

# 自熟多功能单螺杆挤压重组牛肉的加工工艺研究

李福泉<sup>1</sup>, 陈柯<sup>1</sup>, 杨文<sup>1</sup>, 段翠翠<sup>2</sup>

(1. 内江职业技术学院, 生物技术系, 四川内江 641100)

(2. 东北农业大学, 乳品科学教育部重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150030)

**摘要:** 本论文利用自熟多功能单螺杆食品膨化机, 通过挤压膨化牛肉制品的开发与研究, 增加维持生命最重要的营养素赖氨酸, 使之营养平衡。应用响应面法研究了恒定螺杆转速下, 牛肉的添加量、进料湿度及进料粒度三个操作参数对牛肉蛋白挤出物的膨化度、脂肪酸、氨基酸成分变化程度的影响。确定了最适工艺条件: 螺杆恒定转速为 370 r/min, 牛肉的添加量是 37.00%, 进料湿度是 24.08%, 进料粒度是 16 目。通过对挤压前后牛肉脂肪和氨基酸的变化研究, 表明在挤压膨化过程中, 脂肪酸的损失率较高, 特别是  $\gamma$  亚麻酸。挤压膨化牛肉中 7 种人体必须氨基酸的含量相对是减少的, 赖氨酸和丝氨酸减少的比例最大, 分别是 16.82% 和 16.20%, 酪氨酸和组氨酸减少的比例最小, 分别是 13.3% 和 13.8%。

**关键词:** 挤压膨化; 牛肉; 加工; 工艺条件; 响应面法

文章编号: 1673-9078(2013)2-335-338

## Study on Processing Technology of Single-screw Extruder to Produce Textured Beef

LI Fu-quan<sup>1</sup>, CHEN ke<sup>1</sup>, YANG Wen<sup>1</sup>, DUAN Cui-cui<sup>2</sup>

(1. Neijiang Vocational & Technical College, Department of Biotechnology, Neijiang 641100, China)

(2. Key Laboratory of Dairy Science, Ministry of Education, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** In this study, self-cooked multifunction single-screw food extruder was used to extrude beef products to develop a method that could increase the most important life-sustaining nutrient-lysine and maintain a nutritional balance. The response surface method was used in this study to identify the effects of three operating parameters, including volume of addition of beef, feed moisture and feed size on the extrusion degree, fatty acids and amino acid composition under constant screw speed. The optimum conditions were determined as follows: constant screw speed 370 r/min, volume of addition of beef 37.00%, feed moisture 24.08% and the feed size 16 mesh. The results obtained by investigation on the changes of beef fat and amino acids before and after extrusion showed that the loss rate of fatty acid was high in the extrusion process, especially  $\gamma$  linolenic acid. In the extruded beef, the content of seven kinds of essential amino acids was relatively reduced, of which the lysine and serine were reduced significantly which were 16.82% and 16.20% respectively. Tyrosine and histidine were reduced slightly, being of 13.3% and 13.8% respectively.

**Key words:** extrusion; beef; processing; process conditions; response surface method

目前, 研究牛肉食品加工工艺较多, 周亚军等人<sup>[1]</sup>对果蔬复合重组牛肉制品、高晓平等人<sup>[2]</sup>对嫩化型姜汁风味牛肉干等, 在加工工艺方面都进行了深入的研究。挤压膨化食品因其产品蓬松, 形态多样得到了较多消费者的喜爱, 特别是儿童, 可此类食品多以谷物类(玉米、小麦、大米等)和淀粉为主, 一般缺乏赖氨酸和含硫氨基酸, 多吃会影响儿童的健康发育。但牛肉中富含赖氨酸和蛋氨酸, 以牛肉为主要原料制成

的挤压膨化产品, 能有效提高产品的营养价值, 能满足消费者的营养需求。

J.Park 等<sup>[3]</sup>用单螺杆挤压膨化机挤压膨化脱脂大豆粉、玉米粉和鲜牛肉混和物来制作膨化食品, 他们确定了以 20% 的鲜牛肉组成的, 以及不同比例的去脂大豆的添加量进行试验, 在产品的剪切力最小时的最佳工艺参数为: 29.1% 的进料湿度, 2.96% 的进料脂肪, 22% 的玉米粉, 162 °C 的温度, 产品的膨化率较高。N.Unklesbay 等<sup>[4-5]</sup>研究了牛肉和玉米粉混和物挤压膨化的热物理学性质, 研究表明, 膨化温度在 109 °C 时比 91 °C 所得到的产品的水分含量要小, 所以产品的密度也较小。挤压膨化的条件对导热性没有显著影响,

