

文章编号: 1000-0615(2005)05-700-06

鱼肉蛋白质热塑挤压组织化中过程参数的优化模型

刘俊荣^{1,2}, 薛长湖¹, 佟长青², 杨君德³, 梁学民⁴, 路永吉⁵

(1. 中国海洋大学生命科学与技术学部, 山东 青岛 266003; 2. 大连水产学院食品科学与工程系, 辽宁 大连 116023;
3. 大连水产学院机械工程系, 辽宁 大连 116023; 4. 大连新海洋食品有限公司 辽宁 大连 116001;
5. 大连丰基食品有限公司, 辽宁 大连 116001)

摘要: 挤压蒸煮处理可以改变鱼肉蛋白质的功能特性, 这些改变与挤压机的操作参数是密不可分的。利用响应面分析方法研究 Cletral BC-45 型双轴挤出蒸煮机的操作参数对鱼肉蛋白质进行热塑挤压组织化的影响。研究的 3 个操作参数分别是末段腔体温度, 螺杆转速和喂料湿度, 每一个变量设 5 个水平。测量作为组织化产物功能特性的持水性指数及质构特性, 分别建立持水性与操作参数, 质构特性与操作参数的回归拟合方程。研究结果表明喂料湿度、螺杆转速和腔体温度对挤出物质构的影响是不同的; 持水性与操作参数, 质构特性与操作参数的回归拟合方程的相关系数 R^2 分别是 1.000 和 0.933, 拟合的统计模型可信度高。

关键词: 挤压蒸煮; 操作参数; 响应面分析法; 组织化

中图分类号: S985 文献标识码: A

Optimization of process variables in thermoplastic extrusion texturization of fish protein

LIU Jun-rong^{1,2}, XUE Chang-hu¹, TONG Chang-qing², YANG Jun-de³, LIANG Xue-min⁴, LU Yong-ji⁵

(1. Life Science and Technology College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Department of Food Science and Engineering, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China;

3. Department of Mechanical Engineering, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China;

4. Dalian New Haiyang Food Ltd., Dalian 116001, China; 5. Dalian Fengji Food Ltd., Dalian 116023, China)

Abstract: The functional characteristics of native fish protein can be changed under conditions of extrusion cooking, depending upon the operational variables used. A Cletral BC-45 laboratory-scale twin-screw extruder was used together with response surface methodology to study the effect of process parameters on functional properties of textured fish protein. Parameters examined were: barrel temperature in the last zone, screw speed, feed moisture; each at 5 levels. Water holding capacity and texture profile assessments of the resultant extrudates were made. Results had shown that all of three operational variables did not affect wet extrusion cooking in the same way. Polynomial regression equations of process variables with two functional properties were obtained with $R^2 = 1.000$, and $R^2 = 0.933$, respectively. Both of regression equations are highly credible.

Key words: extrusion cooking; process parameter; response surface methodology; texturization

螺杆挤压技术最早应用于塑料行业, 故塑料挤压理论的研究起步较早, 用于描述热塑挤压过程的基本原理其在实际运用中的模型, 并且实现

了精确的挤压机模拟实验, 在放大生产、系统和操作的优化设计方面起了很大作用^[1]。但是由于食品原料成分的复杂性, 使这些建立在塑料挤压基

收稿日期: 2004-06-02

资助项目: 国家“948”引进国际先进农业科学技术项目(993122); 辽宁省教育厅攀登计划(20101028); 大连市科委优秀青年科技基金(大科技发[2001]122号)

作者简介: 刘俊荣(1963-)女, 山东牟平人, 教授, 博士, 从事低值鱼蛋白深加工利用, 食品热塑挤压技术研究。Tel: 0411-82360759,

E-mail: ljurong@dlfu.edu.cn

基础上的模型不能用来解决食品体系的问题。20世纪70年代初期,食品挤压领域中开始出现把模拟应用到实际生产中。由于食品原料、构成成分以及各个成分的组成比例的多变性,把食品挤压过程简化为简单的数学模型至今还是极其渺茫。但是,借助工程和科学的原理,建立尽可能接近实际食品挤压系统模型或者模拟体系,对于了解这个工艺过程,提高食品挤压技术的应用效益,完善食品挤压基本原理并推动食品挤压技术的发展具有实际意义。

