

文章编号: 1674-5566(2010)02-0265-06

## 热塑挤压操作参数对低值水产蛋白 组织化制品物理特性的影响

杨 涛, 辛建美, 徐 青, 罗红宇

(浙江海洋学院食品与药学学院, 浙江 舟山 316004)

**摘 要:**以北太平洋鱿鱼加工废弃的边角料为原料,采用双螺杆挤压技术,利用响应面分析方法研究了主要操作参数物料含水量、机筒温度和螺杆转速对鱿鱼蛋白挤出物的水分含量和堆积密度的影响,分别建立挤出物水分含量、堆积密度与操作参数的回归拟合方程。结果表明,物料含水量对挤出物水分含量的影响非常明显,两者呈现正相关关系,物料含水量和机筒温度的交互作用对挤出物的水分含量和堆积密度的影响均呈显著性;水分含量、堆积密度与操作参数的回归拟合方程的相关系数  $R^2$  分别是 0.952 和 0.819,拟合的统计模型具有较高的可信度。

**关键词:**热塑挤压;操作参数;响应面分析法;物理特性;北太平洋鱿鱼

**中图分类号:** S 985      **文献标识码:** A

## Effect of extrusion processing on physical properties of texturized products in low value aquatic protein

YANG Tao XIN Jianmei XU Qing LUO Hongyu

(Faculty of Food and Pharmacy Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316004, China)

**Abstract:** The waste scrap from the North Pacific squid processing was used as raw material. Effect of extrusion process parameters on the physical properties of extruded squid protein using a twin screw extruder was studied employing response surface methodology. Twin extrusion cooking running parameters feed moisture, barrel temperature and screw speed were examined as input variables. Meanwhile, as output variables, physical properties of the resultant extrudates included moisture and bulk density. Results showed that moisture content of extrudates was affected intensely by feed moisture which had positive correlation. Interaction of feed moisture and barrel temperature had significant influence on both water content and bulk density. Polynomial regression equations of process variables with two physical properties were obtained with  $R^2=0.952$  and  $R^2=0.815$ , respectively. Both of regression equations were highly credible.

**Key words:** extrusion cooking; process parameter; response surface methodology; physical properties; North Pacific squid

低值水产蛋白的热塑挤压组织化作为一种新技术,其产品物理特性的研究还不够完善。挤

收稿日期: 2009-07-29

基金项目: 浙江省科技厅优先主题项目 (2007C13044); 浙江省新苗人才计划项目 (2008R40G2110029)

作者简介: 杨 涛 (1984-), 男, 硕士研究生, 专业方向为海洋生物资源开发与利用。E-mail: y286983209@126.com

通讯作者: 罗红宇, E-mail: lisa8919@163.com

出物的水分含量会影响挤出物的后续加工、保藏等<sup>[1]</sup>,也关系挤出物的吸水率,吸水率越高组织化蛋白的弹性和韧性越高<sup>[2]</sup>。堆积密度可以反映挤出物的膨化度,也可以反映出挤出物表面膨化构造情况<sup>[3-4]</sup>,堆积密度与挤出物膨化率成反比关系。水分含量和堆积密度直接影响挤出物的口感。

改变低值水产蛋白质的物理特性是研究挤压蒸煮组织化低值水产蛋白质的主要目标<sup>[5]</sup>,研究挤压操作参数对挤出物物理特性的影响是实现这一目标的前提。低值水产蛋白质组织化前后物性的改变与挤压机的操作参数是密不可分的<sup>[6]</sup>,因此,各操作参数对低值水产蛋白质挤出物物理性质的影响是该领域的重要研究内容之一。

研究的主要目的是探索鱼肉蛋白质在双螺杆挤压蒸煮过程中,主要操作参数即物料含水量、机筒温度和螺杆转速对挤出物的水分含量和堆积密度的影响<sup>[7]</sup>。研究的3个操作参数各设5个水平,测定相应挤出产物的水分含量和堆积密度,分别建立挤出物水分含量与操作参数,挤出物堆积密度与操作参数的回归拟合方程。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

北太平洋鱿鱼边角料由中国水产舟山海洋渔业公司提供。要求在 $-18^{\circ}\text{C}$ 冻藏。

### 1.2 主要设备及仪器

SYSLG30-IV双螺杆挤压机,济南赛百诺科技开发有限公司;HG63水分自动测定仪,梅特勒-托利多公司;ZK组织捣碎机,江苏省盐城市科学仪器厂;DGG-9140A电热恒温鼓风干燥箱,上海森信实验仪器有限公司;BS110精密电子天平,