收稿日期: 2012-10-11

基金项目: 2011 年四川省“高等教育质量工程”建设项目

作者简介: 李福泉(1978-), 男, 硕士, 讲师, 主研动物营养与饲料加工(膨化饲料加工工艺)

水分是影响温度的主要因素，当产品从模口挤出时水分迅速丧失，同时可以看见油脂在模口处丧失。许多研究<sup>[6-7]</sup>得出结论，螺杆转速对挤出物膨化度无影响。本文采用固定螺杆转速来研究牛肉膨化食品的加工参数，以及各指标间的相互影响。

## 1 材料与方

### 1.1 主要设备

自熟多功能单螺杆食品膨化机（见表 1）、高速自控组织捣碎机、水分快速测定仪、电子天平、恒温干燥箱、标准检验筛、搅拌机、烘箱等。

表 1 自熟多功能单螺杆食品膨化机的组成

Table 1 Composition of the single screw extruder

自熟多功能单螺杆食品膨化机部件		指标
螺杆转速		480 r/min
模头直径		3 mm
螺杆头小槽直径		0.6 cm
螺杆头小槽长度		0.8 cm
螺旋角		75°
螺杆的长度		12 cm
齿根的直径		2.8 cm
螺距		0.8 cm

### 1.2 物料

新鲜牛肉，玉米淀粉，食盐和糖。

### 1.3 实验方案设计

如表 2 所示，实验选取牛肉的添加量、进料湿度和进料粒度为自变量，分别用  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  表示，每个变量五个水平，参考了文献资料<sup>[8]</sup>，初步选择进料湿度为 10~30%，牛肉的添加量为 10~90%，考察进料粒度，得出合适的进料粒度，然后进行中心组合设计实验。

表 2 变量设计表

Table 2 Design of variables

变量	符号	单位	间距	代码				
				-2	-1	0	1	2
牛肉的添加量	$X_1$	%	20	10	30	50	70	90
物料湿度	$X_2$	%	5	10	15	20	25	30
物料粒度	$X_3$	目	4	4	8	12	16	20

注：牛肉的添加量是指原料中新鲜牛肉占新鲜牛肉和淀粉总质量的百分数。

如表 3 所示（变量栏），本实验采用可旋转中心组合设计方法进行实验方案的设计。该方法是在 2k 要因设计方案基础上增加若干点扩充而得，以满足拟

合二阶模型的需要。其中要因点(1~8)为完全要因设计方案的一半，其余部分通过增加 6 个星点(9~14)和 6 个中心点(15~20)来得到实验所需的全部信息。产品剪切力和膨化度的测定结果，见表 3(产品测定结果栏)，将数据输入 SAS 软件进行 resreg 过程的分析，并做出相应的响应面图和等高线图，然后进行分析。

表 3 实验设计和所测实验数据

Table 3 Design and results of experiment

序号	变量			产品测定结果	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	剪切力(牛顿)	膨化度
1	-1	-1	-1	9.86	12.40
2	-1	-1	1	8.17	10.67
3	-1	1	-1	11.80	8.71
4	-1	1	1	11.20	8.37
5	1	-1	-1	8.55	8.69
6	1	-1	1	7.92	9.89
7	1	1	-1	14.70	5.74
8	1	1	1	10.50	8.56
9	-2	0	0	7.60	10.79
10	2	0	0	17.80	6.02
11	0	-2	0	7.05	10.00
12	0	2	0	7.92	8.96
13	0	0	-2	11.40	8.88
14	0	0	2	8.98	10.50
15	0	0	0	10.60	8.14
16	0	0	0	8.28	7.52
17	0	0	0	8.76	7.77
18	0	0	0	7.95	8.00
19	0	0	0	8.91	7.77
20	0	0	0	8.49	8.27

### 1.4 数据分析

使用国际通用的 SAS 8.01 统计分析软件分析，使用 resreg 过程进行分析，并做出等高线图，响应面图<sup>[9]</sup>。在 SAS<sup>[10]</sup>软件中，Rsreg 过程用的是编程的方法，响应面分析用的是菜单中的 graph 命令的方法。

