

# 组织化花生蛋白挤压模头结构参数优化

郎珊珊

(兰州理工大学 机电工程学院, 兰州 730050)

**摘要:**研究了模头直段长径比、锥段角度、锥段长度对双螺杆挤压膨化机挤压组织化花生蛋白组织化度的影响,利用响应面法优化模头结构参数。结果表明:组织化度随着模头直段长径比、锥段角度的增大表现出先升后降的趋势,随着锥段长度的增大而增大;在模头直段长径比 5:1、锥段角度 40°、锥段长度 27 mm 的条件下挤压出的组织化花生蛋白具有良好的组织化结构,组织化度为 1.65。

**关键词:**双螺杆挤压膨化机;挤压模头;结构参数;花生蛋白;挤压组织化

中图分类号:TS223;TQ937 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2018)05-0154-03

## Optimization of extrusion die structure parameters of texturized peanut protein

LANG Shanshan

(School of Mechanical & Electronical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** The effects of ratio of length to diameter of die straight section, cone angle and cone length on texturization degree of texturized peanut protein prepared by twin-screw extruder were studied. The die structure parameters were optimized by response surface methodology. The results showed that the texturization degree first increased then decreased with the increase of ratio of length to diameter of die straight section and cone angle, and increased with the increase of cone length. The optimal conditions were obtained as follows: ratio of length to diameter of die straight section 5:1, cone angle 40° and cone length 27 mm. Under these conditions, the texturized peanut protein had good texturized structure, and the texturization degree was 1.65.

**Key words:** twin-screw extruder; extrusion die; structure parameter; peanut protein; extrusion texturization

花生蛋白挤压组织化生产过程是以双螺杆挤压机为主要设备的多输入输出系统,双螺杆挤压机结构参数、操作参数为挤压过程系统分析模型的主要研究对象<sup>[1]</sup>。较之结构参数,操作参数(机筒温度、物料含水率、喂料速度、螺杆转速)对产品特性影响的研究较多<sup>[2-9]</sup>。结构参数中,螺杆构型在之前的相关研究中已有所涉及,但对模头结构参数的研究鲜见报道<sup>[10]</sup>。试验显示,模头结构对植物蛋白挤压组织化的影响非常显著,因此研究模头结构对组织蛋白产品特性的影响及模头结构参数优化,对于双

螺杆挤压模头开发具有重要的理论价值和实际指导意义。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

高温脱脂花生粕:太阳石(青岛)植物油有限公司,蛋白质含量(干基)55%、氮溶解指数 20%、粗脂肪含量(干基)1.7%、含水率 8%;谷朊粉:市售,蛋白质含量约 70%,含水率 ≤ 8%;水。

TXLL110 型双螺杆挤压膨化机:北京金地三福膨化机制造有限公司,主机功率 110 kW,螺杆直径 85 mm,长径比 25.5:1,机筒采用蒸汽加热,模具采用水循环冷却。C-LM 3B 型数显式肌肉嫩度仪:东北农业大学。

#### 1.2 试验方法

##### 1.2.1 组织化花生蛋白的制备<sup>[11]</sup>

将高温脱脂花生粕粉碎(95%过 80 目筛),再将

收稿日期:2017-12-12;修回日期:2018-02-08

基金项目:甘肃省自然科学基金项目(1508RJZA068)

作者简介:郎珊珊(1979),女,副教授,博士,主要从事植物蛋白挤压组织化技术的研究工作(E-mail) langshanshan@126.com。

高温脱脂花生粕粉与谷朊粉按质量比 85:15 混合。筒内,在转动螺杆的强制推动下向前运动,最后由模口挤出组织化花生蛋白。挤压工艺条件见表 1。

表 1 挤压工艺条件

物料含水率/%	喂料速度/(kg/h)	螺杆转速/(r/min)	第 I ~ 第 V 节机筒温度/°C	模具出口温度/°C
30	560	340	80,90,135,147,155	95

### 1.2.2 剪切力测定

采用数显式肌肉嫩度仪测定剪切力<sup>[12]</sup>。用直径 1.27 cm 的圆形取样器沿组织蛋白纤维平行方向钻切料样,试样长度不少于 5 cm。

### 1.2.3 组织化度计算<sup>[13]</sup>

组织化度 = 横向剪切力/纵向剪切力

## 2 结果与讨论

### 2.1 中心复合试验

本试验以模头直段长径比( $X_1$ )、锥段角度( $X_2$ )、锥段长度( $X_3$ )作为自变量,将挤出组织化花生蛋白组织化度( $Y$ )作为目标函数,采用中心复合设计方法进行试验设计,因素水平编码见表 2。

