

# 响应面法优化水晶月饼饼皮的制作工艺

潘柯伊, 芮汉明, 张立彦

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

**摘要:** 在醋酸酯淀粉用量、加水量、加油量等单因素实验的基础上, 根据 Box-Behnken 中心组合实验设计原理, 采用三因素三水平响应曲面分析法, 分别以水晶月饼质量下降值和硬度上升值为响应值作响应面。水晶月饼饼皮最佳制作工艺条件为: 醋酸酯淀粉 58.19 g、加水量 150 g、加油量 20.29 g。在此条件下, 水晶月饼的质量下降值和硬度上升值分别为 3.29 g、122.38 g。

**关键词:** 水晶月饼; 质量; 硬度; 响应面

文章编号: 1673-9078(2012)4-429-533

## Optimization of Production Technology of Crystal Moon Cake Crust by Response Surface Methodology

PAN Ke-yi, RUI Han-ming, ZHANG Li-yan

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** On the base of single factor experiments (acetylated starch, water and oil), through the experimental design of response surface methodology with three factors and three levels based on the principle of Box-Behnken design, the production technology of crystal moon cake crust were studied. The optimal dosages of acetylated starch, water and oil were 58.19 g, 150 g and 20.29 g, respectively. The weight of the products prepared under the optimal conditions reduced by 3.29 g and the hardness improved by 122.38 g.

**Key words:** crystal moon cake; quality; hardness; response surface methodology

水晶月饼, 作为一种新型月饼, 有着水晶般的闪亮及月饼般可口, 很是受青年消费者的追捧<sup>[1]</sup>。然而目前, 有关水晶月饼制作工艺方面的研究却很少, 市场上的水晶月饼配方各异, 口感差别较大, 组分的添加与否及添加量的多少对产品的品质均有很大影响。本实验在前期单因素实验的基础上, 将响应曲面法用于水晶月饼制作工艺的优化, 以期获得最优的工艺参数。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验原料与仪器设备

木薯淀粉、醋酸酯化淀粉、淀粉糖浆, 均为市售; 玉米油(刀唛牌, 深圳南顺油脂有限公司)、莲蓉馅(冠源信发牌), 购于华南理工大学后勤中心。

质构仪, 英国 Stable Micro System 公司; 电子天平, 常熟双杰测试仪器厂; 月饼模具 (50 g), 购于月饼模具店。

收稿日期: 2012-01-10

作者简介: 潘柯伊 (1987-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为食品加工与保藏

通讯作者: 芮汉明 (1953-), 男, 副教授, 主要从事食品科学, 食品加工和保藏的研究

#### 1.2 试验方案

由于月饼在储存过程中, 会随着淀粉的老化硬度值增大, 故月饼的老化情况可以用硬度变化来表示。同时, 储藏期间月饼也会发生由失水、失油等物化反应而引起的质量变化。本实验通过储存 21 d 后水晶月饼的质量下降值和硬度上升值来反映不同原料配比水晶月饼的物性<sup>[2,3]</sup>, 并采用电子天平和质构仪 TPA 测定来获取这些数值。利用响应面优化法得出最优值, 同时结合感官评价以确定最优配方。

##### 1.2.1 TPA 测定参数

探头型号 P100, 压缩比 30%, 测前速率 1.0 mm/s, 测试速率 5.0 mm/s, 返回速率 5.0 mm/s, 触发力 Auto-10 g, 间隔时间 2 s, 数据获取速率 200 pps。

##### 1.2.2 质量下降值的测定方法

利用电子天平分别对样品进行原始和存储 21 d 后称重, 两者之间的差值即为质量下降值。每个样品做 3 组平行。

##### 1.2.3 数据分析

利用前期单因素实验得到的实验结果和数据, 采用 Box-Behnken 设计和响应面分析法 (Response Surface Methodology, RSM)<sup>[4]</sup>, 以醋酸酯淀粉加入量、加水量、加油量为考察因素优化水晶月饼饼皮制

