

# 预熟化全籽粒芸豆加工工艺优化

## Optimization on pre-cooked processes for kidney bean

王 婷 于 雷 李帅斐 刘佳男 王伟旭

WANG Ting YU Lei LI Shuai-fei LIU Jia-nan WANG Wei-xu

(吉林农业大学食品科学与工程学院, 吉林 长春 130118)

(College of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China)

**摘要:** 为了实现芸豆与大米共煮同熟的目的, 采用恒温浸泡、低压蒸煮和热风干燥技术对芸豆进行预熟化研究。以浸泡温度、低压蒸煮压力和低压蒸煮时间为自变量, 以糊化度为响应值, 进行试验设计, 得到芸豆预熟化的最佳工艺参数为: 浸泡温度 50 °C, 低压蒸煮压力 50 kPa, 低压蒸煮时间 5 min, 该条件下芸豆糊化度为 70.50%。经预熟化处理后的芸豆颗粒外观保持完整, 水分含量为 7%, 在与大米共煮时能实现同熟。

**关键词:** 芸豆; 预熟化; 低压蒸煮; 糊化度

**Abstract:** The constant temperature soaking, low pressure cooking and air drying were used to pre-cook the kidney beans in order to make the kidney beans get maturity simultaneously when cooked with rice. The temperature of constant temperature soaking, the pressure and the time of low pressure cooking was taken as the independent variable, and gelatinization degree was taken as the response value to get the optimal process condition through the experiments. The results showed that the optimum processing conditions for kidney beans were as followed: soaking temperature 50 °C, cooking pressure 50 kPa, the time of low pressure cooking 5 min. The gelatinization degree of kidney beans is 70.50%. Under the above-mentioned conditions, the kidney beans' surface is complete and its moisture content was 7%. The pre-cooked kidney beans can get maturity when cooked with rice.

**Keywords:** kidney beans; pre-cooked processes; low pressure cooking; gelatinization degree

芸豆 (*Phaseolus vulgaris* L.), 豆科菜豆属, 别名菜豆、老虎豆、祛湿豆等<sup>[1]</sup>。芸豆营养丰富, 蛋白质、钙、铁、B 族维生素等含量都很高。芸豆籽粒还具有一定的药用价值, 常食芸豆可加速肌肤新陈代谢, 缓解皮肤、头发的干燥。国外已针对芸豆的功能因子提取和纯化开展了研究<sup>[2-4]</sup>, 如对植物

凝集素 PHAde 提取剂应用。目前, 中国芸豆产品主要为芸豆馅<sup>[5]</sup>、芸豆营养粉丝<sup>[6]</sup>及在雪糕、面包、饼干、八宝粥等食品中作为配料等。随着生活水平的提高和膳食结构的改变, 人们在煮饭或熬粥时开始添加杂粮杂豆。Sharon V Thompson 等<sup>[7]</sup>指出患有 2-型糖尿病患者食用芸豆大米共煮米饭时, 饭后血糖反应较单独食用大米的饭后血糖反应低, 可降低 2-型糖尿病的发病率。尽管芸豆具有较高的营养价值, 但在实际生活中芸豆在与大米共同煮制时, 限于其成分结构、颗粒大小等差异, 致使其与大米不能同熟, 需要预先浸泡或蒸煮。

为使粗粮芸豆与细粮大米“粗细搭配”后在共煮时实现同熟, 已有针对芸豆的加工工艺多采用破碎处理或脱皮处理<sup>[8]</sup>, 采用这两种工艺处理的芸豆口感虽然得到改善, 但芸豆破碎后会造外观不完整, 消费者认同度低。同时, 芸豆的一些内在营养成分失去种皮的包裹暴露在空气中会加剧氧化反应; 表皮的去除还会造成膳食纤维以及色素大量流失<sup>[9]</sup>。本研究拟采用恒温浸泡、低压蒸煮和热风干燥技术对芸豆进行预熟化研究, 应用 PB 和响应面试验, 对芸豆预熟化工艺进行优化, 旨为实现处理后芸豆保持外观完整、表皮无脱落, 且可与大米共煮同熟, 也为芸豆的精深加工提供试验依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 原料与试剂

紫花芸豆、大米: 松原三井子商贸有限公司;

$\alpha$ -淀粉酶: 13 U/mg, 诺维信公司;

