

# 紫色马铃薯颗粒全粉生产工艺优化

黄洪媛, 罗二波, 秦礼康\*  
(贵州大学生命科学学院, 贵州 贵阳 550025)

**摘要:** 以紫色马铃薯为原料, 研究游离淀粉含量低和色素保留较好的紫色马铃薯全粉生产工艺。结果表明, 较适工艺为二次蒸煮+回填制粉, 其中二次蒸煮的最佳工艺条件为浸钙质量浓度  $30 \times 10^{-6} \text{g/mL}$ 、预煮温度  $70^\circ\text{C}$ 、预煮时间 28min、蒸煮时间 32min, 回填制粉最佳工艺条件为乳化剂添加量 0.30%、回填比例 1:2、搅拌时间 2.5min。以色泽( $E$ 值)和碘蓝值为检测指标, 对该工艺条件下所得的粒度分别为 80、100、120 目的紫色马铃薯全粉进行比较, 得出 80 目紫色马铃薯全粉游离淀粉含量最低, 颜色保留最好。

**关键词:** 紫色马铃薯; 全粉; 工艺

## Optimization of Preparation Process for Purple Potato Granule

HUANG Hong-yuan, LUO Er-bo, QIN Li-kang\*  
(College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** In this work, we optimized the preparation of purple potato granule for minimizing free starch content and maximizing pigment retention. It was found that the appropriate preparation process involved two-step cooking and subsequent backfill pulverizing. The optimal two-step cooking conditions were precooking in  $30 \times 10^{-6} \text{g/mL}$   $\text{CaCl}_2$  solution at  $70^\circ\text{C}$  for 28 min and then cooking for 32 min. The optimal backfill pulverizing conditions were backfill in a proportion of 1:2 followed by emulsifier addition at 0.3% and stirring for 2.5 min. Purple potato granules of 80, 100 and 120 mesh in granularity were prepared under the optimized conditions, and a comparative analysis was carried out on their color difference ( $\Delta E$ ) values and iodine values. The purple potato granule of 80 mesh showed the lowest free starch content and the best color retention.

**Key words:** purple potato; granule; processing technique

中图分类号: TS215

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)22-0135-08

马铃薯全粉是区别于马铃薯淀粉的一种马铃薯加工产品<sup>[1-3]</sup>, 分为雪花全粉和颗粒全粉。马铃薯全粉既可作为最终产品, 也是加工各种马铃薯食品的基本原料, 可制成多种食品, 如油炸食品、膨化制品、冷冻制品、食品添加剂、马铃薯风味的营养保健品、食品调味剂等。其中, 颗粒全粉加工没有破坏植物细胞壁, 游离淀粉含量低, 使其在复水后仍能重新获得新鲜马铃薯泥所特有的风味和营养价值<sup>[4-8]</sup>。

彩色马铃薯除具有丰富的营养价值外, 还富含以花青素为主的天然色素。目前, 对彩色马铃薯的研究多侧重于所含色素的功能和性质, 已证明其色素具有抗氧化、防流感的功效, 但未见将其加工成产品的报道<sup>[9]</sup>。本实验以紫色马铃薯为原料, 研究游离淀粉含量低、色素保留较好的紫色马铃薯颗粒全粉生产工艺。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

马铃薯品种为全紫色马铃薯, 采自贵州省盘县(四格乡)。

氯化钙(食品级) 科密欧公司; 单硬脂酸甘油酯(食品级) 河南省盛祥化工有限公司。

### 1.2 仪器与设备

CS202B 型电热保温干燥箱 重庆实验设备厂; 真空包装机 恒鑫包装机械设备有限公司; HH-S6 型电热恒温水浴锅 北京科伟永兴仪器有限公司; AK-98 型流水式超细中药粉碎机 东莞市创瑞工业实验设备有限公司; 标准检验筛 浙江上虞市华丰五金仪器有限公司; 全自动测色色差计 上海沪钰电子科技有限公司。

收稿日期: 2011-05-08

基金项目: 贵州省科技重大专项(黔科合重大专项[2008]6009 号); 六盘水市科技局项目(52020-07-008)

作者简介: 黄洪媛(1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品营养与安全。E-mail: huanyuan137@163.com

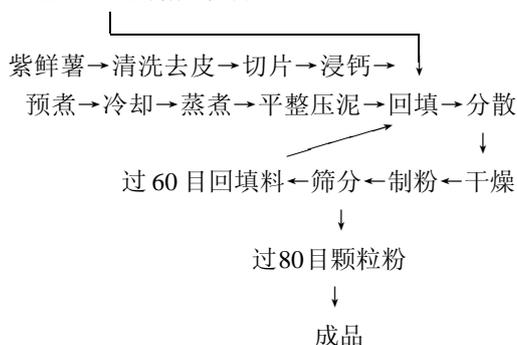
\*通信作者: 秦礼康(1965—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品科学及营养与安全。E-mail: likangqin@126.com

### 1.3 方法

#### 1.3.1 工艺流程

在预实验基础上选用二次蒸煮结合回填法作为马铃薯颗粒全粉生产的主要工艺, 具体流程如下:

紫鲜薯→蒸煮→冷却去皮→平整压泥→干燥→制粉→过60目初始回填料



#### 1.3.2 二次蒸煮试验

在单因素试验基础上, 选用五因素四水平正交试验设计选出最佳二次蒸煮条件。

##### 1.3.2.1 浸钙质量浓度

鲜薯经洗净、去皮、切片(厚度为9~11mm)后分别在质量浓度 $0 \times 10^{-6}$ 、 $25 \times 10^{-6}$ 、 $50 \times 10^{-6}$ 、 $75 \times 10^{-6}$ 、 $100 \times 10^{-6}$ 、 $125 \times 10^{-6}$ g/mL条件下浸钙。所得制品经71~74℃预煮24min, 冷却至室温后100℃蒸31min, 压泥, 按1:1的比例添加回填料(不添加乳化剂), 搅拌均匀后热风75℃鼓风干燥、粉碎、过80目筛, 以碘蓝值和色泽(E值)为检测指标, 确定浸钙质量浓度。

##### 1.3.2.2 预煮时间

鲜薯经洗净、去皮、切片,  $50 \times 10^{-6}$ g/mL浸钙处理后分别在71~74℃预煮10、15、20、25、30、35、40min后冷却至室温, 100℃蒸31min, 所得制品经压泥, 按1:1的比例添加回填料(不添加乳化剂), 搅拌均匀后热风75℃鼓风干燥、粉碎、过80目筛, 以碘蓝值和色泽(E值)为检测指标, 确定预煮时间。

##### 1.3.2.3 预煮温度

鲜薯经洗净、去皮、切片,  $50 \times 10^{-6}$ g/mL浸钙处理后分别在66、68、70、72、74、76、78℃预煮24min, 冷却至室温后, 100℃蒸31min, 压泥, 按1:1的比例添加回填料(不添加乳化剂), 搅拌均匀后热风75℃鼓风干燥、粉碎、过80目筛, 以碘蓝值和色泽(E值)为检测指标, 确定预煮温度。

##### 1.3.2.4 蒸煮时间

鲜薯经洗净、去皮、切片,  $50 \times 10^{-6}$ g/mL浸钙处理后分别在71~74℃预煮24min, 冷却至室温后, 在100℃条件下分别蒸15、20、25、30、35、40、45min,

所得制品经压泥, 按1:1的比例添加回填料(不添加乳化剂), 搅拌均匀后热风75℃鼓风干燥、粉碎、过80目筛, 以碘蓝值和色泽(E值)为检测指标, 确定蒸煮时间。

#### 1.3.3 回填试验

在单因素试验的基础上, 采用响应面设计筛选出最佳回填工艺参数。

##### 1.3.3.1 乳化剂

按最佳二次蒸煮参数处理所得制品分别添加质量分数0%、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%的乳化剂(单硬脂酸甘油酯), 按1:1的比例添加回填料, 搅拌均匀后热风75℃鼓风干燥、粉碎、过80目筛, 以碘蓝值和色泽(E值)为检测指标, 确定乳化剂添加量。

##### 1.3.3.2 回填料比

按最佳二次蒸煮参数处理所得制品经压泥, 按1:1、1:1.5、1:2、1:2.5、1:3(m/m)的比例添加薯泥与回填干粉, 添加0.2%的乳化剂, 搅拌均匀后热风75℃鼓风干燥、粉碎、过80目筛, 以碘蓝值和色泽(E值)为检测指标, 确定回填料比。

##### 1.3.3.3 搅拌时间

按最佳二次蒸煮参数处理所得制品经压泥, 按1:1的比例添加回填料, 添加0.2%的乳化剂, 分别搅拌2、4、6、8、10min后热风75℃鼓风干燥、粉碎、过80目筛, 以碘蓝值和色泽(E值)为检测指标, 确定搅拌时间。

#### 1.3.4 指标测定

##### 1.3.4.1 色泽的测定

全自动测色色差计测定, 采用亨特均匀表色系统测定L、a、b值, 重复3次, 其中L表示白度; a值表示色泽红/绿; b值表示黄/蓝, 计算公式 $E^2 = (L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2$ , 带0表示空白值, E值越小代表色泽褐变度小, 即色泽与原土豆色泽越接近。

##### 1.3.4.2 游离淀粉测定方法<sup>[10]</sup>

取两个50mL容量瓶以做平行试验, 加蒸馏水至近刻度, 65.5℃预热并至刻度定容; 准确称取样品0.25g于50mL烧杯中, 倒入预热并定容的50mL蒸馏水, 保持于65.5℃搅拌5min, 静置1min后过滤。滤液保持于65.5℃并趁热吸取1mL于50mL容量瓶, 加1mL 0.02mol/L碘标准溶液, 定容至刻度, 同时取1mL 0.02mol/L碘标准溶液, 定容至50mL作空白对照, 以试剂空白调零点, 测定样品在波长650nm处测吸光度A。碘蓝值 =  $A \times 54.2 + 5$ 。