作的主要原料配方。因素水平编码见表 1。

表 1 中心组合设计因素水平表

Table 1 Central composite design factors and levels table

实验因素	水平		
	-1	0	1
A(醋酸酯淀粉用量/g)	50	60	70
B(加水量/g)	120	150	180
C(加油量/g)	10	20	30

注：以淀粉总用量为 100 g 基准计。

## 2 结果与讨论

### 2.1 模型建立

以水晶月饼质量下降值 ( $Y_1$ ) 和硬度上升值 ( $Y_2$ ) 分别为响应值, 根据 Box-Behnken 设计进行三因素三水平实验, 实施方案和结果如表 2 所示。

表 2 实验设计及结果

Table 2 Experimental designs and results

实验号	A	B	C	$Y_1$ 质量下降值/g	$Y_2$ 硬度上升值/g
1	-1	0	1	3.68	316.51
2	0	-1	1	4.55	180.39
3	-1	-1	0	4.14	195.60
4	-1	0	-1	3.98	340.86
5	0	-1	-1	4.89	141.84
6	-1	1	0	3.72	379.76
7	0	0	0	3.45	215.77
8	0	1	-1	4.05	360.38
9	1	1	0	3.97	292.86
10	0	1	1	3.86	321.83
11	0	0	0	3.60	214.64
12	1	0	-1	4.22	295.13
13	0	0	0	3.46	201.37
14	0	0	0	3.44	201.78
15	1	0	1	3.86	283.89
16	0	0	0	3.67	205.56
17	1	-1	0	4.72	127.89

利用 Design Expert 7.1 统计软件进行回归拟合, 得到相应的二次多元回归方程为:

$$Y_1 = +3.53 + 0.16A - 0.34B - 0.15C - 0.083AB - 0.014AC + 0.038BC + 0.11A^2 + 0.51B^2 + 0.31C^2$$

$$Y_2 = +207.82 - 29.12A + 88.64B - 4.45C - 4.80AB + 3.28AC - 19.27BC + 49.60A^2 - 8.39B^2 + 51.68C^2$$

### 2.2 水晶月饼质量下降值的方差分析和响应面分析

#### 2.2.1 模型方差分析

对上述回归模型进行方差分析, 结果见表 3。

表 3 回归模型方差分析结果

Table 3 The ANOVA results of Regression model

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	2.96	9	0.33	27.85	0.0001	**
A	0.19	1	0.19	16.47	0.0048	**
B	0.90	1	0.90	76.70	<0.0001	**
C	0.18	1	0.18	14.84	0.0063	**
AB	0.027	1	0.027	2.31	0.1725	
AC	8.028E-004	1	8.028E-004	0.068	0.8017	
BC	5.878E-003	1	5.878E-003	0.50	0.5030	
A <sup>2</sup>	0.048	1	0.048	4.06	0.0839	
B <sup>2</sup>	1.08	1	1.08	91.93	<0.0001	**
C <sup>2</sup>	0.39	1	0.39	33.38	0.0007	**
残差	0.083	7	0.012			
失拟性	0.040	3	0.013	1.25	0.4024	不显著
纯误差	0.043	4	0.011			
总变异	3.04	16				

注: (1)  $P < 0.01$  为极显著, 用\*\*表示;  $P < 0.05$  为显著, 用\*表示;  $P > 0.05$  为不显著; (2)  $R^2 = 0.9728$ ,  $Adj.R^2 = 0.9379$ 。

由表 3 可知, 对水晶月饼质量变化所建立的回归模型极显著 ( $P < 0.01$ ), 失拟项不显著 ( $P > 0.05$ ), 该模型的复相关系数  $R^2 = 0.9728$ , 表明该模型与实际情况拟合较好。在所选的各因素水平范围内, 各因素对水晶月饼质量下降值的影响顺序为: 加水量 > 醋酸变性淀粉加入量 > 加油量。表 3 显示, 一次项 A、B、C, 二次项  $B^2$ 、 $C^2$  对月饼质量下降的影响极为显著 ( $P < 0.01$ )<sup>[5]</sup>; 交互项 AB、AC、BC, 二次项  $A^2$  对结果影响不显著 ( $P > 0.05$ )。