盐酸、3,5-二硝基水杨酸、苯酚、亚硫酸钠、氢氧化钠、酒石酸钾钠: 分析纯, 北京北化开元化学品有限公司。

### 1.2 仪器与设备

压力锅: MY-13SS506A 型, 美的公司;

数显恒温水浴锅: HH-2 型, 常州澳华仪器有限公司;

电子天平: ES-200HA 型, 长沙湘平科技发展有限公司;

多功能粉碎机: HR2841 型, 荷兰 PHILIPS 公司;

紫外可见分光光度计: UV2300 型, 上海天美科学仪器有限公司;

**基金项目:** 吉林省科技支撑计划 (编号: 20130204046NY)

**作者简介:** 王婷 (1990—), 女, 吉林农业大学在读硕士研究生。

E-mail: 846832138@qq.com

**通讯作者:** 于雷

**收稿日期:** 2015-09-21

微波炉:EM-L530TB型,合肥荣事达三洋电器股份有限公司;  
烟熏箱:BYXX-50型,杭州艾博科技工程有限公司;  
水分测定仪:MB35型,美国奥豪斯有限公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

芸豆→筛选→清洗→恒温浸泡→低压蒸煮→热风干燥→冷却→成品

1.3.2 操作要点

(1) 筛选:去除原料中的病虫害豆、瘪豆、破损豆以及其余杂质。

(2) 清洗:去除豆粒表面的灰尘。

(3) 恒温浸泡:使用恒温振荡水浴锅进行浸泡,浸泡温度50℃、浸泡时间30 min。浸泡使得水分进入籽粒内部,令籽粒内部孔道疏松、利于低压蒸煮时淀粉的糊化,大大地缩短蒸煮时间<sup>[10]</sup>。

(4) 低压蒸煮:将浸泡后芸豆沥干,以1:1.5(m:m)的豆水比例进行低压蒸煮,低压蒸煮可提高芸豆淀粉的糊化度。

(5) 热风干燥:干燥温度为90℃,去除籽粒内部水分直至水分含量低于10%。

(6) 与大米配制:芸豆与大米以1:5(m:m)的比例进行包装,成品。

1.3.3 糊化度的测定

(1) 葡萄糖标准曲线(图1)的制备:分别取葡萄糖标准液(1 mg/mL)0.0,0.2,0.4,0.6,0.8,1.0 mL于15 mL试管中,用蒸馏水补足至1.0 mL,分别准确加入DNS试剂2 mL,沸水浴加热2 min,流水冷却,用蒸馏水补足至15 mL,于540 nm下测定吸光度<sup>[11]</sup>。

(2) 样品的测定:将质量分数为5%的淀粉酶0.1 mL加

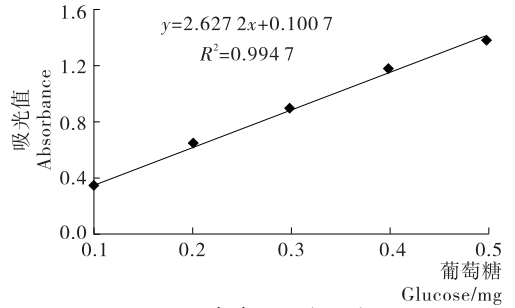


图1 葡萄糖标准曲线

Figure 1 Glucose standard curve

到处理的样品中(0.2 g),加蒸馏水25 mL,于39℃水浴锅中振荡水浴1.5 h,加1 mL 1 mol/L HCl使酶失活。用蒸馏水定容至50 mL,过滤。取稀释后的糖液0.5 mL,各加入1.5 mL DNS溶液混匀,沸水浴加热5 min;取出后迅速用冷水冷却,各加入4 mL蒸馏水混匀,于540 nm波长下测吸光度,用标准曲线求出样品中糖含量。糊化度按式(1)计算:

$$\alpha = \frac{A - B}{C} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$\alpha$ ——糊化度,%;

A——糊化后还原糖含量,%;

B——糊化前还原糖含量,%;

C——完全糊化的还原糖含量,%。

1.4 试验设计

1.4.1 PB试验设计筛选重要因子 本试验采用PB设计,考察浸泡温度、浸泡时间、低压蒸煮压力、低压蒸煮时间、低压蒸煮料液比、热风干燥温度、热风干燥时间对芸豆糊化度的影响。根据预试验的相关数据,每个因素选取高(+1)、低(-1)两个水平,以糊化度作为评价指标<sup>[12-13]</sup>。PB试验设计因素水平及编码见表1。

