

# 速溶龙眼粉加工的酶解提取与喷雾干燥工艺优化

苏东晓<sup>1,2</sup>, 张名位<sup>1,2\*</sup>, 侯方丽<sup>1,2</sup>, 唐小俊<sup>1</sup>, 魏振承<sup>1</sup>,  
张瑞芬<sup>1</sup>, 池建伟<sup>1</sup>, 张雁<sup>1</sup>, 邓媛元<sup>1</sup>

(1. 广东省农业科学院农业生物技术研究所, 广州 510610; 2. 华中农业大学食品科技学院, 武汉 430070)

**摘要:** 为了建立速溶龙眼粉的加工技术, 运用均匀设计法优化了龙眼干中可溶性固形物酶解提取工艺条件, 采用响应面分析法优化了其提取液的喷雾干燥工艺条件, 结果表明: 以龙眼果肉干(含水率 13.62%)为原料, 用果胶酶和纤维素酶同时酶解提取, pH3.1, 酶解温度 52℃, 酶解时间 160 min, 果胶酶用量 0.6‰, 纤维素酶用量 0.15‰, 龙眼干中可溶性固形物得率达 85.26%; 当酶解提取液中可溶性固形物浓度达 25%时, 采用喷雾干燥法, 选取麦芽糊精为助干剂, 其与可溶性固形物含量比 0.8: 1, 热风温度 185℃, 热风流量 26.47 m<sup>3</sup>/h, 入料流量 0.20 L/h, 在此条件下, 龙眼粉得率为 48.58%, 含水率 < 5%, 水溶性良好, 色泽风味佳。由此说明, 以龙眼果肉干为原料采取酶解提取与喷雾干燥相结合的工艺可有效加工速溶龙眼粉。

**关键词:** 提取, 喷雾干燥, 工艺, 优化, 酶解, 速溶龙眼粉

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.08.048

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-8-0268-07

苏东晓, 张名位, 侯方丽, 等. 速溶龙眼粉加工的酶解提取与喷雾干燥工艺优化[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 268-274.

Su Dongxiao, Zhang Mingwei, Hou Fangli, et al. Enzymatic hydrolysis extraction and optimization of spray drying technology in processing instant longan powder[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 268-274. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

龙眼是中国南方重要的经济作物之一, 总产量居世界首位<sup>[1]</sup>。龙眼富含糖类、核苷类等多种生物活性物质, 具有抗衰老、抗肿瘤、促进智力发育等多种生理功能<sup>[2-4]</sup>。目前中国龙眼的加工主要以龙眼干、龙眼果肉(桂圆)和龙眼浸膏等产品形式存在, 加工层次和附加值较低, 开发高附加值的龙眼产品是急需解决的问题<sup>[1-4]</sup>。为此本文采用现代食品加工新技术研究速溶龙眼粉的精深加工工艺, 对提高龙眼产业的经济效益、推动亚热带水果的可持续发展具有重要意义。

鉴于龙眼富含多种生物活性物质等可溶性固形物的特点, 采用有效的提取分离和干燥技术是制备龙眼粉的关键。酶法提取植物活性物质, 具有提取速度快、条件温和和效率环保等优点, 符合工业发展要求, 已被广泛应用食品和药品的加工中<sup>[5-6]</sup>。目前关于龙眼干可溶性固形物长时间高温热水法提取已有研究<sup>[2,7]</sup>, 但其复合酶解提取未见报道。另外, 在已有的粉状食品干燥工艺中, 真空冷冻干燥虽然具有产品质量好、得率高等优点, 但

成本高、效率低且连续化生产存在困难, 不利于工业化推广。而喷雾干燥可快速蒸发暴露在高温环境中的小雾滴水分, 由于其良好的质量控制和连续化生产等特性, 被广泛用来生产粉状产品<sup>[8-10]</sup>。通过喷雾干燥生产龙眼粉可实现连续化规模生产且不受季节时间等限制, 可以常年生产。龙眼粉既可开发成类似咖啡类保健饮品, 又可以作为辅料添加到其他保健品中。迄今关于喷雾干燥工艺加工龙眼粉尚未见报道, 为此本文以龙眼干为原料, 在建立龙眼干酶解提取工艺的基础上, 运用响应面法<sup>[11]</sup>研究可溶性固形物的喷雾干燥工艺, 确定其热风温度、热风流量和入料流量等关键参数, 为喷雾干燥法加工龙眼粉新产品提供理论依据, 为龙眼的精深加工提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、试剂和仪器

#### 1.1.1 材料

龙眼品种为“储良”, 由广东省农业科学院果树研究所提供。新鲜龙眼经 80℃热风干燥后, 去皮去核, 获得龙眼果肉干, 含水率 13.62%, 密封低温(4℃)保存备用。

#### 1.1.2 试剂和仪器

麦芽糊精(DE=15, 上海源聚生物科技有限公司), 纤维素酶(1.33 U/mg, Afluka), 果胶酶(1.0 U/mg, Afluka), B-290 喷雾干燥机(瑞士 Buchi), PAL-1 折光仪(日本 Atago), UV-1700 紫外可见分光光度计(日本 Shimadzu), N-1001 旋转蒸发仪(日本 Eyela), DS-1 组织捣碎机(上海标本模型厂)和 BS124S 分析天平(德国 Sartorius)。