#### 2.2.2 响应曲面分析

响应面优化模型中 A、B、C (醋酸酯淀粉添加量、加水量、加油量) 交互作用对水晶月饼质量下降值的影响如图 1、2、3 所示。

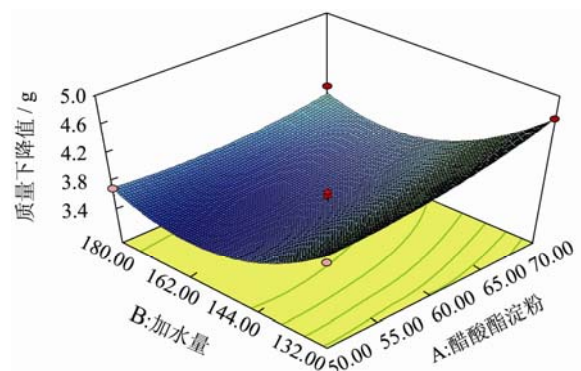


图 1 醋酸酯淀粉添加量与加水量对月饼质量下降值的影响  
Fig.1 Effect of decline in quality value on moon cake by different amounts of acetylated starch and water

由图 1 可知, 在加油量一定的条件下, 随加水量的增大, 月饼质量下降值显著减少到一定值后, 略微上升。这可能是因为是在加水量较少的情况下, 淀粉面团没有充分吸水展开, 糊化程度不足, 与水结合程度低, 水分向空气中扩散速度快, 导致储放过程中质量下降值大。随着加水量的不断增多, 淀粉吸水糊化愈加充分, 淀粉分子得以充分舒展, 面团的束水能力逐渐提高, 淀粉老化速度减小, 故月饼质量下降值呈减小趋势。当加水量增加至 150~160 g 时, 淀粉分子吸水达到饱和, 此时, 下降值为最低值, 约为 3.4 g。而随着加水量的进一步增大, 饼皮的含水量增高, 游离水的含量增加, 在存放过程中容易蒸发失去。另外, 由于淀粉的含水量超过 30% 时, 老化速度会明显加快<sup>[6]</sup>, 故加水量超过 160 g 后 (水分含量为 31.4%), 随加水量的增加, 饼皮的老化速度增大, 水分被排出淀粉分子束成为游离水, 容易蒸发失去, 质量下降值随之增加。当加水量不变时, 随着醋酸酯淀粉用量的增加, 月饼的质量下降值差异不大, 总体呈平缓上升的趋势。这是因为随着醋酸酯淀粉用量增加, 糊化需水量较大, 而在加入相同质量的水下, 水分的不足使得水晶月饼易失水开裂, 质量下降值增大。

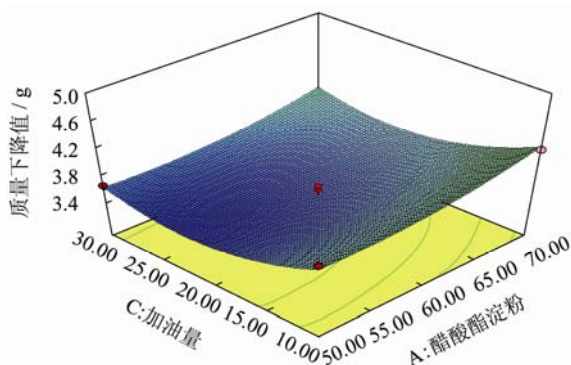


图 2 醋酸酯淀粉添加量与加油量对月饼质量下降值的影响

Fig.2 Effect of decline in quality value on moon cake by different amounts of acetylated starch and oil

图 2 显示, 在加水量一定的条件下, 加油量不变时, 随着醋酸酯淀粉用量的增加, 月饼质量下降值逐渐增加, 但变化不明显, 这可能是因为醋酸酯化淀粉吸水量大于普通淀粉, 故醋酸酯淀粉用量越大, 达到相同的糊化程度所需要的水量越大, 在加水量固定的条件下, 随醋酸酯化淀粉用量的不断增大面团的糊化程度逐渐降低, 造成质量下降值逐渐增加; 当醋酸酯淀粉用量不变时, 月饼的质量下降值随加油量的增加呈先减少后增加的趋势, 总体变化也不大。由响应立体图底面的等高线可以看出, 偏向于醋酸酯变性淀粉因素的等高线密集程度高, 说明醋酸酯变性淀粉用量相对于加油量来说对响应值的贡献大, 影响显著, 这