北京赛多利斯有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 挤压工艺

首先将冷冻的鱿鱼边角料解冻,在 $70^{\circ}\text{C}$ 下分别烘至不同的水分含量,然后将烘干的鱿鱼边角料粉碎。启动双螺杆挤压机,待机筒温度和螺杆转速达到设定值并稳定运行时,开始喂料。

#### 1.3.2 水分含量的测定

水分含量的测定采用重量法<sup>[8]</sup>。

#### 1.3.3 堆积密度的测定

堆积密度是测量一定容积下物料的质量<sup>[9]</sup>。将挤出物烘干磨碎,取能通过6目而不能通过14目筛的颗粒,然后自然倾泻入100 mL量筒至刻度,再称量样品质量。堆积密度(bulk density,  $D_B$ )计算如下:

$$D_B = W / V \quad (1)$$

式中: $V$ 为堆积容积( $\text{m}^3$ ); $W$ 为样品质量( $\text{kg}$ ); $D_B$ 为堆积密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

#### 1.3.4 操作参数对挤出物物理性质的影响

选择物料含水量、机筒温度和螺杆转速作为自变量,每个参数设置5个水平,分别以代码-1.682、-1、0、1、1.682表示,以挤出物的水分含量和堆积密度为目标函数,研究双螺杆挤压蒸煮过程中各个操作参数对组织化制品物理特性的影响<sup>[10-11]</sup>。试验因素水平编码见表1。

#### 1.3.5 统计学处理

本试验结果的分析采用SPSS 13.0,绘图采用Matlab 6.1。

## 2 结果

### 2.1 拟合模型的建立及其显著性检验

按1.3.4因素与水平设计试验方案,试验结果见表2。

表1 操作参数的响应面分析方法设计

Tab. 1 Values assigned to process variables for response surface analysis

操作变量	编码	编码水平				
		-1.682	-1	0	1	1.682
物料含水量(%)	A	31.59	35	40	45	48.41
机筒温度( $^{\circ}\text{C}$ )	B	123	130	140	150	157
螺杆转速(Hz)	C	16.59	20	25	30	33.41

注:SYSLG30-IV型双螺杆挤压机螺杆转速换算公式为 $1\text{ Hz}=7.2\text{ r/min}$ 。

表 2 响应曲面分析试验点安排及试验结果  
Tab. 2 Results and design of response surface analysis test

序号	变量			Y1	Y2
	A	B	C		
1	1	1	1	32.98	367.63
2	1	1	-1	29.11	359.62
3	1	-1	1	27.07	303.38
4	1	-1	-1	28.78	339.13
5	-1	1	1	21.82	324.75
6	-1	1	-1	21.68	326.13
7	-1	-1	1	21.75	314.25
8	-1	-1	-1	21.94	344.63
9	-1.682	0	0	19.81	370.89
10	1.682	0	0	31.23	317.52
11	0	-1.682	0	26.83	320.17
12	0	1.682	0	25.74	308.65
13	0	0	-1.682	26.28	318.23
14	0	0	1.682	25.62	303.69
15	0	0	0	23.51	373.13
16	0	0	0	23.78	369.75
17	0	0	0	24.01	370.34
18	0	0	0	23.69	373.01
19	0	0	0	24.26	372.71
20	0	0	0	24.31	370.51
21	0	0	0	23.67	371.39
22	0	0	0	23.59	373.21
23	0	0	0	24.88	369.88

注: Y<sub>1</sub> 为挤出物水分含量 (%湿基); Y<sub>2</sub> 为挤出物堆积密度 (kg/m<sup>3</sup>)。

根据表 2 数据进行多元回归拟合, 获得挤出物水分含量 (Y<sub>1</sub>) 和堆积密度 (Y<sub>2</sub>) 对编码自变量物料含水量 (%), 机筒温度 (°C), 螺杆转速 (Hz) 的二次多项回归方程如下:

$$Y_1 = 23.975 + 3.658A + 0.309B + 0.073C + 0.804AB + 0.276AC + 0.739BC + 0.467A^2 + 0.738B^2 + 0.619C^2, P=0.001 < 0.01, R^2=0.952.$$

$$Y_2 = 372.056 - 4.062A + 2.961B - 4.538C + 16.978AB + 4.305AC + 7.430BC - 6.140A^2 -$$

$$17.202B^2 - 17.207C^2, P=0.001 < 0.01, R^2=0.819.$$

通过方差分析可得, 本试验所选用的二次多项模型均具有高度的显著性, 并且两个方程可信度较高, 依据该拟合模型一方面可以根据操作参数预测挤出物的水分含量和堆积密度, 另一方面也可以根据对挤出物水分含量、堆积密度的期望来设计操作参数。