## 2 实验结果分析

### 2.1 牛肉的添加量和进料湿度对膨化度的影响

由图 1 和图 2 可知，随着牛肉的添加量的增加产品的膨化度是不断减少的，但是，当进料湿度较大的时候，相对于牛肉的添加量的膨化度的减小的速度较快。所以，如果要尽量多的增加产品的牛肉添加量，同时使产品有较高的膨化度，可以选择较小的进料湿度。

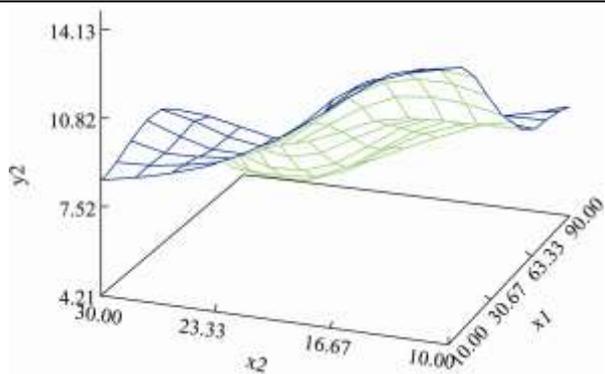


图1 牛肉的添加量和进料湿度对膨化度的响应面

Fig.1 The response surface diagram of beef additives and moisture content on extrusion rate

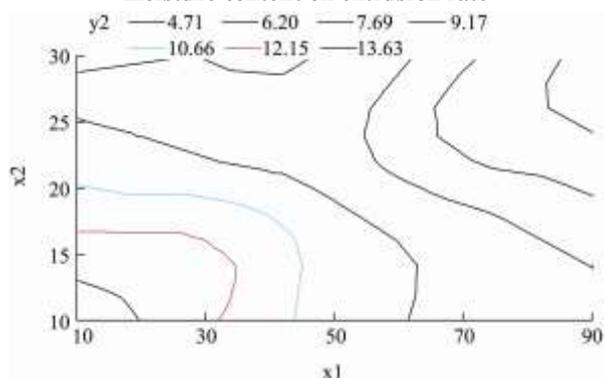


图2 牛肉的添加量和进料湿度对膨化度的等高线

Fig.2 The degree contour map of beef additives and moisture content on extrusion rate

### 2.2 牛肉的添加量和进料粒度对膨化度的影响

由图3和图4可知,随着牛肉的添加量的升高,产品的膨化度是不断减少的,当产品较细时(粒度值较大)产品的膨化度变小的较慢,如果尽量多的增加产品的牛肉的添加量,同时得到的产品的膨化较高,可以选择较细的进料粒度。

### 2.3 进料湿度和进料粒度对膨化度的影响

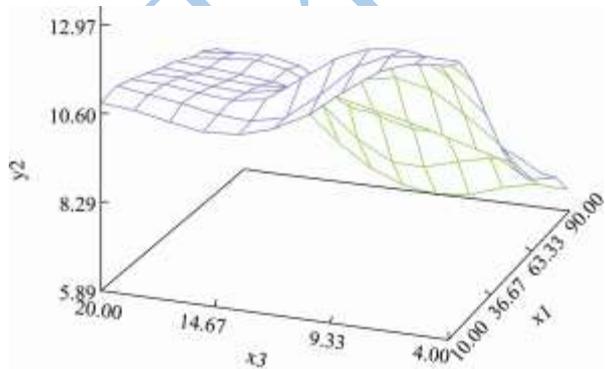


图3 牛肉的添加量和进料粒度对膨化度的响应面

Fig.3 The response surface diagram of beef additives and material size on extrusion rate

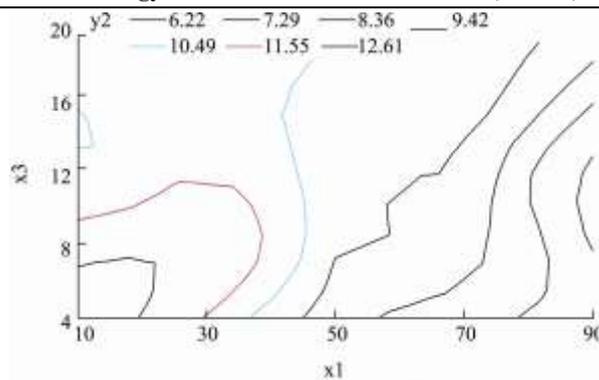


图4 牛肉的添加量和进料粒度对膨化度的等高线

Fig.4 The degree contour map of beef additives and material size on extrusion rate