也与表 3 的结果保持一致。

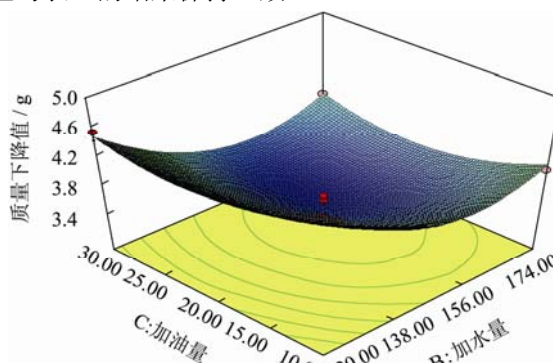


图 3 加水量与加油量对月饼质量下降值的影响

Fig.3 Effect of decline in quality value on moon cake by different amounts of water and oil

结合图 3 分析, 加油量和加水量对饼皮质量下降值的影响不显著, 交互作用不明显。醋酸酯淀粉量固定, 加油量一定的情况下, 月饼质量下降值都随着加水量的增加呈平缓的先减小后增加的趋势; 在加水量一定的条件下, 随加油量的增加月饼的质量下降值也逐渐先减少后增加。由于植物油具有很好的流动性, 加工性能差, 在加油量超过一定值时, 存放一段时间后, 随着淀粉的老化, 淀粉束缚油脂的能力减小, 油水分离, 多余的油脂自动外溢, 导致月饼的质量下降值随加油量的增加而增大。

2.3 水晶月饼硬度上升值的方差分析和响应面分析

2.3.1 模型方差分析

表 4 回归模型方差分析结果

Table 4 The ANOVA results of Regression model

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	94250.22	9	10472.25	67.09	<0.0001	**
A	6783.92	1	6783.92	43.46	0.0003	**
B	62853.74	1	62853.74	402.70	<0.0001	**
C	158.31	1	158.31	1.01	0.3474	
AB	92.03	1	92.03	0.59	0.4677	
AC	42.97	1	42.97	0.28	0.6160	
BC	1486.06	1	1486.06	9.52	0.0177	
A <sup>2</sup>	10357.29	1	10357.29	66.36	<0.0001	**
B <sup>2</sup>	296.62	1	296.62	1.90	0.2105	
C <sup>2</sup>	11244.35	1	11244.35	72.04	<0.0001	**
残差	1092.57	7	156.08			
失拟性	899.71	3	299.90	6.22	0.0549	不显著
纯误差	192.86	4	48.22			
总变异	95342.79	16				

注: (1) P<0.01 为极显著, 用\*\*表示; P<0.05 为显著, 用\*表示; P>0.05 为不显著; (2) R<sup>2</sup>=0.9885, Adj.R<sup>2</sup>=0.9738。

由表 4 可知, 对水晶月饼硬度上升值所建立的回

归模型是极显著的 ( $P < 0.01$ );  $R^2 = 0.9885$  表明模型响应值的变化 98.85% 来自所选因变量, 预测值与实测值之间具有高度的相关性。模型的失拟性方差分析可以看出, 失拟项不显著 ( $P > 0.05$ ), 表明模型是稳定的, 能很好的预测实际月饼硬度上升值的变化。由表 4 的 F 值可知, 在所选的各因素水平范围内, 各因素对水晶月饼硬度上升值的影响顺序为: 加水量 > 醋酸变性淀粉加入量 > 加油量。A、B、 $A^2$ 、 $C^2$  项的影响是极显著的。回归方程的各项方差分析结果表明: 一次项、二次项都有显著性因素, 因此各实验因子对响应值的影响不是简单的线性关系。

2.3.2 响应曲面分析

响应面优化模型中 A、B、C (醋酸酯淀粉添加量、加水量、加油量) 交互作用对水晶月饼硬度上升值的影响如图 4、5、6 所示。

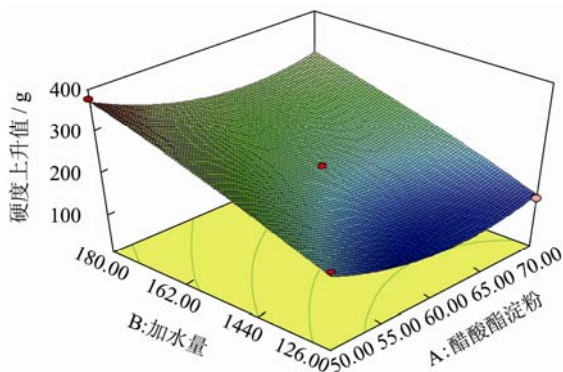


图 4 醋酸酯淀粉添加量与加水量对月饼硬度上升值的影响  
Fig.4 Effect of increase in hardness on moon cake by different amounts of acetylated starch and water