挤压机有单、双轴之分,对双轴挤压机来讲,又有同向和反向之分,同向双轴挤压机又有不同的螺旋组合之分,同时食品物料及其组成又是千差万别,所以食品挤压机的建模是极具挑战性的。为挤压机建立模型大多数为静态建模,本文属于这种模型的建立,而动态模型的研究目的是关于过程的控制和自动化。静态模型所描述的是机器运行达到稳定状态后的过程^[2]。挤压蒸煮处理可以改变鱼肉蛋白质的功能特性和物理特性^[3],这些改变与挤压机的操作参数是密不可分的,研究各个过程参数对鱼肉挤出物特性的影响规律,是达到和控制预期目标的前提。本文针对操作参数对鱼肉挤出物功能特性的影响进行了研究,功能特性选取了产品的持水性和复水后的质构特性。挤出物持水性所表现的是它与水亲和的程度,是组织化产物亲水性的指标;质构重组的目的是达到预期的感官特征,是组织化的首要目标,因此把产品的质构特性作为功能特性的指标是必要的。

1 材料与方 法

1.1 双轴挤出蒸煮机

本研究使用的关键设备为 CletralBC-45型同向旋转完全啮合自洁式双螺杆挤压机,有效工作螺杆长为1000 mm,长径比为18:1。其挤压系统呈积木式结构特征,由13组螺旋元件,一对花键芯轴,5段腔体构成。13组螺旋元件成对装在花键芯轴上。腔体由五个工作腔段构成。每个腔段长为200 mm。

1.2 材料

水产冷冻加工厂的鱼类产品加工的副产品即废弃边料,经骨刺分离收集碎肉待用。

1.3 持水性指数的测定

挤出物在室温下水浸泡30 min,离心脱水后

待测。取一定量待测样品(g)测定其水分含量。持水性指数(WHC)为水分含量和干物质含量的比值,计算如下:

$$WHC = W_m / W - W_m$$

式中, W 为样品重量(g), W_m 为样品中水分含量(g)。

1.4 质构特性测定

采用 OTTAWA 质构测定仪。测试室内径36 mm,探头直径35 mm。称量待测物20 g,探头下压速度 $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,底部间隙29 mm,设定测定系统读值的放大倍数为30倍。

1.5 试验方案

由于双螺杆挤压机是一个多输入多输出的系统,挤压过程的影响因素较多,且各参数之间往往又相互影响相互作用,所以很难建立一个适用面很广的理论模型来反映挤压系统的全过程。根据合理的实验设计进行实验,处理实验数据,在一定的范围观察各自变量对目标函数的影响规律,从而寻求操作参数的最佳范围,是符合生产和研究需要的一种快捷有效的方法。最有代表性的是 Mesuser 和 Lengerich^[4]提出的挤压系统分析模型,把挤压过程中的变量分成自变量和因变量两大类,根据各自具体功能分类如下:涉及操作过程的过程参数如螺杆转速,物料水分,腔体温度等;涉及能量输入的系统参数如滞留时间,系统压力等;涉及物料天然特性的结构参数;以及涉及目标产品要求的目标参数。