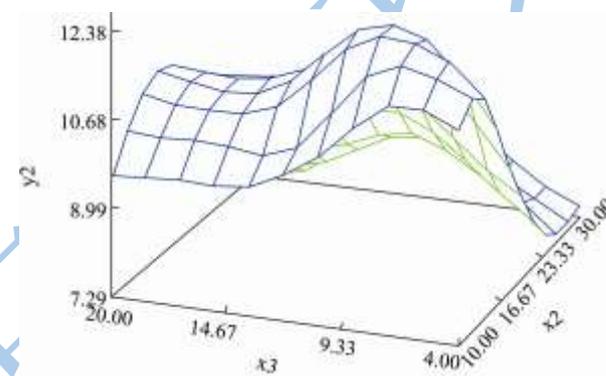


图5 进料湿度和进料粒度对膨化度的响应面图

Fig.5 The response surface diagram of moisture content and material size on extrusion rate

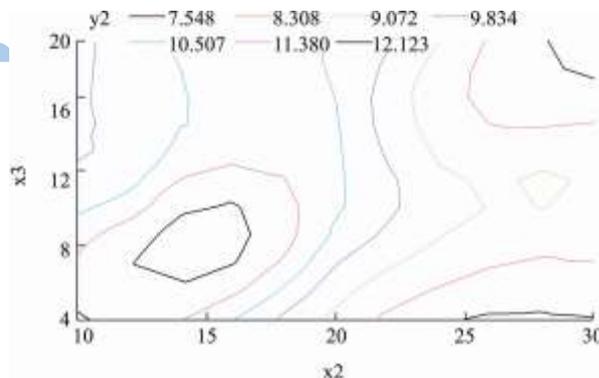


图6 进料湿度和进料粒度对膨化度的等高线图

Fig.6 The degree contour map of moisture content and material size on extrusion rate

由图5和图6可知,随产品湿度的增加,产品的膨化度先增加后减少,水分太少太多都会造成膨化度的降低。

从原理上分析可能是开始的时候,产品的水分的增加可以使产品内参加闪蒸的水的量的增加,结果使产品的膨化度较高,随着产品水分的继续上升,挤压膨化机对原料的挤压作用产生的闪蒸效果明显降低。

如果水分太多的话,就会使产品的膨化过程变成简单的挤压成型过程。

### 3 挤压膨化前后脂肪酸组成和氨基酸组成

#### 3.1 挤压膨化前后的脂肪酸组成

表4 挤压膨化前后的脂肪酸组成

Table 4 The fatty acid composition before and after the

extrusion		
脂肪酸	原料/%	产品/%
16:0 棕榈酸	11.34	8.9
18:0 硬脂酸	9.97	2.85
18:1 油酸	39.95	25.36
18:2 亚油酸	21.53	11.16
18:3 $\gamma$ 亚麻酸	2.43	0.00
18:3 $\alpha$ 亚麻酸	4.54	4.19

从表4可知,原料脂肪酸组成中油酸含量最多达到39.95%,其次是亚油酸达到21.53%, $\gamma$ 亚麻酸的组成最少,只有2.43%,产品中也是油酸的组成最多,但仅有25.36%,其次是亚油酸,它的组成是11.16%, $\gamma$ 亚麻酸在产品中未被检出。

#### 3.2 挤压膨化前后的氨基酸含量

表5 挤压膨化前后的氨基酸含量

Table 5 Amino acid contents before and after the extrusion

氨基酸	原料/%	产品/%	减少的百分比/%
精氨酸	0.64	0.54	15.94
组氨酸	0.14	0.12	13.33
异亮氨酸	0.41	0.34	15.91
亮氨酸	0.69	0.59	14.67
赖氨酸	0.46	0.39	16.00
苯丙氨酸	0.44	0.37	14.89
苏氨酸	0.36	0.31	15.38
缬氨酸	1.07	0.92	14.66
丙氨酸	0.87	0.74	14.89
天冬氨酸	0.81	0.69	14.77
谷氨酸	1.65	1.40	15.17
甘氨酸	0.47	0.40	15.69
脯氨酸	0.42	0.35	15.56
丝氨酸	0.40	0.33	16.28
酪氨酸	0.27	0.23	13.79

由表5可知,产品中仅胱氨酸和蛋氨酸未被检出,产品的氨基酸含量都有所减少。其中赖氨酸和丝氨酸减少的比例最大,分别是16%和16.28%,酪氨酸和组氨酸减少的比例最小,分别是13.79%和13.33%。