收稿日期: 2008-11-04 修订日期: 2009-08-12

基金项目: NSFC-广东联合基金(U0731005); 广东省自然科学基金团队项目(06200586)

作者简介: 苏东晓(1982-), 男, 陕西绥德人, 研究方向为农产品加工与贮藏。广州 广东省农业科学院农业生物技术研究所, 510610。

Email: dong0585@sina.com

\*通信作者: 张名位(1967-), 男, 湖北荆州人, 研究员, 博士, 博士生导师, 研究方向为生物活性物质与功能食品。广州 广东省农业科学院农业生物技术研究所, 510610。Email: mwzhh@163.net

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 龙眼干中可溶性固形物酶解提取工艺优化试验

称取 20 g 龙眼果肉, 加入 60 mL 水浸泡 12 h, 用高速组织捣碎机捣碎, 再加 180 mL 水, 采用果胶酶和纤维素酶两种酶同时酶解, 二者的比例为 4:1, 选取 pH 值 ( $x_1$ )、酶解温度 ( $x_2$ )、酶解时间 ( $x_3$ ) 和酶量 ( $x_4$ ) 4 个因素, 应用均匀设计拟水平法, 进行 4 因素 12 水平提取工艺优化<sup>[12]</sup>, 各处理酶解提取结束, 用 90℃ 灭酶 30 min, 200 目过滤收集滤液, 测总可溶性固形物 (total soluble solids, TSS) 含量。以 TSS 得率为指标, 进行回归分析, 优化龙眼酶解提取工艺条件。具体试验因素、水平见表 1。

表 1 均匀试验因素、水平及结果

Table 1 Factors, levels and results of uniform experiment design

试验号	$x_1$ pH 值	$x_2$ 酶解温度 /℃	$x_3$ 酶解时间 /min	$x_4$ (果胶酶/纤维素酶)/%	TSS 得率 $y_1$ /%
1	2.5	70	90	1.0/0.25	74.82
2	3	70	120	0.4/0.1	76.23
3	3.5	60	180	1.0/0.25	81.24
4	4	60	210	0.4/0.1	82.69
5	4.5	50	60	1.2/0.3	75.89
6	5	50	120	0.6/0.15	79.61
7	2.5	40	150	1.2/0.3	76.78
8	3	40	210	0.6/0.15	83.20
9	3.5	30	60	0.8/0.2	78.92
10	4	30	90	0.2/0.05	78.33
11	4.5	20	150	0.8/0.2	68.65
12	5	20	180	0.2/0.05	69.08

### 1.2.2 龙眼粉喷雾干燥加工工艺流程

龙眼酶解提取物→真空浓缩 (-0.1 kPa, 50℃) →加助干剂调配→预热 (50℃) →喷雾干燥→冷却→包装。

### 1.2.3 龙眼粉喷雾干燥单因素试验

#### 1) 助干剂添加量对龙眼粉得率的影响

龙眼酶解提取液属富糖食品, 浓缩液黏度高, 不宜直接喷雾干燥, 需添加助干剂。本试验选取麦芽糊精为助干剂, 在提取液浓度 25%, 热风温度 180℃, 热风流量 24.50 m<sup>3</sup>/h, 入料流量 0.20 L/h 条件下, 分别考察助干剂与龙眼提取物可溶性固形物含量比为 0.6:1, 0.7:1, 0.8:1, 1:1 和 1.2:1 时龙眼粉的得率。

#### 2) 热风温度对龙眼粉得率的影响

在提取液浓度 25%, 助干剂与龙眼提取物可溶性固形物含量比为 0.8:1, 热风流量 24.50 m<sup>3</sup>/h, 入料流量 0.20 L/h 条件下, 分别考察热风温度 160, 170, 180, 190 和 200℃ 时龙眼粉的得率。

#### 3) 提取液浓度对龙眼粉得率的影响

在热风温度 180℃, 助干剂与龙眼提取物可溶性固形物含量比为 0.8:1, 热风流量 24.50 m<sup>3</sup>/h, 入料流量 0.20 L/h 条件下, 分别考察提取液浓度 20%, 25%, 30%, 35% 时龙眼粉的得率。

#### 4) 入料流量对龙眼粉得率的影响

在热风温度 180℃, 助干剂与龙眼提取物可溶性固形

物含量比为 0.8:1, 热风流量 24.50 m<sup>3</sup>/h, 提取液浓度 25% 条件下, 分别考察入料流量 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35 L/h 时龙眼粉的得率。

#### 5) 热风流量对龙眼粉得率的影响

在热风温度 180℃, 助干剂与龙眼提取物可溶性固形物含量比为 0.8:1, 入料流量 0.25 L/h, 提取液浓度 25% 条件下, 分别考察热风流量 21.00, 24.50, 28.00 和 31.50 m<sup>3</sup>/h 时龙眼粉的得率。