作为组织化产品的挤出物,其品质的评价包括感官,质构,物理以及化学等多个指标,而挤压机系统本身又具有多个的操作参数。Olkku 等^[5]指出,在挤压机系统的众多变量参数给产品品质带来的影响的研究中,采用系统工程中“黑箱”的概念是解决此类问题的理想途径^[5]。响应面分析方法对于解决黑箱体问题是十分有效的^[6,7]。其基本原理是将产品的各种指标与过程参数用回归的方法加以联系,即选用适合的回归方程将输入参数与产品品质间接联系起来^[8,9]。采用的是多因素实验设计,结果以响应曲面形式给出,每个曲面描述的是一项品质指标与两个过程参数之间的关系。本研究选择了3个重要的过程参数即螺杆转速、喂料湿度和末端腔段的腔体温度,每个过程参数设置5个水平,分别以代码-1.682、-1、0、1、1.682表示。同时以挤出物的持水性指数和

质构特性为目标函数,以此来研究在双轴挤出蒸煮过程中各个操作参数对鱼肉组织化效果的影响。表1和表2为实验设计安排以及实验结果。

2 结果与讨论

本实验结果的分析采用 SPSS 11.5, 绘图采用 Matlab 6.5。

2.1 操作参数对挤出物持水性的影响

由图1可以看出,在总体范围内,进料水分越高挤出物的持水性越高,特别是在腔体温度较高

时更加明显;图2显示出在较高的螺杆转速范围内,挤出物的持水性也是随喂料湿度的增加而增大的。螺杆转速对挤出物持水性的影响可以从图2和图3观察。图2表明总体上随螺杆转速提高挤出物持水性呈下降的趋势;从图3则可以更加明显地观察到螺杆转速增加对降低挤出物持水性的作用。腔体温度的影响效果则不明显,图1所示,在大部分区间腔体温度的变化对持水性影响不明显,同样地,图3结构呈现了腔体温度的变化对持水性影响不大。

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 process variable	编码 code	编码水平 code level				
		- 1.682	- 1	0	1	1.682
进料水分(%wb) feed moisture	X_1	51.59	55	60	65	68.41
腔体温度(°C) temperature of barrel	X_2	157	160	165	170	173
螺杆转速($r \cdot \text{min}^{-1}$) screw speed	X_3	166	200	250	334	300

表2 各实验的自变量与因变量值

Tab. 2 Values of independent and dependent variables of each experiment in codes

试验编码 no.	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	试验编码 no.	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
1	1	- 1	- 1	2.38	486.75	9	0	0	0	2.23	486.35
2	1	- 1	1	2.38	485.85	10	0	0	0	2.00	486.50
3	1	1	1	2.68	486.10	11	- r	0	0	2.46	486.00
4	1	1	- 1	2.65	486.15	12	+ r	0	0	2.64	485.60
5	- 1	1	- 1	2.46	486.75	13	0	- r	0	2.37	486.05
6	- 1	1	1	1.93	498.75	14	0	+ r	0	2.33	486.35
7	- 1	- 1	1	1.93	486.70	15	0	0	- r	2.71	486.65
8	- 1	- 1	- 1	2.93	486.48	16	0	0	+ r	2.38	486.75

注: Y_1 为挤出物持水性指数; Y_2 为挤出物质构特性($\times 9.81 \text{ N}$), $r = 1.682$

Notes: Y_1 means index of extrudate water holding capacity; Y_2 means texture profile of extrudate, $r = 1.682$

关于进料水分对挤出物持水性的影响未见类似的研究报道,本研究结果表明,提高供料湿度能够增大挤出物的持水性。螺杆转速与物料在挤出机内的滞留时间有直接关系,物料在挤压腔体内的滞留时间是影响挤出效果的重要参数,增加螺杆转速势必降低了滞留时间,物料受重新质构作用的时间减少,从而影响到持水性指数。在本实验中腔体温度对挤出物持水性影响不大,这仅表明该研究的参数范围内特别是温度对挤出物组织化的影响不大。事实上受腔体温度所影响的物料温度与物料在挤压腔内的滞留时间对食品挤压蒸煮效果的影响同样重要。