##### 1.3.4.3 溶解度测定

向含有1g样品的刻度试管中加入一定量的蒸馏水, 使总体积达到10mL。将上述溶液经放置1h(每10min混

合一次), 静至 15min 后吸取 2mL 上清液于已质量恒定的平板中蒸干水分称量平板总质量, 计算溶解度。

$$\text{溶解度} / \% = \frac{\text{上清液总体积}}{2} \times$$

$$\frac{\text{加上清液干燥后平板质量} - \text{平板质量}}{\text{样品质量}} \times 100$$

### 1.3.4.4 持油能力测定

将 2g 样品分散于盛有 40mL 花生油的离心管中, 经混合(10min)、离心(1000 × g, 15min)、弃去上清液、倒置 5min 后称量离心管质量。持油能力以每克样品吸收油的质量表示。

### 1.3.4.5 吸水指数测定

取适当容积的离心管, 称量后加入 2g 样品和 30mL 蒸馏水, 充分混匀。将上述混合液在 30℃ 的条件下水浴 30min, 每 15min 混合一次后 3000r/min 离心 15min, 弃去上清液, 倒置 2min 后称量, 计算吸水指数。

$$\text{吸水指数} = \frac{\text{离心后离心管质量} - \text{离心前离心管质量}}{\text{样品质量}}$$

### 1.3.4.6 其他指标检测

水分: GB 5009.2 — 85 《食物水分测定方法》; 蛋白质: 凯氏定氮法; 灰分: GB 5009.4 — 2003 《食品中灰分的测定》。

## 1.4 数据处理

采用 SPSS(11.5), Design-Expert 7.1 对各组数据进行分析, 使用 Origin 7.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 试验用马铃薯的基本指标

试验用薯基本指标见表 1。

### 2.2 二次蒸煮最佳工艺参数的确定

马铃薯全粉细胞较为完整, 因此在复水后具有新鲜马铃薯的营养、风味和口感。细胞完整性被破坏后, 游离于胞外的游离淀粉可与碘发生反应, 生成蓝色物质<sup>[10]</sup>, 所以碘蓝值是判断马铃薯全粉细胞完整程度的重要指标, 碘蓝值越大, 细胞破坏程度越严重。

浸钙处理是细胞矿质化的一种方法<sup>[11]</sup>, 细胞壁矿质化后, 硬度增大, 机械支持作用加强。在以回填法生产马铃薯颗粒全粉工艺中, 预煮 - 冷却 - 蒸煮这一配套

工艺对马铃薯在加工过程中细胞破碎力的影响很大。预煮不仅可以破坏马铃薯中的过氧化氢酶和过氧化酶, 防止薯片的褐变, 而且有利于改变细胞间力, 使细胞内直链淀粉溶解并糊化, 在冷却后老化成型, 细胞壁不易破损<sup>[12]</sup>。蒸煮过程中薯块破碎力上升, 细胞壁变得更结实, 有利于保持细胞的完整<sup>[13]</sup>。

### 2.2.1 二次蒸煮单因素试验

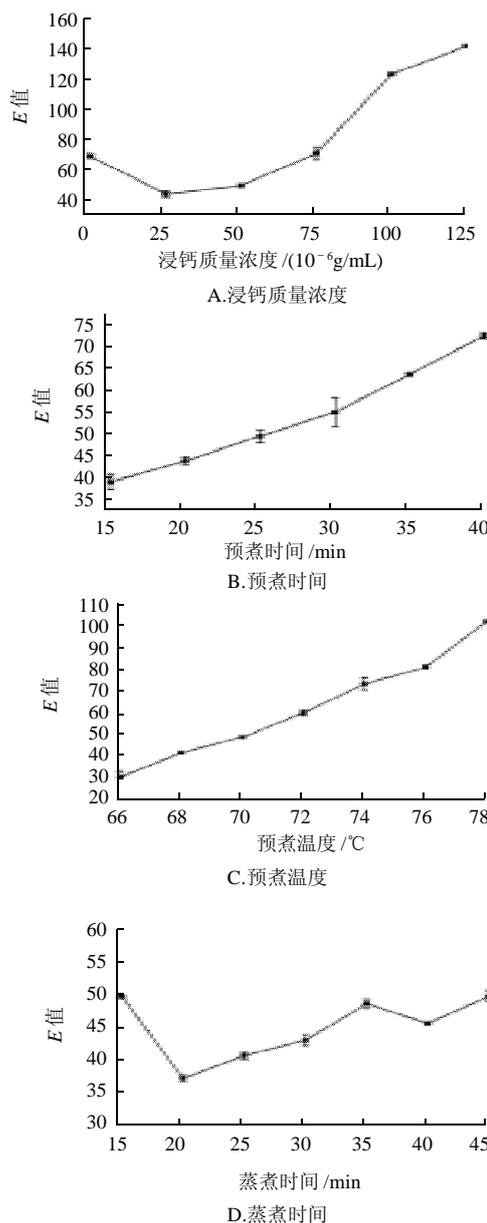


图 1 不同蒸煮条件对 ΔE 值的影响

Fig.1 Effect of two-step cooking conditions on ΔE value of purple potato granule

表 1 试验用马铃薯基本指标

Table 1 Physico-chemical properties of purple potato used in this study

品种	总淀粉含量/(g/100g)	蛋白质含量/(g/100g)	干物质含量/(g/100g)	原糖含量/(g/100g)	VC 含量/(μg/g)	平均长度/cm
全紫色马铃薯	15.66 ± 0.87	2.90 ± 0.07	24.70 ± 0.47	0.03 ± 0.52	3.52 ± 0.00	73.47 ± 1.50