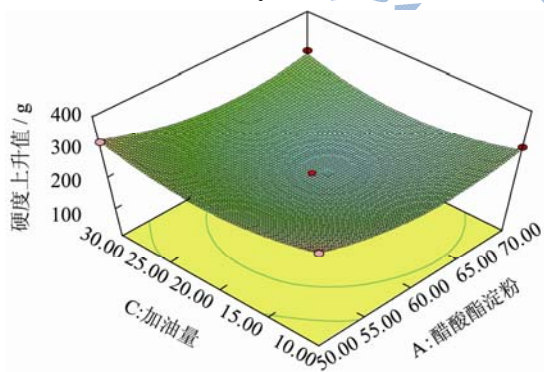


图 5 醋酸酯淀粉添加量与加油量对月饼硬度上升值的影响  
Fig.5 Effect of increase in hardness on moon cake by different amounts of acetylated starch and oil

本实验用硬度变化来表示月饼的老化情况, 硬度变化越大说明样品老化的越快<sup>[7]</sup>。从图 4 可以看出, 在加油量一定的情况下, 当醋酸酯淀粉用量不变时, 月饼的硬度上升值随着加水量的增大而显著增高, 数值增幅约为 200 g。这可能是因为加水量越高, 饼皮的含水量越高, 糊化后的淀粉分子老化越快。研究表明,

水分含量在 30~60% 时, 淀粉较易老化, 且速度较快; 水分含量在 30% 以下时, 淀粉分子链的迁移困难内部淀粉不易老化<sup>[6]</sup>。这与淀粉老化机理<sup>[7,8]</sup>基本吻合, 故样品的硬度上升值增大, 但硬度绝对值对水晶月饼的感官影响仍在可以接受的范围内。当加水量不变时, 硬度上升值随醋酸酯淀粉的增加呈先减少后增大的趋势。说明了加油量不变的条件下, 在醋酸酯淀粉添加量变化的一定范围内, 加水量对硬度变化起主导作用, 这与图 1 中加水量对月饼质量变化值的影响显著保持一致。

从图 5 可知, 加水量不变, 月饼硬度上升值随醋酸酯淀粉添加量和加油量的增加均出现先平缓下降后缓慢上升的趋势, 但总体硬度上升值的大小变化都不大。理论上, 醋酸酯化淀粉的加入在一定程度上可减缓产品的老化速度。但随着醋酸酯用量的不断增多, 加水量成为受限因素, 饼皮中淀粉糊化不够充分, 不能形成淀粉凝胶, 饼皮的柔软度降低, 硬度提高。同样, 油的加入对面团延展性提高, 柔软度增强<sup>[9,10]</sup>, 硬度减小; 但过多的加油量会使油封作用加大, 水分子被油分子包围而无法充分与淀粉分子结合, 以致糊化不充分, 老化加快, 从而硬度增加。

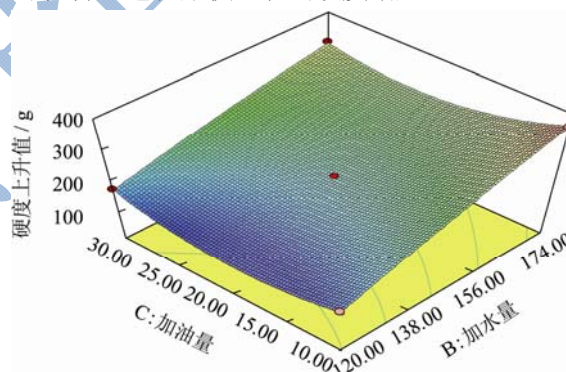


图 6 加水量与加油量对月饼硬度上升值的影响

Fig.6 Effect of increase in hardness on moon cake by different amounts of water and oil