2.2 操作参数对复水挤出物质构的影响

图4和图5都显示出增加进料水分对降低复

水挤出物质构特性的作用,在低水分高温区间内质构特征值最大。如图4所示,在较低喂料湿度区域内,腔体温度的升高导致质构特征值增加的作用,而在大部分区域内腔体温度没有明显作用,图6显示,随着腔体温度的增加,质构特征值也随之加大。从图5可以观察到除了在低喂料湿度范围内,螺杆转速增加质构特性略有增加外,大部分喂料湿度区间内,螺杆转速对复水挤出物质构特性的影响不明显,图6同样显示不明显的影响效果。进料水分对质构特性的影响最大,增大喂料湿度引起质构特征下降,相反腔体温度的升高能够加大质构特征。在该实验参数范围内,螺杆转速对质构特性的影响不明显。

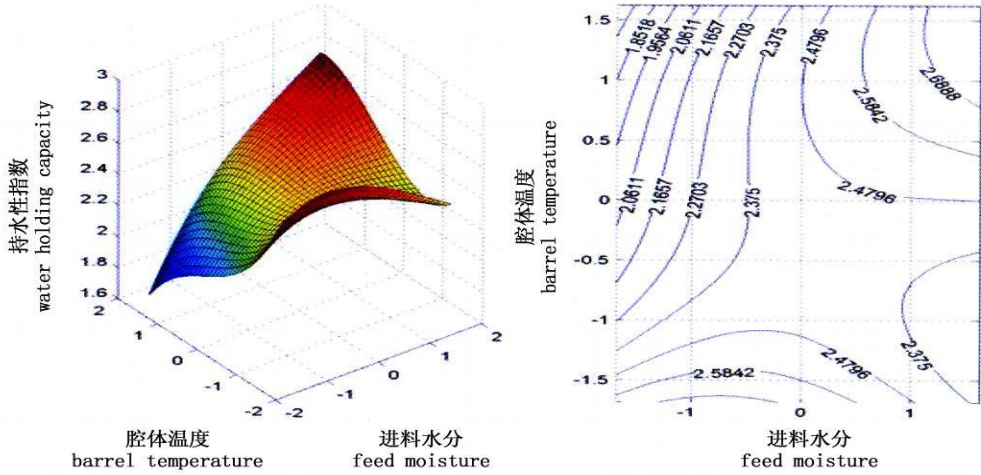


图 1 进料水分和腔体温度对挤出物持水性的影响

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