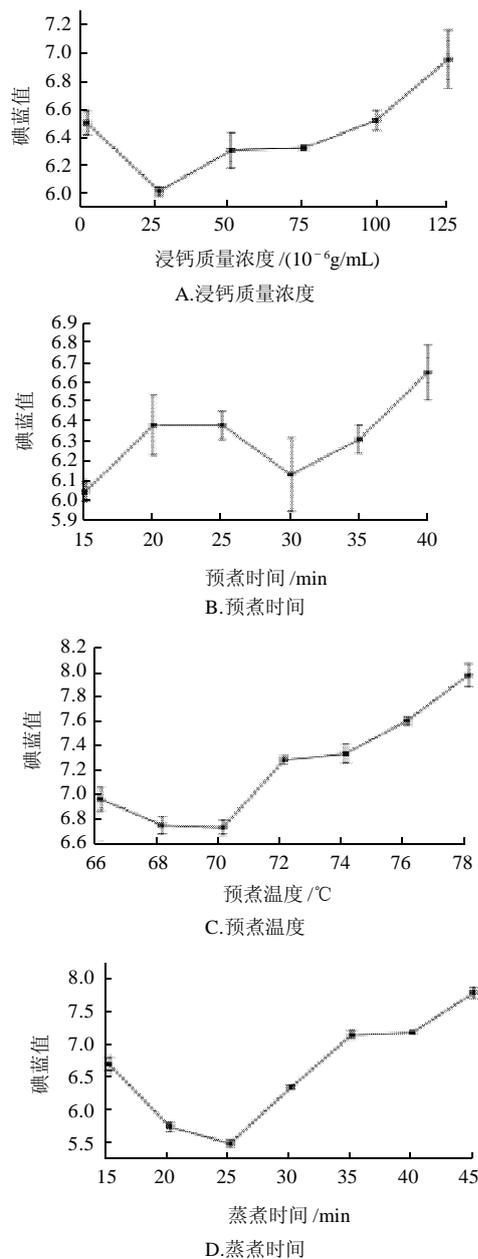


图2 不同蒸煮条件对碘蓝值的影响

Fig.2 Effect of two-step cooking conditions on iodine blue value of purple potato granule

由图1、2可知,浸钙质量浓度、预煮时间、蒸煮温度、蒸煮时间对马铃薯颗粒全粉碘蓝值和色泽(*E*值)均存在影响。随着浸钙质量浓度增加,碘蓝值和色泽(*E*值)均呈现出先减少后增加的趋势,在浓度为20%时降至最低点。可能是因为在一定范围内随着钙质量浓度的增加细胞壁的硬度增强,但过高的钙质量浓度可能会起到相反的作用,详细机理有待研究;随着预煮时间、预煮温度、蒸煮时间的增加,碘蓝值先降低后升高,分别在预煮时间30min、预煮温度70℃、蒸煮时间25min时降至最低。结果表明,在一定范围内的处理可使细胞壁的硬度达到一定的程度;随着预煮时间和预

煮温度的增加,色泽(*E*值)逐渐增大,但随着蒸煮时间的延长,色泽(*E*值)先减少后增大,在20min降至最低点。初步认为这是由于预煮过程中原料直接浸泡在水中,对色素造成一定的降解作用,但蒸煮过程是通过蒸汽对其间接加热,对色素的降解程度较小。

### 2.2.2 二次蒸煮正交试验

在单因素试验的基础上,进行正交试验设计,因素水平见表2。以碘蓝值为检测指标,二次蒸煮正交试验的设计与结果见表3。

表2 紫色马铃薯颗粒全粉二次蒸煮正交试验因素水平表

Table 2 Coded values and corresponding experimental values of the optimization parameters used in orthogonal array design for two-step cooking optimization

水平	因素			
	A 浸钙质量浓度 / (10 <sup>-6</sup> g/mL)	B 预煮温度 / °C	C 预煮时间 / min	D 蒸煮时间 / min
1	10	66	24	20
2	20	68	28	24
3	30	70	32	28
4	40	72	36	32

表3 紫色马铃薯颗粒全粉二次蒸煮正交试验设计及结果

Table 3 Orthogonal array design and results for two-step cooking optimization

试验号	A 氯化钙质量浓度	B 预煮温度	C 预煮时间	D 蒸煮时间	空列	碘蓝值
1	1	1	1	1	1	9.71000
2	1	2	2	2	2	8.57720
3	1	3	3	3	3	4.24026
4	1	4	4	4	4	11.90873
5	2	1	2	3	4	8.74613
6	2	2	1	4	3	5.12553
7	2	3	4	1	2	7.87260
8	2	4	3	2	1	13.74613
9	3	1	3	4	2	7.96293
10	3	2	4	3	1	6.55913
11	3	3	1	2	4	3.72806
12	3	4	2	1	3	6.60160
13	4	1	4	2	3	11.25200
14	4	2	3	1	4	10.52933
15	4	3	2	4	1	5.99906
16	4	4	1	3	2	14.99906
k <sub>1</sub>	8.609	9.418	8.391	8.678	9.004	
k <sub>2</sub>	8.873	7.698	7.481	9.326	9.853	
k <sub>3</sub>	6.213	5.460	9.120	8.636	6.805	
k <sub>4</sub>	10.695	11.814	9.398	7.749	8.728	
R	4.482	6.354	1.917	1.577	3.048	