### 1.2.4 龙眼粉喷雾干燥工艺响应面法优化试验

根据 Box-Behnken 中心组合试验设计原理, 综合单因素试验结果, 选取影响龙眼粉喷雾干燥得率的主要因素热风温度 ( $X_1$ )、热风流量 ( $X_2$ ) 和进料流量 ( $X_3$ ), 以龙眼粉得率为响应值, 进行 3 因素 3 水平响应面分析试验, 优化龙眼粉喷雾干燥工艺条件, 试验因素及水平安排见表 2。

表 2 响应面分析因子及水平表

Table 2 Factors and levels of response surface method(RSM) analysis

因子		热风温度 /℃	热风流量 (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	入料流量 (L·h <sup>-1</sup> )
代码	未编码	$X_1$	$X_2$	$X_3$
	编码	$A$	$B$	$C$
	-1	175	26.25	0.20
编码 水平	0	180	28.00	0.25
	1	185	29.75	0.30

## 1.3 测定指标及方法

选取酶解龙眼的 TSS 得率, 喷雾干燥后龙眼粉得率及其水分含量作为试验考核指标。

#### 1) TSS 得率 $y_1$

$$y_1 = \frac{w_1}{w_2} \times 100\%$$

式中:  $w_1$ ——龙眼酶解提取物 TSS 质量;  $w_2$ ——龙眼果肉质量。

#### 2) 龙眼粉得率 $Y_2$

$$Y_2 = \frac{W_2}{W_1} \times 100\%$$

式中:  $W_1$ ——喷雾干燥前固形物质量;  $W_2$ ——喷雾干燥后龙眼粉质量。

#### 3) 龙眼粉基本成分测定

总糖<sup>[5]</sup>: 硫酸苯酚法; 还原糖<sup>[5]</sup>: DNS 比色法; 蛋白<sup>[13]</sup>: 凯氏定氮法; 水分<sup>[13]</sup>: 105℃ 干燥法; 灰分<sup>[13]</sup>: 550℃ 灼烧法。

#### 4) 龙眼粉物理特性测定

色度测量<sup>[14]</sup>: 全自动色差计测定, 用均匀色系统  $L^*a^*b^*$  表示色度。

堆积密度测定<sup>[14]</sup>: 用 15 mL 量筒测定 2.00 g 龙眼粉所占体积, 质量体积比即为堆积密度。

溶解性测定<sup>[14]</sup>: 用量筒取 50 mL 26℃ 蒸馏水于 100 mL 烧杯中, 把烧杯置于恒温磁力搅拌器上并设置温度, 然后将已准确称量的 2.00 g 龙眼粉转入烧杯中, 同

时启动恒温磁力搅拌器(Falc, 50~60 Hz, 0.2A)892 r/min, 转子大小 2 mm×7 mm, 记录龙眼粉完全溶解所需时间。

#### 1.4 数据处理方法

均匀试验结果采用 Uniform Design 3.0 软件进行逐步回归分析; 响应面试验结果采用 Design Expert 6.0 进行二次多项式回归分析。

## 2 结果与分析

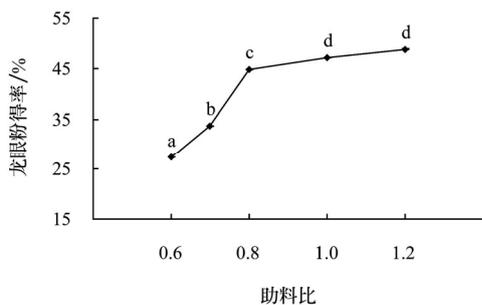
### 2.1 酶解提取工艺优化结果

由龙眼 TSS 酶解提取结果(表 1)经统计软件 Uniform Design 逐步回归分析可得如下方程:  $y_1=0.773+0.12x_1x_2-1.79x_1x_3-0.264x_1x_4-1.18x_2^2+0.708x_2x_3+1.12x_3^2$ , 其复相关系数  $R=0.9792$ ,  $F_t=19.38 > F_{0.05}(6,5)=4.95$ , 剩余标准差  $s=0.141$ , 回归方程差异性检验达显著水平 ( $P<0.05$ ), 具有良好的拟合关系。以可溶性固形物得率为指标, 剔除对得率影响不显著的因素优化方程, 在试验条件范围内得到龙眼最佳酶解工艺条件: pH3.1, 温度 52℃, 酶解时间 160 min, 果胶酶 0.6‰, 纤维素酶 0.15‰, 预期龙眼 TSS 得率 86.75%。在此条件下验证试验, TSS 得率 85.26%, 与预测值基本符合。

### 2.2 喷雾干燥单因素试验结果

#### 2.2.1 助干剂的添加量对龙眼粉得率影响

助干剂可显著提高龙眼粉得率, 助料比由 0.6:1 到 1:1, 龙眼粉得率上升趋势明显, 各水平间差异显著, 助料比 0.8:1 后龙眼粉得率增幅减小(差异不显著), 且龙眼粉龙眼风味急剧减弱, 被助干剂糊精掩盖, 失去应有风味, 综合考虑龙眼粉得率与风味, 选取助干剂与 TSS 比例为 0.8:1。