表 2 因素水平编码

水平	$X_1$	$X_2/(^\circ)$	$X_3/\text{mm}$
-1.682	3.0:1	30.0	9.0
-1	3.8:1	42.2	12.6
0	5.0:1	60.0	18.0
1	6.2:1	77.8	23.4
1.682	7.0:1	90.0	27.0

根据表 2 因素水平,利用 Minitab 直接生成相应的中心复合设计表,以此安排试验并得到结果。试验方案与结果见表 3,估计回归系数见表 4,方差分析见表 5。

表 3 试验方案与结果

试验号	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y$	试验号	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y$
1	1	1	1	1.50	11	0	0	0	1.59
2	1	1	-1	1.39	12	0	0	0	1.61
3	1	-1	1	1.64	13	0	0	0	1.59
4	1	-1	-1	1.45	14	0	0	0	1.60
5	-1	1	1	1.44	15	0	0	1.682	1.62
6	-1	1	-1	1.38	16	0	0	-1.682	1.43
7	-1	-1	1	1.54	17	0	1.682	0	1.35
8	-1	-1	-1	1.41	18	0	-1.682	0	1.50
9	0	0	0	1.59	19	1.682	0	0	1.47
10	0	0	0	1.61	20	-1.682	0	0	1.40

表 4 估计回归系数

项目	系数	系数标准误差	$T$	$P$
常量	1.598	0.005	324.130	0.000
$X_1$	0.024	0.003	7.337	0.000
$X_2$	-0.043	0.003	-13.036	0.000
$X_3$	0.059	0.003	18.124	0.000
$X_1^2$	-0.054	0.003	-17.118	0.000
$X_2^2$	-0.058	0.003	-18.229	0.000
$X_3^2$	-0.023	0.003	-7.124	0.000
$X_1X_2$	-0.009	0.004	-2.048	0.068
$X_1X_3$	0.014	0.004	3.218	0.009
$X_2X_3$	-0.019	0.004	-4.388	0.001

表 5 方差分析

方差来源	自由度	平方和	均方差	$F$	$P$
回归	9	0.171 034	0.019 004	130.08	0.000
线性	3	0.080 677	0.026 892	184.08	0.000
平方	3	0.085 419	0.028 473	194.90	0.000
交互项	3	0.004 937	0.001 646	11.27	0.002
残差	10	0.001 461	0.000 146		
失拟项	5	0.000 978	0.000 196	2.02	0.229
纯误差	5	0.000 483	0.000 097		
合计	19	0.172 495			

运用 Minitab 软件对表 3 中的试验结果进行回归分析,并去除不显著项,得到模头结构参数对挤压组织化花生蛋白组织化度的数学模型为: $Y = 1.598 + 0.024X_1 - 0.043X_2 + 0.059X_3 - 0.054X_1^2 - 0.058X_2^2 - 0.023X_3^2 + 0.014X_1X_3 - 0.019X_2X_3$ 。

模型  $r^2 = 0.9915$ ,表明模型拟合度很好。同时由表 5 可知,对组织化度  $Y$  的方差分析,其线性、平方、交互项显著 ( $P < 0.05$ ),失拟项不显著 ( $P > 0.05$ ),回归达到显著水平,回归方程有意义。

### 2.2 模头结构参数对组织化度的影响

模头结构参数对组织化度影响的响应面图和等

值线图如图 1 所示。

由图 1 可知,花生组织蛋白的组织化度随着模头直段长径比的增大呈现先升高后降低的趋势,这是因为,随着模头直段长径比的增大,易于建立起所需的模头压力分布,但模头直段长径比过大,将导致组织化花生蛋白组织化度降低,出料稳定性差,相应地,模头直段长径比过小将致使建压困难,影响组织化花生蛋白纤维化结构的形成;随着锥段长度的增

加,组织化花生蛋白组织化度呈现升高的趋势,锥段长度的大小综合反映模口直径与锥段角度的影响,锥段长度较短时,挤出物料的引导性会下降,随着锥段长度的增加,将提高模头建压能力;随着锥段角度的增大,组织化花生蛋白组织化度呈现先升高后降低的趋势,锥段角度主要影响挤出物料的引导性,锥段角度较小时有利于物料堆积,出料连续稳定,锥段角度较大时则不利于挤出物料的引导。