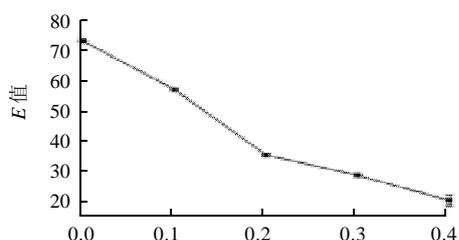
最佳条件:  
A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>2</sub>D<sub>4</sub>

由表3可知,影响碘蓝值的主次因素顺序为预煮温度>浸钙质量浓度>预煮时间>蒸煮时间。紫色马铃薯颗粒全粉二次蒸煮的最佳条件是浸钙质量浓度30×10<sup>-6</sup>g/mL、预煮温度70℃、预煮时间28min、蒸煮时间32min。

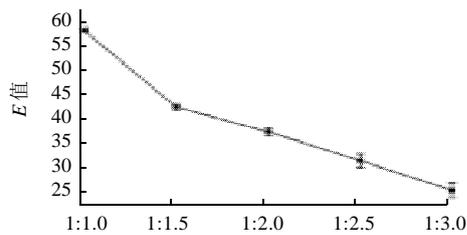
2.3 回填最佳工艺参数的确定

回填过程是将薯泥和回填的颗粒粉及根据工艺要求配制的添加剂一起加入到搅拌机，三者在搅拌棒的机械作用下充分混合。回填制粉可明显减少细胞的破碎<sup>[14]</sup>，湿料与回填的干粉混合后在以后的加工过程中并不表现为团状，而是倾向于分散成单个细胞团。乳化剂可与细胞中释放出的直链淀粉分子发生反应，生成乳化剂-淀粉复合物，该复合物溶解度低，因此可降低颗粒全粉黏度<sup>[15]</sup>。

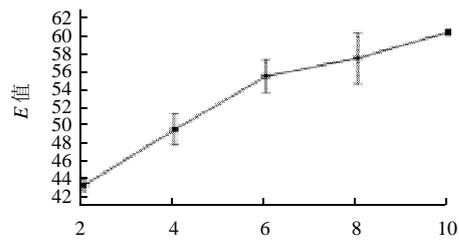
2.3.1 回填工艺单因素试验



A. 乳化剂添加量



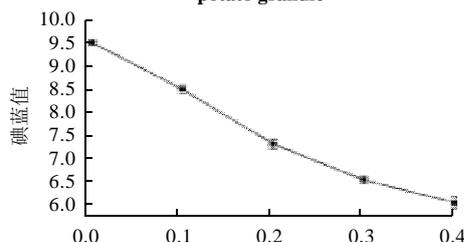
B. 回填料比



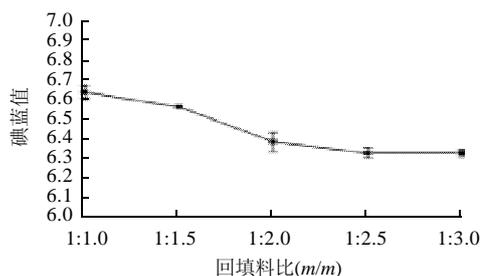
C. 搅拌时间

图3 不同条件对E值的影响

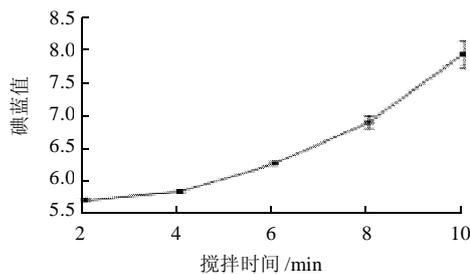
Fig.3 Effect of backfill pulverizing conditions on ΔE value of purple potato granule



A. 乳化剂添加量



B. 回填料比



C. 搅拌时间

图4 不同条件对碘蓝值的影响

Fig.4 Effect of backfill pulverizing conditions on iodine blue value of purple potato granule

由图3、4可知，随着乳化剂添加量和回填料比的增加，碘蓝值和色泽(E值)均呈逐渐下降趋势。随着搅拌时间的延长，色泽(E值)和碘蓝值都显著升高。结果表明，增加乳化剂添加量和回填干粉量可有效减少游离淀粉含量和色素流失，但是延长搅拌时间会起到相反的作用，原因可能为随着搅拌时间的延长，全粉颗粒累积受到的机械力增大，细胞完整性被破坏的机率增大。