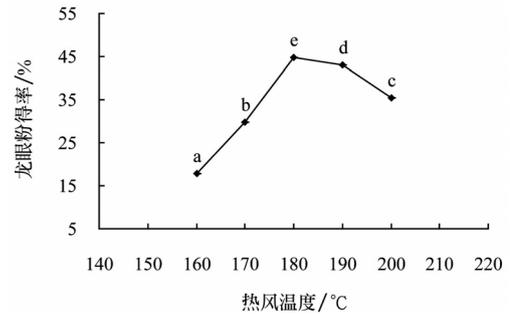
注: 提取液浓度 25%, 热风温度 180℃, 热风流量 24.5 m<sup>3</sup>/h, 入料 0.20 L/h; 不同字母表示在显著水平 0.05 时 Duncan 新复极差法检验差异显著, 下同

图 1 助干剂与 TSS 之比对龙眼粉得率的影响

Fig.1 Effect of ratio of assistant stuff to total soluble solids(TSS) on yield of longan powder

#### 2.2.2 热风温度对龙眼粉得率影响

由图 2 可知, 龙眼粉得率受热风温度影响十分明显, 试验范围内各水平差异显著。热风温度从 160℃ 上升至 180℃, 龙眼粉得率接近直线上升, 显然是随着热量增加, 水分蒸发加快。当温度 180℃ 时, 龙眼粉得率最大, 继续提高热风温度, 得率反而显著下降, 可能是由于温度过高造成已干燥的龙眼粉热熔挂壁, 故得率下降, 因此热风温度确定 180℃。



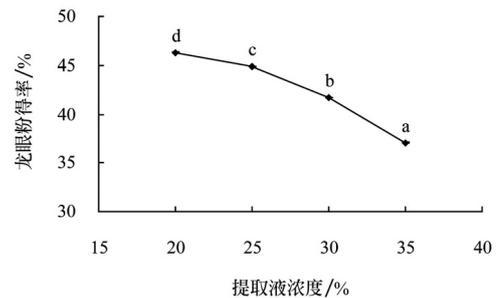
注: 提取液浓度 25%, 助干剂与龙眼中可溶性固形物比 0.8:1, 热风流量 24.5 m<sup>3</sup>/h, 入料 0.20 L/h

图 2 热风温度对龙眼粉得率的影响

Fig.2 Effect of hot air temperature on yield of longan powder

#### 2.2.3 提取液浓度对龙眼粉得率影响

由图 3 可知, 提取液浓度显著影响龙眼粉得率, 在试验条件下, 提高提取液浓度龙眼粉得率下降趋势明显, 可能是由于试样相对水分含量降低, 相同条件下热熔挂壁加重, 故得率下降。虽然提取液浓度 20% 时, 龙眼粉得率最高, 但此条件下喷雾干燥时间较长, 为提高效率选取提取液浓度 25%。



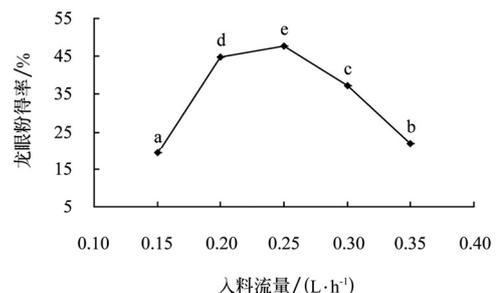
注: 热风温度 180℃, 助干剂与龙眼中可溶性固形物比 0.8:1, 热风流量 24.50 m<sup>3</sup>/h, 入料流量 0.20 L/h

图 3 提取液浓度对龙眼粉得率的影响

Fig.3 Effect of solid concentration on yield of longan powder

#### 2.2.4 入料流量对龙眼粉得率影响

龙眼粉得率亦受入料流量影响(图 4), 随入料流量增加, 龙眼粉得率显著增大。当入料流量达 0.25 L/h 时, 龙眼粉得率最大, 随后呈下降趋势, 且下降速率明显加大, 故选取入料流量 0.25 L/h。



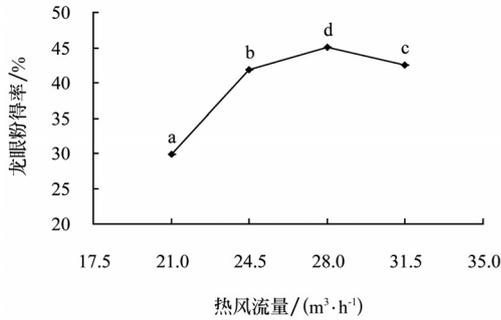
注: 热风温度 180℃, 助干剂与龙眼中可溶性固形物比 0.8:1, 热风流量 24.50 m<sup>3</sup>/h, 提取液浓度 25%

图 4 入料流量对龙眼粉得率的影响

Fig.4 Effect of feeding on yield of longan powder

2.2.5 热风流量对龙眼粉得率影响

热风流量对龙眼粉得率的影响结果(图 5)表明。随热风流量从 24.5 m<sup>3</sup>/h 增大到 28.0 m<sup>3</sup>/h, 龙眼粉得率显著提高, 且得率最大时热风流量为 28.00 m<sup>3</sup>/h, 继续增大热风流量到 31.5 m<sup>3</sup>/h, 龙眼粉得率反之显著下降。故选热风流量为 28.00 m<sup>3</sup>/h。