表1 PB试验设计因素水平取值

Table 1 Variables and levels in the PB experimental design

水平	A 浸泡温度/℃	B 浸泡时间/min	C 低压蒸煮压力/kPa	D 低压蒸煮时间/min	E 料液比(m:m)	F 热风干燥温度/℃	G 热风干燥时间/h
-1	25	15	40	4	1:1.5	60	1
+1	50	30	70	8	1:2.5	90	2

1.4.2 响应面试验 根据Box-Benhnken(BB)的中心组合试验设计原理,选择对芸豆糊化度影响显著的因素为变量,以糊化度为响应值进行试验设计。根据试验结果对数据进行二次回归拟合。

1.4.3 数据处理 采用Design Expert 8.0.6统计分析软件进行试验数据分析。

2 结果与讨论

2.1 PB试验结果

本试验应用Design Expert 8.0.6进行试验设计,共12组试验,每组试验进行3组重复试验,进行糊化度的测定。

PB试验结果见表2,回归分析结果见表3。

由表3可知,在芸豆熟化过程中,浸泡温度(A),低压蒸煮压力(C),低压蒸煮时间(D)这3个因素对糊化度影响显著( $P < 0.05$ ),并且浸泡温度(A)对糊化度的影响起正效应。其他因素影响不显著( $P > 0.05$ ),因此针对这3个因素进行进一步的优化试验。在浸泡过程中,水分进入到芸豆籽粒内部,温度高低会影响芸豆中水分的含量和分布。低压蒸煮时随着压力增加,芸豆籽粒的吸水量及内部糊化程度均增加,但压力过大,芸豆籽粒会破裂,无法保持籽粒的完整性。低压蒸煮时间的长短也会对芸豆籽粒的熟化以及外观形态起到显著影响。当低压蒸煮时间较短时淀粉无法糊化,低压蒸

表 2 PB 试验设计及结果

Table 2 PB design and corresponding results

试验号	A	B	C	D	E	F	G	糊化度 Y/%
1	1	1	-1	1	1	1	-1	35.58
2	-1	1	1	-1	1	1	1	35.36
3	1	-1	1	1	-1	1	1	27.79
4	-1	1	-1	1	1	-1	1	25.32
5	-1	-1	1	-1	1	1	-1	26.55
6	-1	-1	-1	1	-1	1	1	28.50
7	1	-1	-1	-1	1	-1	1	49.46
8	1	1	-1	-1	-1	1	-1	53.79
9	1	1	1	-1	-1	-1	1	40.00
10	-1	1	1	1	-1	-1	-1	23.80
11	1	-1	1	1	1	-1	-1	21.58
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	30.11

表 3 PB 试验设计回归分析结果<sup>†</sup>

Table 3 Regression analysis for the PB experimental results

来源	系数估计	标准误差	F	P
A	4.88	1.39	12.26	0.024 9*
B	2.49	1.39	3.19	0.148 7
C	-3.97	1.39	8.13	0.046 3*
D	-6.06	1.39	18.90	0.012 2*
E	-0.84	1.39	0.37	0.577 0
F	1.44	1.39	1.07	0.359 3
G	1.25	1.39	0.81	0.419 9

† \*表示差异显著, P<0.05。

煮时间延长芸豆籽粒吸水饱和且糊化度达到可食用要求;若煮煮时间继续增加,就会导致芸豆籽粒因吸水过多、受压过大而破裂。

2.2 响应面试验设计结果与分析

2.2.1 响应面试验设计及结果 根据 PB 试验结果进行响应面试验设计,各试验设计因素及水平见表 4,试验设计结果见表 5,试验结果分析见表 6<sup>[14]</sup>。

对所得数据进行二次回归拟合分析,分析结果见表 6。经过拟合得到的回归方程为:

$$Y=67.24+2.95X_1+0.91X_2+5.61X_3-1.22X_1X_2-2.17X_1X_3-1.59X_2X_3-22.14X_1^2-7.30X_2^2-10.54X_3^2 \quad (2)$$

表 4 响应面试验因素及水平

Table 4 Factors and levels in BB

水平	X <sub>1</sub> 浸泡温度/℃	X <sub>2</sub> 低压蒸煮压力/kPa	X <sub>3</sub> 低压蒸煮时间/min
-1	35	40	4
0	50	50	5
1	65	60	6