2.3.2 回填工艺响应面试验

综合考虑实验效果、成本和工厂操作的实际情况等因素，选择乳化剂添加量、回填料比和搅拌时间3因素进行响应面试验，因素及水平见表4，回填工艺响应面试验设计及结果见表5。采用Design Expert 7.1.6软件对表5数据进行二次多项式回归拟合，得到二次多元回归方程：

$$Y = 7.55 - 0.40X_1 - 0.12X_2 + 0.55X_3 + 0.30X_1X_2 - 0.057X_1X_3 - 0.37X_2X_3 + 0.18X_1^2 + 0.39X_2^2 + 1.20X_3^2$$

表4 紫色马铃薯颗粒全粉生产回填工艺响应面分析因素及水平表  
Table 4 Coded values and corresponding experimental values of the optimization parameters used in response surface analysis for backfill pulverizing optimization

水平	-1	0	1
X <sub>1</sub> 乳化剂添加量/%	0.2	0.3	0.4
X <sub>2</sub> 回填料比(m/m)	1:2.0	1:2.5	1:3.0
X <sub>3</sub> 搅拌时间/min	2	4	6

表5 紫色马铃薯颗粒全粉生产回填工艺响应面试验设计及结果  
Table 5 Experimental design and results for response surface analysis for backfill pulverizing optimization

试验号	因素水平			碘蓝值		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	实际值	预测值	差值
1	-1	-1	0	8.6494	8.9413	-0.2919
2	1	-1	0	7.5230	7.5227	0.0003
3	-1	1	0	8.1011	8.1014	-0.0003
4	1	1	0	8.1940	7.9021	0.2919
5	-1	0	-1	8.8482	8.7256	0.1226
6	1	0	-1	7.8612	8.0309	-0.1697
7	-1	0	1	10.1011	9.9314	0.1697
8	1	0	1	8.8856	9.0082	-0.1226
9	0	-1	-1	8.5062	8.3369	0.1693
10	0	1	-1	8.7217	8.8440	-0.1223
11	0	-1	1	10.2881	10.166	0.1221
12	0	1	1	9.0288	9.1982	-0.1694
13	0	0	0	7.1616	7.5484	-0.3868
14	0	0	0	7.5112	7.5484	-0.0372
15	0	0	0	7.6738	7.5484	0.1254
16	0	0	0	7.8184	7.5484	0.2700
17	0	0	0	7.5772	7.5484	0.0288

表6 回归模型方差分析

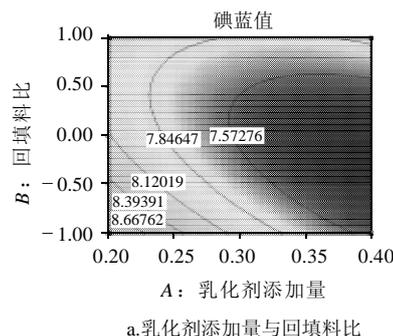
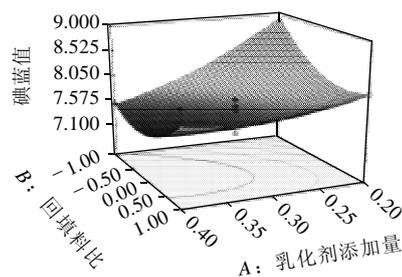
Table 6 Variance analysis for iodine blue value of purple potato granule with various backfill pulverizing conditions

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
X <sub>1</sub>	1.31	1	1.31	15.64	0.0055	**
X <sub>2</sub>	0.11	1	0.11	1.27	0.2974	
X <sub>3</sub>	2.38	1	2.38	28.48	0.0011	**
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	0.13	1	0.13	1.60	0.2469	
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	0.64	1	0.64	7.66	0.0278	*
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	6.04	1	6.04	72.15	<0.0001	**
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	0.37	1	0.37	4.44	0.0731	
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	0.013	1	0.013	0.16	0.7046	
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	0.54	1	0.54	6.50	0.0382	*
模型	11.93	9	1.33	15.84	0.0007	**
残差	0.59	7	0.084			
失拟值	0.35	3	0.12	1.91	0.2687	
纯误差	0.24	4	0.060			
总和	12.52	16				

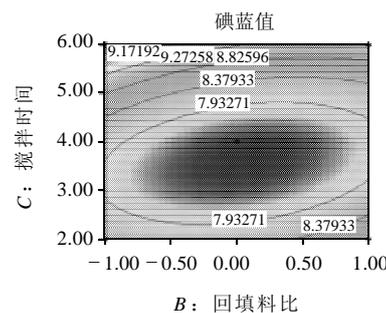
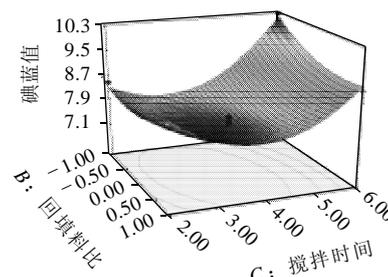
$R_{Adj}^2 = 89.30\%$      $R^2 = 95.32\%$      $CV = 3.45\%$