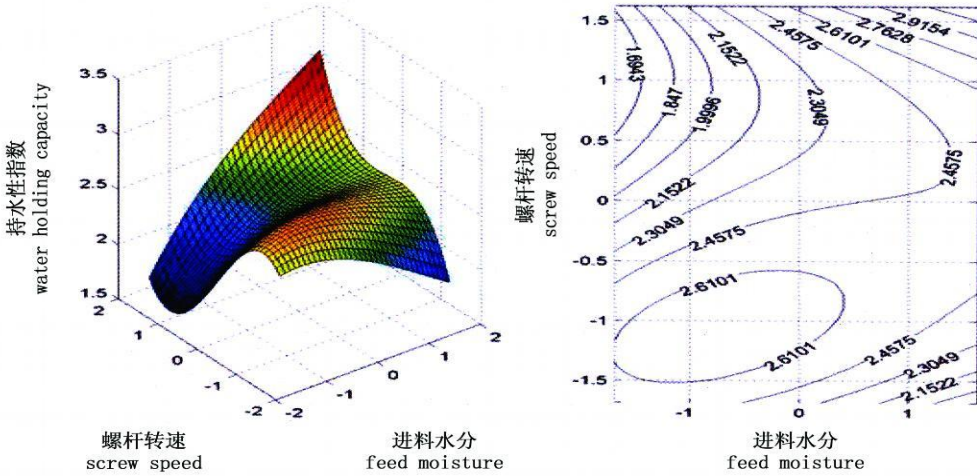


图 2 进料水分和螺杆转速对挤出物持水性的影响

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

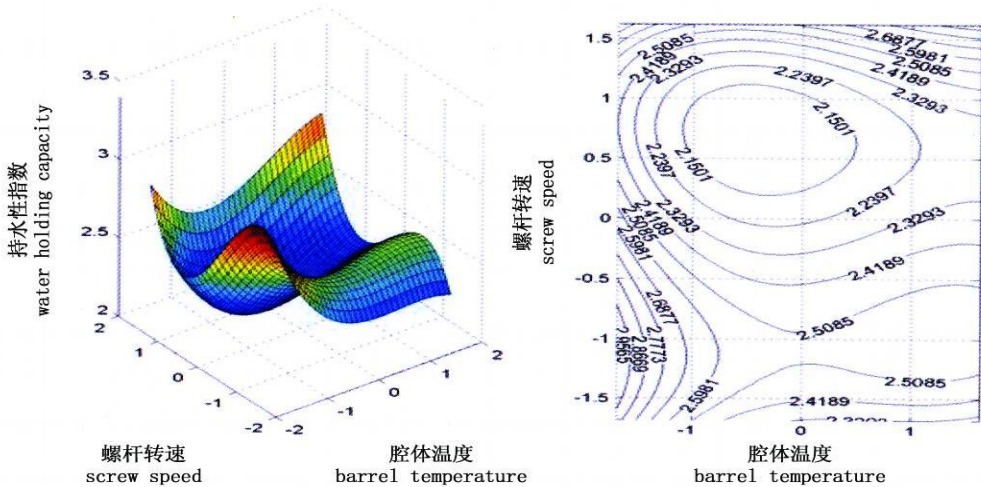


图 3 腔体温度和螺杆转速对挤出物持水性的影响

Fig. 3 Effect of barrel temperature and screw speed on extrudate water holding capacity.

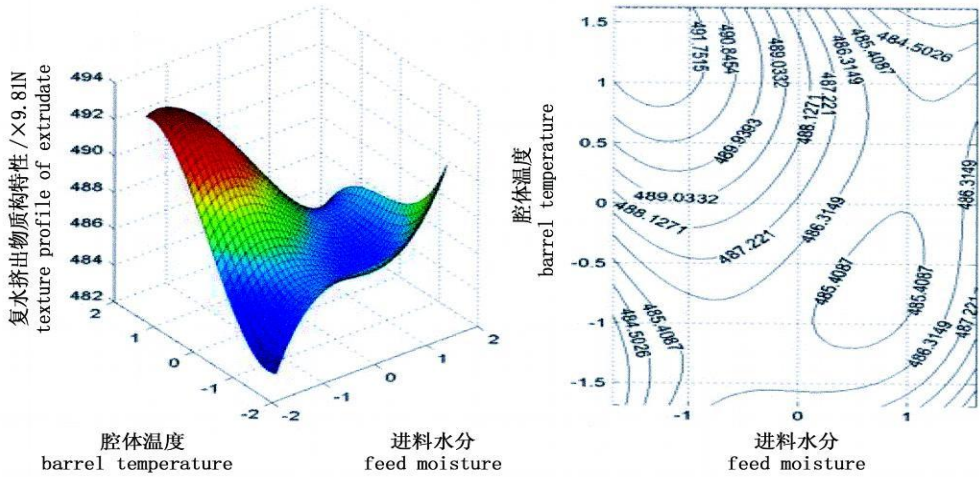


图4 进料水分和腔体温度对组织化产物质构的影响

Fig.4 Effect of feed moisture and barrel temperature on the texture profile of extrudate