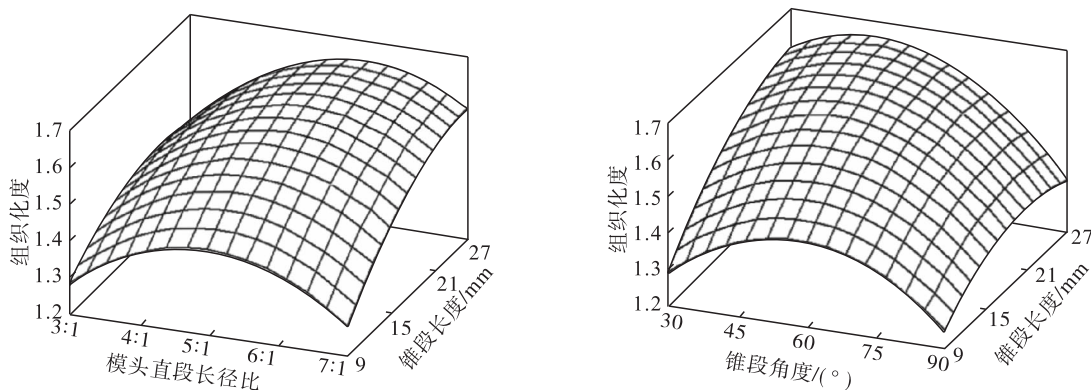


图 1 模头结构参数对组织化度的影响

### 2.3 组织化度的寻优与试验验证

运用 Minitab 的响应优化器对目标函数进行寻优。当组织化度  $Y$  为 1.66 时,相对应的模头直段长径比、锥段角度、锥段长度的取值依次为:5.616 4:1、40.604  $^{\circ}$ 、27.081 7 mm,优化模头结构参数为:模头直段长径比 5:1,锥段角度  $40^{\circ}$ ,锥段长度 27 mm。采用上述参数设置进行挤压验证试验,所得组织化花生蛋白的组织化度为 1.65,验证结果理想,符合预期目标。

### 3 结论

研究了模头结构参数(模头直段长径比、锥段角度、锥段长度)对挤压组织化花生蛋白组织化度的影响,通过响应优化得到最佳模头结构参数,并经试验验证达到预期目标,即最佳模头结构参数为模头直段长径比 5:1、锥段角度  $40^{\circ}$ 、锥段长度 27 mm,在此条件下,所得组织化花生蛋白的组织化度为 1.65。对双螺杆挤压膨化机模具设计具有一定理论价值。

#### 参考文献:

- [1] KOKINI J L, HO C T, KARWE M V. Food extrusion science and technology[J]. Dry Technol,1993(2):417-418.
- [2] LIN S, HUFF H E, HSIEH F. Extrusion process parameters, sensory characteristics and structural properties of a high moisture soy protein meat analog[J]. J Food Sci, 2002, 67(3):1066-1072.
- [3] 王洪武,林炳鉴. 复合组织蛋白挤压加工工艺的初步研究[J]. 农业工程学报,2004,20(4):216-219.
- [4] 郎珊珊,阎树田,石戴卫. 操作参数对挤压组织化花生蛋白质构特性的影响[J]. 中国油脂,2014,39(12):23-26.
- [5] 林向阳,彭树美, RUAN R,等. 影响豆粕挤压组织化显著因素筛选及其工艺优化[J]. 中国食品学报,2010,10(5):137-145.
- [6] 赵贵兴,张光,毕伟伟,等. 大豆蛋白和鱼肉复合挤压过程中水分状态变化研究[J]. 中国油脂,2017,42(4):104-107.
- [7] 王伯华,雷颂,彭澎,等. 膨化大豆组织蛋白挤压工艺对其吸水性的影响[J]. 食品工业科技,2015,36(24):252-259.
- [8] 洪滨,解铁民,高扬,等. 原料体系对高水分组织蛋白纤维化结构的影响[J]. 中国粮油学报,2016,31(2):23-27.
- [9] 郎珊珊,阎树田,石戴卫. 高温脱脂花生粕双螺杆挤压组织化的工艺研究[J]. 中国粮油学报,2011,26(5):83-86.
- [10] 高扬,解铁民,李哲滨,等. 植物蛋白高水分挤压组织化技术的现状及发展[J]. 中国粮油学报,2012,27(8):124-128.
- [11] 郎珊珊,阎树田. 结构参数对花生蛋白挤压组织化感官评定的影响[J]. 中国油脂,2013,38(4):31-34.
- [12] 刘福胜. 中型双螺杆挤压膨化机生产组织蛋白的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2006.
- [13] 武建堂,董海洲,刘传富,等. 挤压膨化对脱脂花生粕组织化度的影响[J]. 食品与发酵工业,2008,34(8):91-94.