注: \*.差异显著( $P < 0.05$ ); \*\*.差异极显著( $P < 0.01$ )。

采用 Design Expert 7.1.6 软件对试验结果分析见表6。由表6可知,模型极显著( $P < 0.01$ ),失拟项不显著,且该模型的  $R^2 = 0.9532$ ,  $R^2_{Adj} = 0.8930$ ,说明该回归方程对实际实验拟合情况很好。方程中  $X_1$ 、 $X_3$  的  $P$  值均小于 0.01,表明乳化剂添加量及搅拌时间对碘蓝值影响显著; $X_2$  的  $P$  值大于 0.05,表明回填料比对碘蓝值的影响不显著,各因素对颗粒全粉碘蓝值影响是  $X_3 > X_1 > X_2$ ,及处理时搅拌时间影响最大,其次是乳化剂添加量,最后是填料比。 $X_2X_3$  的  $P$  值小于 0.05,表明回填料比与搅拌时间交互作用对碘蓝值的影响显著,各影响因素对于紫色马铃薯颗粒全粉碘蓝值的作用不是简单的线性关系。



a. 乳化剂添加量与回填料比



b. 回填料比与搅拌时间

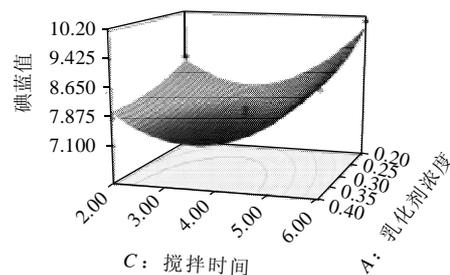


表7 不同目数紫色马铃薯颗粒全粉品质比较

Table 7 Quality comparison among purple potato granules with various particle sizes

试验组	色泽(E值)	碘蓝值	蛋白质含量/%	灰分含量/%	溶解度/%	水分含量/%	吸水指数/(g/g)	持油能力/(g/g)
80目	45.3747 ± 4.37 <sup>c</sup>	7.4786 ± 0.46 <sup>a</sup>	2.5767 ± 0.10 <sup>a</sup>	4.05 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.8167 ± 0.04 <sup>a</sup>	5.62 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.7376 ± 0.08 <sup>a</sup>	3.0630 ± 0.09 <sup>a</sup>
100目	61.1173 ± 7.35 <sup>b</sup>	10.1718 ± 0.51 <sup>b</sup>	2.2867 ± 0.05 <sup>b</sup>	4.10 ± 0.00 <sup>a</sup>	3.5133 ± 0.29 <sup>a</sup>	6.15 ± 0.00 <sup>b</sup>	1.9012 ± 0.04 <sup>b</sup>	2.8882 ± 0.04 <sup>a</sup>
120目	75.235 ± 2.86 <sup>a</sup>	15.9021 ± 0.95 <sup>c</sup>	2.1233 ± 0.08 <sup>c</sup>	4.36 ± 0.00 <sup>b</sup>	3.0500 ± 0.13 <sup>b</sup>	6.95 ± 0.00 <sup>c</sup>	2.0731 ± 0.10 <sup>c</sup>	2.8449 ± 0.17 <sup>a</sup>

注：同列数据肩标不同字母表示差异显著(P < 0.05)。

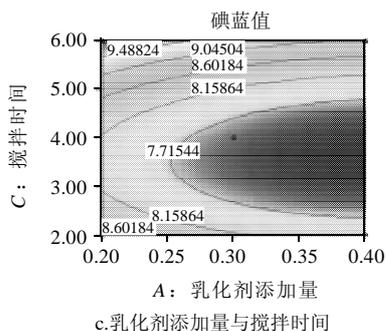


图5 各两因素交互作用响应面及等高线图

Fig.5 Response surface and contour plots showing the interactive effect of three backfill pulverizing conditions on iodine blue value of purple potato granule

图5为乳化剂添加量、回填料比、搅拌时间影响碘蓝值的响应面及等高线分析图。在图5中，响应曲面均出现最低点，等高线面具有椭圆形中心区域，且最低值均在椭圆形中心区域内。从图5a可以看出，随着回填料比的减小和搅拌时间的延长，碘蓝值先缓慢减小后增大；从图5b可以看出，搅拌时间与乳化剂添加量的交互作用表明，随搅拌时间的延长，碘蓝值先缓慢下降后较快地增加，随乳化剂添加量的增加，碘蓝值缓慢减小；从图5c可以看出，随着回填料比的减小和乳化剂添加量的增大，碘蓝值均呈下降趋势。结果表明，乳化剂添加量与回填料比、回填料比与搅拌时间、乳化剂添加量与搅拌时间之间对碘蓝值的影响均存在交互作用。其中，图5a响应曲面坡度较大，在等高线面上最低值靠近椭圆形中心，表明回填料比与搅拌时间具有良好的交互作用，对碘蓝值的降低有显著影响，结果与回归分析表显示结果一致。

极值条件应在等高线的椭圆圆心处，令回归方程一阶偏倒数等于零，整理得到方程组，方程组解即为三因素的代码值，将代码转化得到最佳回填料条件为乳化剂添加量0.34%、回填料比1:2.73、搅拌时间2.45min。结果表明乳化剂添加量、回填料比、搅拌时间均在试验设计范围内，试验设计选择的各因素水平合理有效。但考虑实际情况将条最佳回填料条件修正为整为：乳化剂添加量0.30%、回填料比1:2、搅拌时间2.5min。