对两个回归模型系数进行显著性检验, 结果见表 3、表 4。

表 3 挤出物水分含量回归模型系数的显著性检验结果

Tab. 3 Significance test of regression coefficient of extrudate moisture

系数项	回归系数	自由度	标准差	95%置信下限	95%置信上限	P值
截距	23.975	1	0.303	23.320	24.630	<0.001
A	3.658	1	0.246	3.126	4.190	<0.001
B	0.309	1	0.246	-0.223	0.841	0.232
C	0.073	1	0.246	-0.459	0.605	0.771
AB	0.804	1	0.322	0.109	1.499	0.027
AC	0.276	1	0.322	-0.419	0.971	0.406
BC	0.739	1	0.322	0.044	1.434	0.039
A <sup>2</sup>	0.467	1	0.228	-0.026	0.960	0.062
B <sup>2</sup>	0.738	1	0.228	0.244	1.231	0.007
C <sup>2</sup>	0.619	1	0.228	0.126	1.112	0.018

表 4 挤出物堆积密度回归模型系数的显著性检验结果

Tab. 4 Significance test of regression coefficient of extrudate  $D_B$ 

系数项	回归系数	自由度	标准差	95%置信下限	95%置信上限	P值
截距	372.056	1	5.028	361.193	382.919	<0.001
A	-4.062	1	4.084	-12.885	4.762	0.338
B	2.961	1	4.084	-5.863	11.785	0.481
C	-4.538	1	4.084	-13.362	4.286	0.287
AB	16.978	1	5.337	5.448	28.507	0.007
AC	4.305	1	5.337	-7.224	15.834	0.434
BC	7.430	1	5.337	-4.099	18.959	0.187
$A^2$	-6.140	1	3.786	-14.319	2.039	0.129
$B^2$	-17.202	1	3.786	-25.381	-9.023	0.001
$C^2$	-17.207	1	3.786	-25.386	-9.028	0.001

由表 3 回归模型系数显著性检验结果可知,模型的一次项 A 极显著, B、C 不显著;二次项  $B^2$ 、 $C^2$  显著,  $A^2$  不显著;交互项 AB、BC 显著, AC 不显著。由表 4 回归模型系数显著性检验结果可知,模型的一次项 A、B、C 均不显著;二次项  $B^2$ 、 $C^2$  显著,  $A^2$  不显著;交互项 AB 显著, BC、AC 不显著。

## 2.2 操作参数对挤出物水分含量的影响

由图 1、图 2 可以明显的看出,挤出物的水分含量随着物料含水量的增加而增加。图 1 显示,机筒温度对挤出物水分含量无明显的影响,而图 3 显示,机筒温度对挤出物水分含量的影响波动较大,随着温度的上升,挤出物水分含量呈先降后升的波动变化,尤其是在较高的机筒温度和较高的螺杆转速条件下,挤出物水分含量较高。图 2 显示,螺杆转速对挤出物水分含量基本无影响,而图 3 显示,在低温区,挤出物水分含量随螺杆转速的升高而降低,而在高温区,挤出物水分含量随螺杆转速的升高而升高;曲面图还显示,机筒温度与物料含水量、机筒温度与螺杆转速之间的交互作用显著,而螺杆转速与物料含水量之间的交互作用不显著。结论与拟合模型的分析一致。物料含水量和机筒温度对挤出物水分含量的影响与刘俊荣等<sup>[9]</sup>有关鱼肉蛋白质双螺杆挤压的研究报道相似,而螺杆转速略有不同,原因可能在于所选取的试验原料不同,从而使研究结果产生偏差。

## 2.3 操作参数对挤出物堆积密度的影响

图 4 显示,在较高的物料含水量和较高的机筒温度区间,堆积密度较大。图 5 显示,物料含水量和螺杆转速之间也呈现类似的结果,中等偏上的物料含水量表现出较大的挤出物堆积密度。