表 5 响应面试验设计及结果

Table 5 BB design and corresponding experimental results

试验号	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	糊化度 Y/%
1	-1	-1	0	29.04
2	1	-1	0	34.00
3	-1	1	0	35.19
4	1	1	0	35.13
5	-1	0	-1	29.21
6	1	0	-1	32.00
7	-1	0	1	39.51
8	1	0	1	36.90
9	0	-1	-1	35.00
10	0	1	-1	47.71
11	0	-1	1	58.27
12	0	1	1	62.00
13	0	0	0	63.43
14	0	0	0	70.20
15	0	0	0	69.99
16	0	0	0	70.11
17	0	0	0	69.99

由表 6 可知,该回归模型(P<0.000 1)极显著,失拟项(P=0.168 1)不显著,说明模型拟合较好。模型的相关系数 R<sup>2</sup>=0.974 4,表明模型的相关性很好, R<sub>adj</sub><sup>2</sup>=0.941 6,表明模型与实际情况拟合得较好。该方程可以较为准确地分析和预测低压蒸煮条件与糊化度之间的关系。其中 X<sub>3</sub>、X<sub>1</sub><sup>2</sup>、X<sub>2</sub><sup>2</sup>、X<sub>3</sub><sup>2</sup>的影响是显著的,而 X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>、X<sub>1</sub>X<sub>3</sub>、X<sub>2</sub>X<sub>3</sub>的影响不显著。

2.2.2 响应面及等高线分析 由图 2 可知,当低压蒸煮时间为最佳值时,随着浸泡温度与低压蒸煮压力的增加,糊化度

表 6 响应面试验方差分析<sup>†</sup>

Table 6 Analysis of variance of BB

来源	平方和	自由度	方差	F 值	P
模型	4 235.76	9	470.64	29.65	< 0.000 1
X <sub>1</sub>	3.23	1	3.23	0.20	0.665 7
X <sub>2</sub>	70.33	1	70.33	4.43	0.073 3
X <sub>3</sub>	347.95	1	347.95	21.02	0.002 3
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	6.30	1	6.30	0.40	0.548 7
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	7.29	1	7.29	0.46	0.519 7
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	20.16	1	20.16	1.27	0.296 9
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	2 818.36	1	2 818.36	177.58	<0.000 1
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	382.56	1	382.56	24.10	0.001 7
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	301.85	1	301.85	19.02	0.003 3
残差	111.10	7	15.87		
失拟项	75.77	3	25.26	2.86	0.168 1
纯误差	35.33	4	8.83		
总和	4 346.86	16			

† 模型 R<sup>2</sup>=0.974 4, R<sub>adj</sub><sup>2</sup>=0.941 6。

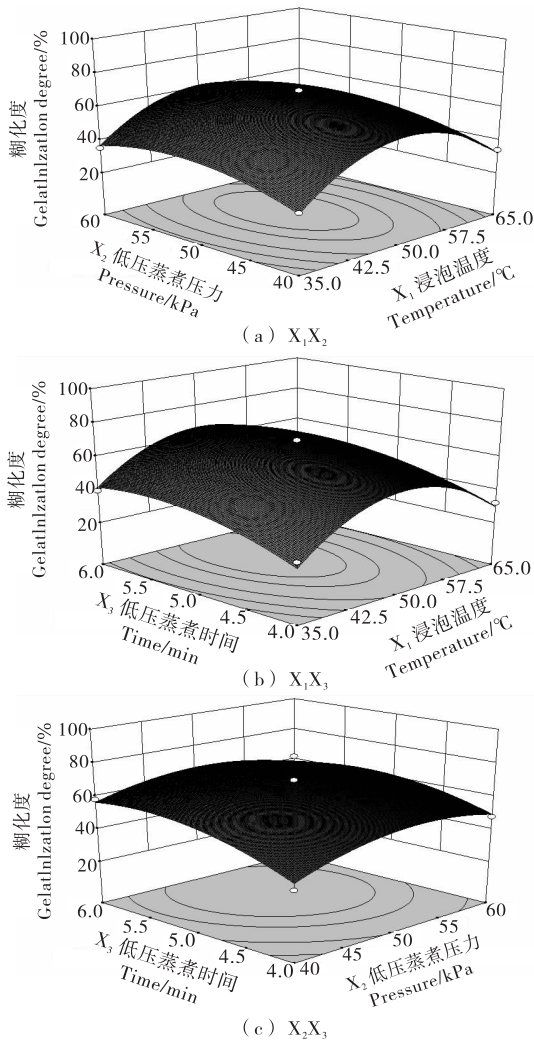


图2 各因素交互作用的响应曲面与等高线图

Figure 2 Response surface and contour plots for the pairwise interactive effect of three variables