注：热风温度 180℃，助干剂与龙眼中可溶性固形物比 0.8 : 1，入料流量 0.25 L/h，提取液浓度 25%

图 5 热风流量对龙眼粉得率的影响

Fig.5 Effect of hot air flow rate on yield of longan powder

2.3 喷雾干燥多因素的响应面分析优化结果

在单因素试验基础上, 提取液浓度 25%和助料比 0.8 : 1 条件下, 选取影响龙眼粉喷雾干燥得率的主要因素热风温度、热风流量和进料流量, 以龙眼粉得率为指标, 应用 Box-Behnken 中心组合设计进行 3 因素 3 水平响应面试验, 结果见表 3, 以  $A=(X_1-180)/5$ ,  $B=(X_2-28)/1.75$ ,  $C=(X_3-0.25)/0.05$  为自变量, 龙眼粉得率  $Y_2$  为响应值, 采用 Design Expert 6.0 对试验数据进行二次多项式回归分析, 各项回归系数及其显著性检验结果见表 4。各因子经拟合得回归方程:

$$Y_2=44.80+1.87A-1.99C-2.85AB-1.00AC-1.80A_2-1.63B_2$$

上述模型方程  $P=0.0003$ , 回归系数  $R^2=0.9630$ , 说明该模型响应值的变化 96.3%来自所选自变量, 只有不到 4%的总变异不能用此模型来解释。回归模型方差分析结果见表 4, 失拟项  $P$  值为 0.2774 在  $\alpha=0.05$  水平不显著, 说明此模型跟实际数据拟合良好, 将它用于龙眼中可溶性固形物喷雾干燥工艺参数优化是合适的。一次项回归系数绝对值的大小可以直接比较因子对响应值的影响, 模型中对龙眼粉得率影响大小的次序为  $C>A>B$ , 即入料速率和热风温度对龙眼粉得率的影响较大。

表 3 Box-Behnken 试验设计方案及结果

Table 3 Design and results of Box-Behnken experiments

试验号	A 热风温度	B 热风流量	C 入料流量	龙眼粉得率 $Y_2$ /%
1	-1	1	0	42.65
2	0	-1	1	39.89
3	1	0	-1	47.91
4	-1	0	1	41.33
5	-1	0	-1	42.22
6	1	0	1	43.03

7	0	1	1	42.63
8	1	-1	0	45.79
9	0	-1	-1	46.08
10	0	1	-1	46.56
11	1	1	0	40.75
12	-1	-1	0	36.31
13	0	0	0	45.79
14	0	0	0	44.36
15	0	0	0	45.08
16	0	0	0	43.92
17	0	0	0	44.87

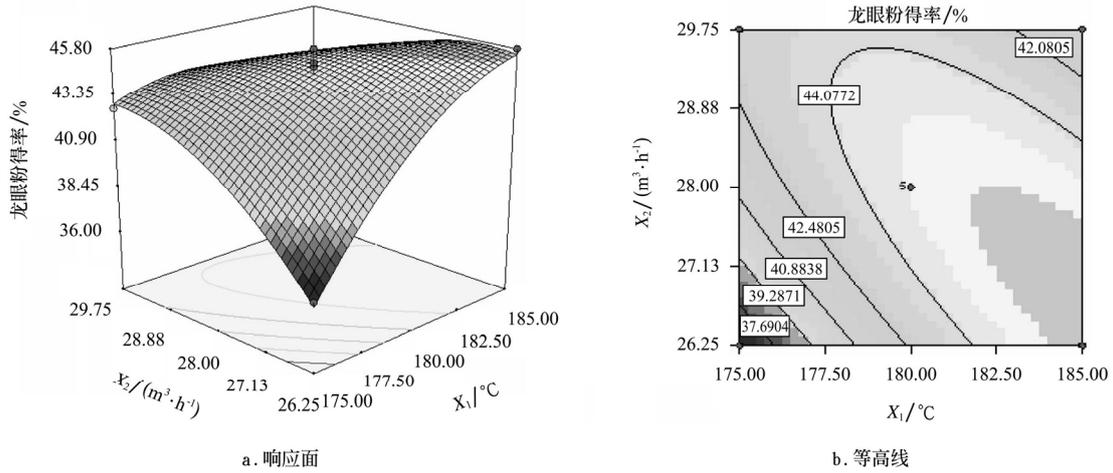
表 4 回归模型系数显著性检验

Table 4 Significance test of the regression coefficients

因素	参数估计	标准误差	F 值	P
截距	44.80	0.37		
A	1.87	0.29	40.33	0.0004
B	0.57	0.29	3.68	0.0967
C	-1.09	0.29	45.44	0.0003
AB	-2.85	0.42	46.61	0.0002
AC	-1.00	0.42	5.73	0.0479
BC	0.56	0.42	1.84	0.2172
A <sup>2</sup>	-1.80	0.41	19.60	0.0031
B <sup>2</sup>	-1.63	0.41	16.12	0.0051
C <sup>2</sup>	0.621	0.41	2.31	0.1727

