研制[J]. 昆明师范高等专科学校学报, 2001, 23 (4): 64-66.
- [8] 黄发新, 张剑. 香蕉酒的研究[J]. 福建热作科技, 1999 (2): 7-23.
- [9] 李积华, 郑为完, 周德红, 等. 酶法提取绿豆渣水溶性纤维素及过程中微量元素含量变化分析研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27 (9): 107.
- [10] DAVID T. Response surface experimentation [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1982, 18 (6): 155-158.