呈上升的趋势,当浸泡温度与低压蒸煮压力增加到一定值时,糊化度呈现下降的趋势;随着浸泡温度与低压蒸煮时间的增加,糊化度呈现先上升后下降的趋势。

2.2.3 验证实验 经 Design Expert 8.0.6 软件优化得出最佳蒸煮条件为:浸泡温度 50.75 °C、低压蒸煮时间 5.37 min、低压蒸煮压力 51.10 kPa,预测糊化度为 70.09%。在实际操作过程中将响应面优选出的最佳工艺参数调整为:浸泡温度 50 °C、低压蒸煮压力 50 kPa、低压蒸煮时间 5 min。经 3 次验证实验得出,糊化度的平均值为 70.50%,与预测值(70.09%)基本相符,相对误差为 0.014%。且干燥后芸豆颗粒外观完整,表皮无脱落,水分含量为 7%。与大米配比蒸煮后,米饭具有豆香味,豆粒咀嚼时口感较软,将豆粒从中心部位劈开后无硬芯,达到与大米共煮同熟的效果。

### 3 结论

本试验对芸豆预熟化工艺进行优化,首先通过 PB 试验筛选出影响芸豆糊化度的 3 个显著影响因素,然后对筛选出的因素进行响应面优化试验,得到芸豆预熟化最佳工艺条件

为:浸泡温度 50 °C,低压蒸煮压力 50 kPa,低压蒸煮时间 5 min,热风干燥温度 90 °C。此时,预糊化芸豆的糊化度为 70.50%,水分含量为 7%。颗粒外观完好,可长期贮存,能与大米实现共煮同熟。该预熟化工艺为芸豆的精深加工提供了技术依据,产品为消费者日常食用提供了便利。今后需加强对加工过程中能耗方面的研究,以利于该工艺的推广与应用。

### 参考文献

- [1] Kaur S, Singh N, Sodhi N S, et al. Diversity in properties of seed and flour of kidney bean germplasm[J]. Food Chemistry, 2009, 117(2): 282-289.
- [2] 牛西午,陶承光. 中国杂粮研究[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2005:259-261.
- [3] Mundi S, Aluko R E. Physicochemical and functional properties of kidney bean albumin and globulin protein fractions[J]. Food Research International, 2012(48): 299-306.
- [4] Lakemond C M M, Jongh H H J D, Paques M, et al. Gelation of soy glycinin; influence of pH and ionic strength on network structure in relation to protein conformation[J]. Food Hydrocolloids, 2003, 17(2): 365-377.
- [5] 哈尔滨天一生态农副产品有限公司. 一种玫瑰芸豆馅粘豆包及其生产方法:中国,104256218A[P]. 2015-01-07.
- [6] 阎珊珊. 一种黑豆芸豆风味粉丝:中国,103960566A[P]. 2014-08-06.
- [7] Thompson S V, Winham D M, Hutchins A M. Bean and rice meals reduce postprandial glycemic response in adults with type 2 diabetes: a cross-over study[J]. Nutrition Journal, 2012, 11(7):1-7.
- [8] 宁夏家道清真食品有限公司. 一种对食用谷、豆、薯类杂粮的预处理方法:中国,102511741[P]. 2011-12-20.
- [9] 王有增. 芸豆大米的加工方法:中国,1348707[P]. 2002-05-15.
- [10] 陈静,刘宏,沈群. 12 种杂粮米蒸煮特性研究[J]. 食品科技, 2012, 12(9): 143-146.
- [11] 韩德权,章佳佳. DNS 法在普鲁兰多糖发酵液中糖测定的研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(2): 285-290.
- [12] 阎宝清,夏立秋,龙如花,等. 利用混料设计优化多杀菌素发酵培养基[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 201-203.
- [13] Yannis L Loukas. A Plackett-Burman screening design directs the efficient formulation of multicomponent DRV liposomes[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2001, 26: 255-263.
- [14] 魏敏,张斌. 副干酪乳杆菌耐乳酸的驯化及增值培养基的优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 29-30.