通过多元回归方程所做的响应曲面图及其等高线图见图 6、图 7 和图 8。图 6 显示, 入料流量 0 水平时, 热风温度和热风流量的交互作用对龙眼粉得率有极显著的影响, 在试验条件下同时提高热风温度和热风流量龙眼粉得率显著增加, 当热风温度达 180℃和热风流量 28.00 m<sup>3</sup>/h 时龙眼粉得率达到极大值。进一步提高热风温度和热风流量龙眼粉得率反而下降, 试验条件范围内热风温度和热风流量有最佳组合。图 7 表明, 入料流量和热风温度的交互作用对龙眼粉得率影响显著。热风流量 0 水平时, 热风温度不变, 随入料流量增大, 龙眼粉得率反而下降, 即入料流量与龙眼粉得率负相关, 这与统计分析结果一致。固定入料流量 0.20 L/h, 龙眼粉得率随温度升高而显著增加。提高入料流量和热风温度龙眼粉得率有所提高, 但上升趋势缓慢, 拟合曲线在试验范围内无极值。图 8 显示, 热风温度 0 水平时, 入料流料和热风流量的交互作用对龙眼粉得率无显著影响。

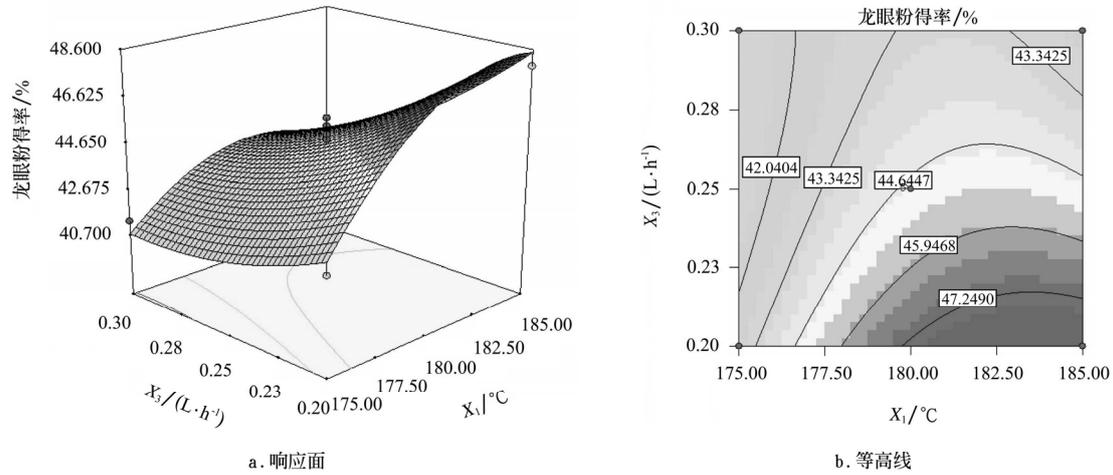
对回归方程的 A、B 和 C 求偏导, 并转换为  $X_1$ ,  $X_2$  和  $X_3$  得出喷雾干燥最佳工艺为热风温度 185℃, 热风流量 26.47 m<sup>3</sup>/h, 入料流量 0.20 L/h 时, 龙眼粉得率 49.72%。结合生产实际操作条件, 取热风流量为 26.25 m<sup>3</sup>/h, 此时龙眼粉得率理论值为 49.69%。在此条件下经验证试验, 龙眼粉实际得率为 48.58%, 与理论值偏差小于 5%, 说明所得模型可靠。



注:  $X_3=0.25$  L/h

图 6 热风流量和热风温度对产品龙眼粉得率影响的响应面和等高线

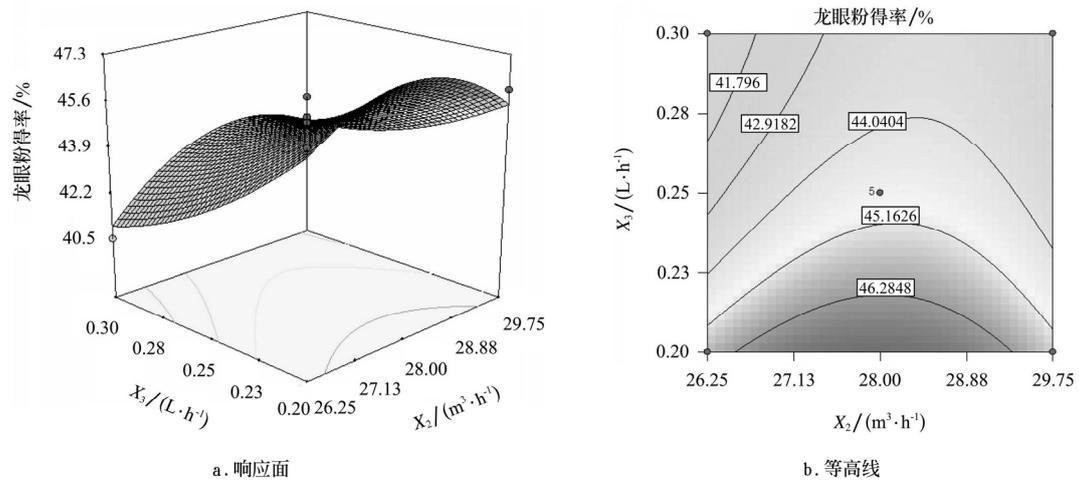
Fig.6 Response surface and contour plots of hot air flow rate and hot air temperature on the yield of longan powder