2.4 不同目数马铃薯颗粒全粉品质分析

对80、100、120目的紫色马铃薯颗粒全粉进行品质分析，其结果见表7。

由表7可知，随筛分目数的增加，全粉颗粒直径逐渐减小，色泽(E值)逐渐升高，表明颗粒全粉颜色与新鲜紫色马铃薯薯肉颜色差异越来越大，碘蓝值、蛋白质逐渐降低说明游离淀粉含量逐渐升高，营养物质的保留量减少。原因可能是：颗粒直径越小的全粉受到的机械力越大，细胞被破坏的程度增大，释放出的游离淀粉含量越多并对所含色素、蛋白质等成分的破坏也越大。

食品的总灰分含量是控制食品成品或半成品品质的重要依据<sup>[16]</sup>。表7中，80目与100目颗粒全粉之间灰分含量无明显差异(P > 0.05)，与120目的颗粒全粉的灰分含量均存在显著差异(P < 0.05)，与此相同的还有不同目数间颗粒全粉的溶解度。颗粒全粉吸水指数和吸油指数在颗粒全粉使用过程中具有参考价值。紫色马铃薯颗粒全粉水分含量、吸水指数随着目数的增大逐渐增加，原因：随着过筛目数的增大，颗粒全粉中游离淀粉含量逐渐增加所致<sup>[17-18]</sup>。随着颗粒全粉颗粒直径的减小，颗粒全粉吸油指数没有无显著变化。

3 结论

3.1 紫色马铃薯颗粒全粉二次蒸煮的最佳条件为浸钙质量浓度30 × 10<sup>-6</sup>g/mL、预煮温度70℃、预煮时间28min、蒸煮时间32min。最佳回填料条件为乳化剂添加量0.30%、回填料比1:2、搅拌时间2.5min。

3.2 不同目数的马铃薯颗粒全粉随着颗粒直径的减小，色泽(E值)、水分含量、吸水指数逐渐升高，碘蓝值、蛋白质含量逐渐降低。

3.3 多数情况下，紫色马铃薯颗粒全粉的色泽(E值)随各因素影响的变化规律与碘蓝值的变化规律基本一致，说明细胞完整程度不仅影响紫色马铃薯颗粒全粉游离淀粉含量，而且还与紫色马铃薯颗粒全粉保留颜色的程度有关。

参考文献：

[1] 何贤用, 杨松. 马铃薯全粉产品的品质与生产控制[J]. 粮食与饲料工业, 2005(2): 26-27.  
 [2] 徐坤, 肖诗明. 马铃薯全粉的生产工艺探讨[J]. 杂粮作物, 2002, 22

- (3): 175-177.
- [3] 童军茂, 魏长庆, 单春会. 马铃薯全粉生产过程中的质量控制[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(6): 203-204.
- [4] 郭心义. 马铃薯全粉生产状况及前景展望[J]. 粮油加工, 2003(10): 8-12.
- [5] 丛小甫. 中国马铃薯全粉加工业现状[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 348-352.
- [6] Van DIJK C, FISCHER M, BEEKHUIZEN J G, et al. Texture of cooked potatoes (*Solanum tuberosum*). 3. preheating and the consequences for the texture and cell wall chemistry[J]. Agric Food Chem, 2002, 50(18): 5098-5106.
- [7] Van MARLE J T. Characterization of changes in potato tissue during cooking in relation to texture development[D]. Wageningen, Netherlands: Wageningen University, 1997.
- [8] SELVENDRAN R, STEVENS B J H O, NEILL M A. Developments in the isolation and analysis of cell walls from edible plants. in society for experimental biology[M]. London: Seminar Series Cambridge University Press, 1985: 39-78.
- [9] 姜莉, 李志华, 张正茂, 等. 马铃薯紫色素的提取及稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2009(9): 265-270.
- [10] 冷明新, 郑淑芳, 王涛. 马铃薯全粉蓝值的测定[J]. 山西食品工业, 2001, 12(4): 39-40.
- [11] 胡宝忠, 胡国宣. 植物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [12] 沈晓萍, 卢晓黎, 闰志农. 工艺方法对马铃薯全粉品质的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(10): 108-110.
- [13] 唐联坤. 马铃薯全粉的加工技术与应用[J]. 青海科技, 2000, 7(4): 38-40.
- [14] 马莺, 顾瑞霞. 马铃薯深加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003.
- [15] CLISINSKA W, LESZEZYNSKI I. Potato science and technology[M]. London and New York: Elsevier Applied Science, 1992.
- [16] 李培青. 食品生物化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006.
- [17] SHOMER I. Swelling behavior of cell wall and starch in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber cells. I. starch leakage and structure of single cells[J]. Carbohydrate Polymers, 1995, 26(1): 47-54.
- [18] SHOMER I, VASILIVER R, LINDNER P. Swelling behaviour of cell wall and starch in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber cells. II. Permeability and swelling in macerates[J]. Carbohydrate Polymers, 1995, 26(1): 55-59.