### 4 结论

4.1 刘学文等<sup>[9]</sup>通过响应面法进行分析,综合考虑进料物料组成、湿度和粒度3个变量对糊化率和膨化度的影响,并确定挤压膨化机进料的最佳参数为:物料湿度18%~22%,物料粒度12~16目,鸡肉含量为45%~50%,此时产品的糊化程度可满足产品的质量要求,膨化度适中,产品的组织状态较好。王文贤等<sup>[11]</sup>对鸡肉-大米膨化食品的研究,通过响应面法进行分析,考虑物料湿度、机筒温度和螺杆转速3个变量对糊化率的影响,最终确定最佳挤压工艺条件为:物料湿度35%,机筒温度123℃,螺杆转速220r/min,如果物料湿度超过40%,挤出物成半流体状,并可见部分生淀粉。本研究中通过响应面有个稳定点可知:螺杆恒定转速为370r/min,此时牛肉的添加量是37.00%,进料湿度是24.08%,进料粒度是16目。这符合刘学文等<sup>[9]</sup>研究结果的参考范围。这与王文贤等<sup>[11]</sup>挤压工艺参数差异较大,也许是所研究材料不同所致。

4.2 牛肉的添加量、进料湿度和进料粒度三个因素中,牛肉的添加量对膨化度的影响最大。其次是进料湿度,进料粒度对膨化度也有显著的影响。牛肉的添加量对产品膨化度有显著的影响该结论与T.Jaya Sharkar的结论一致<sup>[12]</sup>。

4.3 产品中的氨基酸组成较全,含有七种人体必须氨基酸,在挤压前后,氨基酸的含量是减少的,因为氨基酸的氨基会参加美拉德反应,减少比例赖氨酸和丝氨酸减少的比例最大,分别是16%和16.28%,酪氨酸和组氨酸减少的比例最小,分别是13.3%和13.8%。赖氨酸减少的比例比较大和J.Zhang<sup>[13]</sup>的结论一致,因为赖氨酸对美拉德反应最敏感,研究中的发现丝氨酸的减少比例也比较大,可能丝氨酸也对美拉德反应敏感。

### 参考文献

- [1] 周亚军,李芳,苏丹,等.果蔬复合重组牛肉制品加工特性与工艺优化[J].现代食品科技,2011(27):287-291
- [2] 高晓平,黄现青,赵改名,等.嫩化型姜汁风味牛肉干的研制[J].现代食品科技[J],2010(07):703-705
- [3] J Park, K S Rhee, B K Kim, et al. Highprotein texturized products of defatted soy flour, corn starch and beef shelf-life, physical and sensory properties [J]. Food Science, 1993, 58(1): 21-27
- [4] N Unklesbay, K Unklesbay, F Hsieh, et al. Thermophysical properties of extruded beef/com flour blends [J]. Food Science, 1992, 57(6): 1282-1284
- [5] Saroj Kumar Giri and Sukumar Bandyopadhyay. Effect of

- extrusion variables on extrudate characteristics of fish muscle-rice flour blend in a single-screw extruder [J]. Food Processing Preservation, 2000, 24: 177-190
- [6] Coulter L A, Lorenz K J. Food Processing and Preservation, 1991. 15(4): 243-259
- [7] 杨绮云等,操作参数对双螺杆挤压机挤压效果影响的研究[J],食品科学,2001(02):14-16
- [8] 王文贤,刘学文等.利用响应面法优化鸡肉挤压膨化产品进料参数的研究[J],四川大学学报,2003.7:35(4)55-59
- [9] 刘学文,王文贤,冉旭.鸡肉挤压膨化休闲食品的开发研究[J].食品科学,2003,12:63-67
- [10] 黄燕,吴平编著.SAS 统计分析及应用[M].北京,机械工业出版社.2006:251-25
- [11] 王文贤,刘学文,谢永洪等.鸡肉-大米膨化食品双螺杆挤压工艺参数的优化研究[J].农业工程学报,2004,6:223-226
- [12] T. Jaya Sharkar and S. Bandyopadhyay. Process variables during single-screw extrusion of fish and rice-flour blends [J].Food Processing and Preservation,2005,29:151-164
- [13] J. Zhang, P. Mungara, J. Jane. Mechanical and thermal properties of extruded soy protein sheets [J]. Polymer, 2001, 42: 2569-2578
- [14]