由图 6 得出, 在醋酸酯淀粉添加量及加油量保持不变的情况下, 月饼的硬度上升值随加水量的增加而显著上升, 表现为曲线较陡。加水量为 120~150 g 时, 硬度上升的变化值约为 50 g; 加水量为 150~180 g 时, 硬度上升的变化值为 100 g 左右。总体上看, 样品的加水量越多, 硬度的变化就越大。这是因为淀粉制品在冷却及贮存过程中, 糊化后淀粉会自动向有序的晶束方向排列, 即发生老化, 且水分含量越高越有利于直连淀粉的游动。而在醋酸酯淀粉添加量及加水量保持不变的情况下, 月饼的硬度上升值随着加油量的变化平缓变化, 且变化幅度不明显。这与表 5 所示结果一致, 也说明了加水量与加油量的交互作用不明显

且加水量对响应值的贡献大。

### 2.3 验证实验

在以上实验结果分析及模型拟合的基础上,根据“Design-Expert”软件中的 Optimization 分析得出优化结果,使水晶月饼质量下降值最小的最佳配方为:醋酸酯淀粉 53.89 g、加水量 158.19 g、加油量 22.10 g,月饼质量下降预测值约为 3.42 g。硬度上升值较小的配方为:醋酸酯淀粉 62.49 g、加水量 120 g、加油量 18.49 g,月饼硬度上升预测值为 106.63 g。根据最佳条件,分别做三组验证性实验,验证结果为:其质量下降的平均值为 3.42 g、硬度上升的平均值为 108.91 g。

由验证结果可以看出,在所得的最佳配方条件下水晶月饼的质量下降值和硬度上升值均与预测值接近,因此进一步验证了实验结果。由于本实验用硬度变化值来表示月饼的老化情况,硬度变化越大说明样品老化的越快<sup>[7]</sup>,同时也考虑到质量变化所带来的影响以及在两种配方作用下生产水晶月饼的感官评价。一般来说,加水量越多,水晶月饼越晶莹透亮,透明度越高,饼皮弹性越大,咀嚼性越好,口感更佳且成本越低。故综合考虑,所选取的最优配方为醋酸酯淀粉和加油量分别取两者的均值,即:醋酸酯淀粉 58.19 g、加水量 150 g、加油量 20.29 g,此时水晶月饼的质量下降值和硬度上升值均在可接受范围内,分别为 3.29 g、122.38 g。

### 3 结论

用响应面分析法对水晶月饼饼皮制作的工艺参数进行优化,根据回归模型,综合考虑成本及感官等评

价指标,确定水晶月饼饼皮制作的最佳工艺参数:醋酸酯淀粉 58.19 g、加水量 150 g、加油量 20.29 g。在此条件下,水晶月饼的质量下降值和硬度上升值分别为 3.29 g、122.376 g。各因素对水晶月饼质量下降值和硬度上升值的影响顺序保持一致,为:加水量>醋酸变性淀粉加入量>加油量。

### 参考文献

- [1] 吴小平,易耀中,黄少虹.广式月饼生产有关理论及应用[J].广州食品工业科技,1999,4:54-57
- [2] 刘钟栋.新版糕点配方[M].北京:中国轻工业出版社,2002
- [3] E B Bennion, G S T Bamford. The technology of cake making [M]. China light industry press,1997
- [4] 刘寅,张永光,张汝兵,等.响应面法优化产酸丙酸杆菌丙酸发酵条件的研究[J].食品工业科技,2010,5:167
- [5] 李新华,刘菊,李冬男.曲面响应法优化设计抗性淀粉膨化工艺的研究[J].食品工业科技,2010,5:302-304
- [6] 章焰.方便米粉的抗老化及其品质控制研究[D].武汉:华中农业大学,2004
- [7] 李慧娟,柴松敏.淀粉的老化机理及抗老化研究[J].粮食加工,2006,3:42-45
- [8] 孟祥艳.淀粉老化机理及影响因素的研究[J].食品工程,2007,2:60-63
- [9] Jaspreet Singh, Narpinder Singh, S K Saxena. Effect of fatty acids on the rheological properties of corn and potato starch [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 52: 9-16
- [10] I S M Zaidul, H Yamauchi, C Matsuura-Endo, S Takigawa, T Noda Thermal. Analysis of mixtures of wheat flour and potato starches [J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22: 499-504