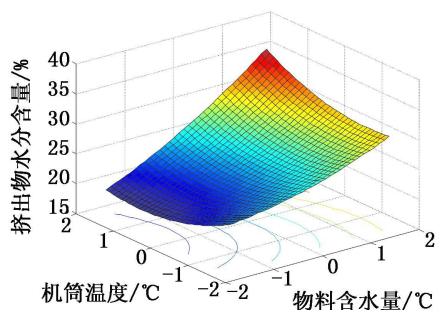


图 1 物料含水量和机筒温度对挤出物水分含量的影响

Fig. 1 Effect of feed moisture and barrel temperature on extrudate moisture

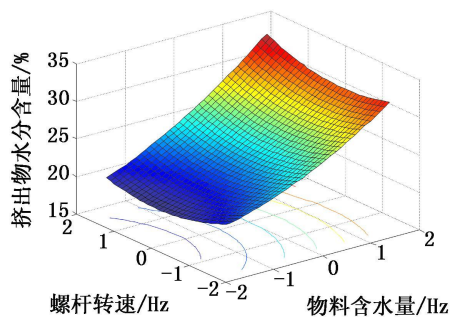


图 2 物料含水量和螺杆转速对挤出物水分含量的影响

Fig. 2 Effect of feed moisture and screw speed on extrudate moisture

图 4 和图 6 显示,较大的挤出物堆积密度都出现在中等腔体温度范围内,原因可能由于在此条件下,物料在机筒内还未达到充分的熔融状态,使物料在腔体内进行质构重组的程度降低<sup>[12-14]</sup>,因此挤出物离开腔体时膨化度较小,结构较致密,从而产生较大的堆积密度。图 5 和图 6 结果

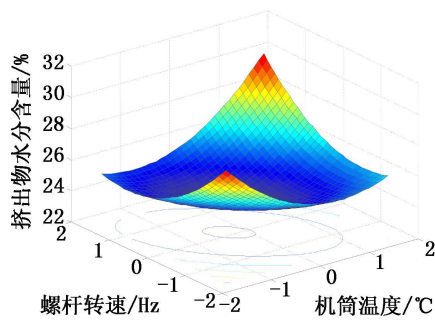


图3 机筒温度和螺杆转速对挤出物水分含量的影响

Fig 3 Effect of barrel temperature and screw speed on extrudate moisture

均显示,在中等螺杆转速的条件下,挤出物堆积密度最大。曲面图还显示,机筒温度与物料含水量之间的交互作用显著,而物料含水量与螺杆转速、螺杆转速与机筒温度之间的交互作用不显著。结论与拟合模型的分析一致。物料含水量对挤出物堆积密度的影响与刘俊荣等<sup>[9]</sup>有关鱼肉蛋白质双螺杆挤压的研究报道相似,而机筒温度和螺杆转速略有不同,堆积密度峰值出现的范围均低于其报道。

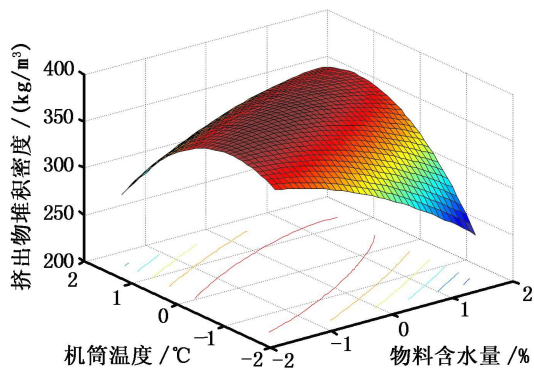


图4 物料含水量和机筒温度对挤出物堆积密度的影响

Fig 4 Effect of feed moisture and barrel temperature on bulk density of extrudate

### 3 结论

物料含水量对挤出物水分含量的影响非常明显,两者呈正相关关系,物料含水量和机筒温度的交互作用对挤出物的水分含量的影响也十分显著。3个操作参数虽然对挤出物堆积密度的影响都不太显著,但物料含水量和机筒温度的交