注:  $X_2=28$   $m^3/h$

图 7 入料流量和热风温度对产品龙眼粉得率影响的响应面和等高线

Fig.7 Response surface and contour plots of feeding rate and hot air temperature on the yield of longan powder



注:  $X_1=180$   $^{\circ}C$

图 8 热风流量和入料流量对产品龙眼粉得率影响的响应面和等高线

Fig.8 Response surface and contour plots of feeding rate and hot air flow rate on the yield of longan powder

### 2.4 龙眼粉基本成分含量与特性

龙眼粉基本成分含量及特性指标见表 5, 由表 5 可知,

在本工艺条件下, 喷雾干燥所得龙眼粉主要成分为糖类物质, 并含有少量蛋白质和矿物质, 水分含量较低, 适

宜密封长期储存; 同时其外观呈细微粒状粉末, 色泽微黄, 具有龙眼特有的香味, 易溶于水。

表 5 龙眼粉基本成分含量及特性指标  
Table 5 Contents of elementary ingredients and indexes of longan powder

基本成分质量分数						物理特性				
总糖/%	多糖/%	还原糖/%	蛋白/%	灰分/%	含水率/%	堆积密度/(g·mL <sup>-1</sup> )	溶解性	L*值	a*值	b*值
78.92	69.05	9.87	0.96	1.50	3.71	0.346	36	65.13	5.98	13.12

### 3 讨 论

龙眼干提取物喷雾干燥受多个因素及其交互作用的影响。龙眼干提取物真空浓缩后, 糖类物质含量提高, 溶液黏度增大, 直接喷雾干燥不能获得龙眼粉, 需要添加助干剂。麦芽糊精由于其低廉的价格和优良的特性, 适合作为富糖物料的助干剂。提高麦芽糊精使用量龙眼粉得率随之增加, 但过高的麦芽糊精会改变产品风味, 故选择适宜的麦芽糊精添加量是获得优良龙眼粉的关键。热风温度是喷雾干燥热源, 决定龙眼粉干燥效果及特性。热风温度过低, 小雾滴水分不能被充分蒸发, 影响龙眼粉得率且由于水分活度较高产品不易保藏, 但热风温度过高导致龙眼粉水分含量大幅降低也会引起得率下降, 本试验关于热风温度对产品得率的影响的研究结论与前人研究结果一致<sup>[8-9]</sup>。入料流量的大小对龙眼粉得率的影响与热风温度类似。提高热风流量可以使被蒸发的水分快速离开干燥筒, 但物料在干燥筒中的停留时间也随之变短, 故易导致龙眼粉水分含量升高<sup>[10]</sup>。在试验范围内提高热风温度和热风流量龙眼粉得率显著提高, 当热风温度 180℃和热风流量 28.00 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>时龙眼粉得率最大。以上因素及其交互作用都对龙眼粉得率及其特性有影响, 故需结合物料特性, 综合考虑各操作参数来优化筛选最佳工艺。

### 4 结 论

1) 采用均匀设计法优化出龙眼干中可溶性固形物的双酶(果胶酶和纤维素酶)酶解提取工艺条件为: 用果胶酶和纤维素酶同时酶解龙眼果肉, pH3.1, 酶解温度 52℃, 酶解时间 160 min, 果胶酶用量 0.6‰, 纤维素酶用量 0.15‰, 可溶性固形物得率可达 85.26%。

2) 采用响应面分析法确定龙眼粉喷雾干燥的最佳条件是以麦芽糊精为助干剂, 其与可溶性提取液浓度比 0.8:1, 热风温度 185℃, 热风流量 26.47 m<sup>3</sup>/h, 入料流量 0.20 L/h, 龙眼粉得率为 48.58%。

3) 所得龙眼粉呈细微粒状粉末, 色泽微黄, 具有龙眼特有的香味和良好的水溶性, 主要成分为糖类物质, 并含有少量蛋白质和矿物质, 含水率<5%, 适于较长时间贮藏。