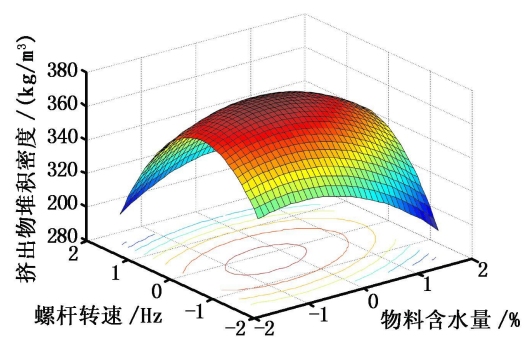


图5 物料含水量和螺杆转速对挤出物堆积密度的影响

Fig 5 Effect of feed moisture and screw speed on bulk density of extrudate

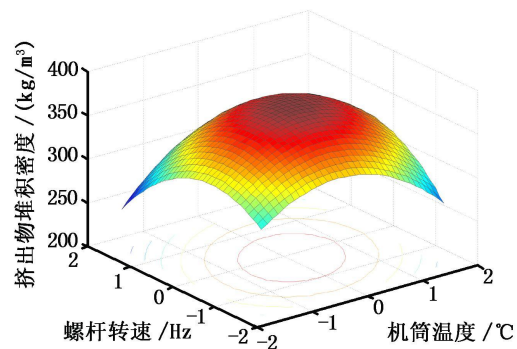


图6 机筒温度和螺杆转速对挤出物堆积密度的影响

Fig 6 Effect of barrel temperature and screw speed on bulk density of extrudate

互作用对挤出物堆积密度影响非常明显。

挤出物水分含量和堆积密度与操作参数之间分别建立的回归拟合方程相关性好,具有一定的可信度。因此利用该拟合模型一方面可以根据设计的操作参数预测挤出物的这两个物理特性,另一方面也可以根据对产品物理特性的期望来设计这3个操作参数。

### 参考文献:

- [1] Sumathi A, Ushakumari S R, Malleshi N G. Physico-chemical characteristics, nutritional quality and shelf-life of pearl millet based extrusion cooked supplementary foods [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2007, 58(5): 250-362.
- [2] 张余,魏益民. 高水分组织化花生蛋白产品干燥和复水特性研究 [J]. 食品与发酵工业, 2008, 35(5): 97-100.
- [3] 周相玲,胡立明,陈玉霞. 大豆组织化蛋白加工工艺对其物理性能影响分析 [J]. 郑州工程学院学报, 2004, 25

- (1): 77-78.
- [4] 薛军, 杨林燕, 周惠明. 挤压膨化对莲子粉糊化度及容积密度影响的研究 [J]. 食品科学, 2007, 28(5): 50-52.
- [5] 刘俊荣, 薛长湖, 伶长青, 等. 鱼肉蛋白质热塑挤压组织化中过程参数的优化模型 [J]. 水产学报, 2005, 29(5): 700-705.
- [6] 刘俊荣, 汪秋宽, 叶宇明, 等. 鱼肉脱脂对双轴挤压组织化的影响 [J]. 水产学报, 1999, 23(3): 283-289.
- [7] Shivendra Singh, Shirani Ganlah, Lara Wakeling. Nutritional aspects of food extrusion: a review [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2007, 42: 916-929.
- [8] 吴谋成. 食品分析与感官评定 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 49-50.
- [9] 刘俊荣, 薛长湖, 俞微微, 等. 鱼肉蛋白质挤压过程中操作参数对挤出物水分含量及堆积密度的影响 [J]. 水产学报, 2006, 30(6): 818-823.
- [10] 王钦德, 杨坚. 食品实验设计与统计分析 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 384-434.
- [11] 毕金峰. 苹果变温压差膨化干燥工艺优化研究 [J]. 食品科学, 2008, 29(11): 216-218.
- [12] 左进华, 董海洲, 武建堂, 等. 挤压蒸煮对豆粕体外消化率的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(5): 124-127.
- [13] 武建堂, 左进华, 董海洲. 双螺杆挤压对花生蛋白体外消化率影响研究 [J]. 粮食与油脂, 2008, (10): 25-28.
- [14] 杨绮云, 李德溥, 徐克非. 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, 22(2): 14-17.

## 欢迎订阅 2010年《上海海洋大学学报》

《上海海洋大学学报》为上海海洋大学主办, 面向全国的以海洋、水产科学技术为主的综合性学术刊物。前身为《上海水产大学学报》, 2009年起因学校更名而变更刊名。主要刊登研究论文, 少量刊登综述、评述、简讯, 并酌登学术动态和主要书刊评介等。目前学报是《中国科学引文数据库》来源期刊, 《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊, 《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊, 万方数据—数字化期刊群全文收录期刊, 中国科技论文统计源核心期刊, 水产渔业类中文核心期刊。

本刊为双月刊, 大 16开, 国内外公开发行。每期单价: 10.00元。国际标准刊号: ISSN 1674-5566, 国内统一刊号: CN31-2024/S。国内邮发代号: 4-604, 国际发行代号: 4822Q。读者可在当地邮局订阅, 也可直接汇款至编辑部订阅, 学生享半价订阅优惠。

**编辑部联系地址:** 上海市临港新城沪城环路 999号, 上海海洋大学 201信箱

**邮政编码:** 201306

**联系人:** 张海宁, 孙海燕

**联系电话:** 021-61900229

**传 真:** 021-61900227

**E-mail:** xuebao@shou.edu.cn