以龙眼果肉干为原料采取酶解提取与喷雾干燥相结合的工艺制备速溶龙眼粉是龙眼精深加工的重要途径之一。

### [参 考 文 献]

- [1] 曾亚森, 梁飞华, 莫才颂. 我国龙眼产业化进程中的问题与对策[J]. 农产品加工学刊, 2005, 42(8): 54-55.  
Zeng Yasen, Liang Feihua, Mo Caisong. Issues and countermeasure in the longan industrialization in China[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2005, 42(8): 54-55. (in Chinese with English abstract)
- [2] 郑少泉, 郑金贵. 不同基因型龙眼果实中多糖含量的比较[J]. 果树学报, 2006, 23(2): 232-236.  
Zheng Shaoquan, Zheng Jingui. Research on the polysaccharide content of different genotypes of Longan[J]. Journal of Fruit Science, 2006, 23(2): 232-236. (in Chinese with English abstract)
- [3] Guo Changjiang, Yang Jijun, Wei Jingyu, et al. Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay[J]. Nutrition Research, 2003, 23(12): 1719-1726.
- [4] 肖维强, 黄炳雄, 王晓容, 等. HPLC 法测定龙眼肉中的几种核苷类物质[J]. 食品科学, 2007, 28(1): 234-236.  
Xiao Weiqiang, Huang Bingxiong, Wang Xiaorong, et al. Quantitative Determination of Several Kinds of Nucleotides in dimocarpus longan lous by HPLC[J]. Food Science, 2007, 28(1): 234-236. (in Chinese with English abstract)
- [5] 陈艳秋, 周丽萍, 尹英敏. 黑木耳子实体水溶性多糖提取工艺的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(4): 470-472.  
Chen Yanqiu, Zhou Liping, Yin Yingmin. Study on extraction techniques of water-soluble polysaccharides from fruitbodies of *Auricularia auricula*[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2003, 25(4): 470-472. (in Chinese with English abstract)
- [6] 李小平, 陈锦屏. 油枣多糖的酶法提取及其对多糖分子量分布的影响[J]. 食品科学, 2007, 28(8): 191-194.  
Li Xiaoping, Chen Jinping. Studies on extracting process of polysaccharide from jujube date by cellulase and effects of the enzyme on molecular mass distribution[J]. Food Science, 2007, 28(8): 191-194. (in Chinese with English abstract)
- [7] Okuyama E, Ebihara H, Takeuchi H, et al. Adenosine, the anxiolytic-like principle of the Arillus of *Euphoria longana*[J]. Planta-Med, 1999, 65(2): 115-119.
- [8] Souza C R F, Oliveira W P. Powder properties and system behavior during spray drying of *Bauhinia forficata* link extract[J]. Drying Technology, 2006, 24(4/6): 735-749.
- [9] Song T C, Sheikh A H N, Siew Y Q, et al. Changes of volatiles attribute in durian pulp during freeze- and spray-drying process[J]. LWT - Food Science and Technology, 2008, 10: 10-16.

- [10] Chegini G R, Khazaei J, Ghobadian B, et al. Prediction of process and product parameters in an orange juice spray dryer using artificial neural networks[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 84(4): 534—543.
- [11] Box G E P, Hunter W G. *Statistics for Experiments: an Introduction to Design, Data Analysis and Model Building* [M]. New York: New York Wiley, 1990.
- [12] 方开泰, 王元. 均匀设计与均匀设计表[M]. 北京: 中国科学出版社, 1994.
- [13] 程燕峰, 杨公明, 王娟, 等. 喷雾干燥工艺对香蕉抗性淀粉保留率的影响[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(6): 282—286.
- Cheng Yanfeng, Yang Gongming, Wang Juan, et al. Effects of spray drying technologies on the retention rate of banana resistant starch[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(6): 282—286. (in Chinese with English abstract)
- [14] Siew Y Q, Ngan K C, Peter S. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders[J]. *Chemical Engineering and Processing*, 2007, 46: 387—392.

## Enzymatic hydrolysis extraction and optimization of spray drying technology in processing instant longan powder

Su Dongxiao<sup>1,2</sup>, Zhang Mingwei<sup>1,2</sup>, Hou Fangli<sup>1,2</sup>, Tang Xiaojun<sup>1</sup>, Wei Zhencheng<sup>1</sup>,  
Zhang Ruifen<sup>1</sup>, Chi Jianwei<sup>1</sup>, Zhang Yan<sup>1</sup>, Deng Yuanyuan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Functional Food, Ministry of Agriculture/Bio-Tech Research Institute of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China;

2. College of Food Science and Technology College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** In order to establish the processing technology of instant longan powder, the uniform design was used to optimize the enzymatic hydrolysis extraction conditions for the total soluble solids(TSS) in dried longan pulp, and the response surface methodology was used to optimize the spray drying parameters. The results showed that using dried longan pulp (13.62% moisture content) as the material, extracted with pectinase and cellulose enzyme, pH3.1, enzymatic hydrolysis temperature 52°C, enzymatic hydrolysis time 160 min, pectinase addition 0.6‰, cellulose addition 0.15‰, the extraction rate of total soluble solids could reach up to 85.26%. When the content of total soluble solids reached 25%, maltodextrin(MD) was chosen as filler (*MD:TSS*, 0.8:1). Spray drying was conducted at hot air temperature of 185°C, hot air flow rate of 26.47 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> and feeding rate of 0.20 L·h<sup>-1</sup>, and the yield of instant longan powder of 48.58% was obtained, with the moisture content of the instant longan powder below 5%. The longan powder had good color, flavor and solubility. Thus it can be concluded that it is possible to produce instant longan powder efficiently with the technologies of enzymatic hydrolysis extraction and spray drying.

**Key words:** extraction, spray drying, technology, optimization, enzymatic hydrolysis, instant longan powder