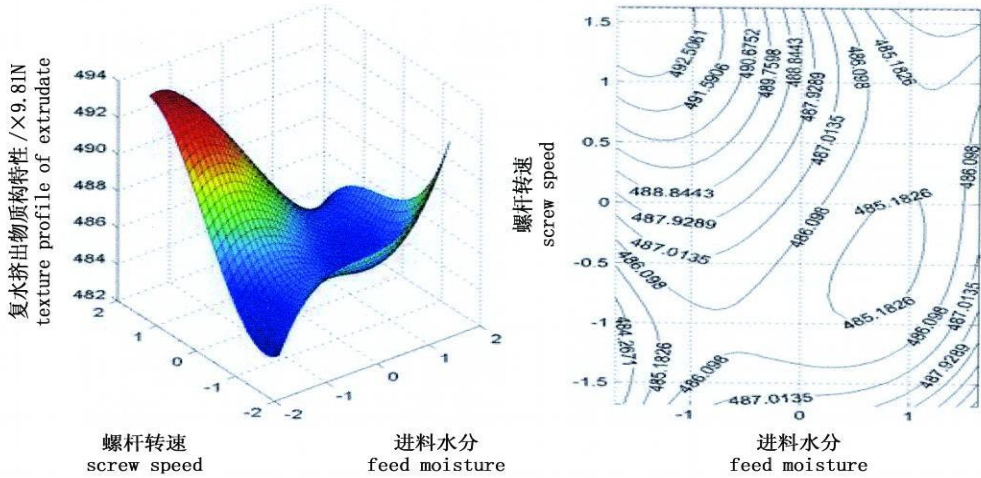


图5 进料水分和螺杆转速对组织化产物质构的影响

Fig.5 Effect of feed moisture and screw speed on the texture profile of extrudate

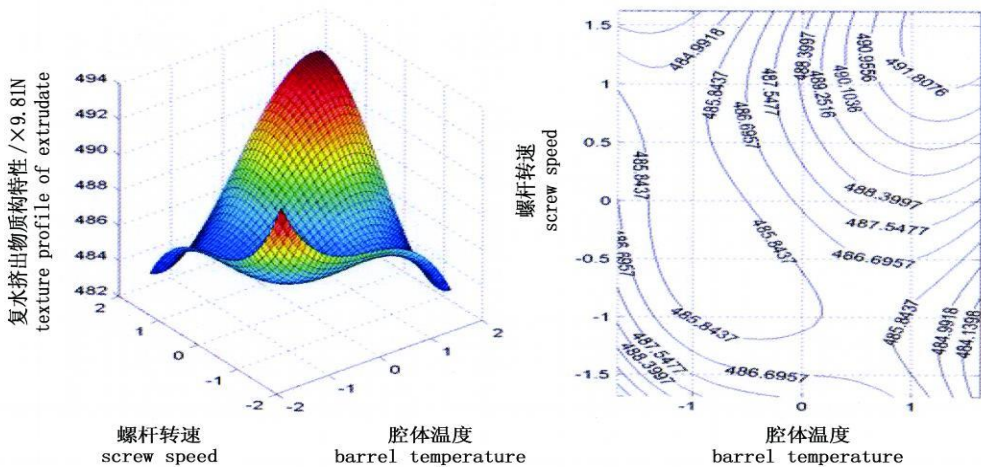


图6 螺杆转速和腔体温度对组织化产物质构的影响

Fig.6 Effect of screw speed and barrel temperature on the texture profile of extrudate.

2.3 持水性指数与操作参数的回归方程的拟合用 SPSS 软件进行分析处理, 得到持水性指数与操作参数的回归方程的拟合结果如下:

$$Y_1 = 2.227 + 0.088X_1 + 0.063X_2 - 0.352X_3 + 0.130X_1X_2 + 0.195X_1X_3 + 0.062X_2X_3 - 0.002X_1^2 + 0.096X_2^2 + 0.101X_3^2 - 0.055X_1X_2X_3 + 0.017X_1^3 - 0.051X_2^3 + 0.164X_3^3$$

$R^2 = 1.000$, 说明该方程可信度极高, 利用该拟合方程可以根据对挤出物持水性的需要设计操作参数, 也可以根据操作参数预测产物的持水性。

2.4 质构特性与操作参数的回归方程的拟合质构特性与操作参数的回归方程的拟合结果如下:

$$Y_2 = 486.014 - 2.592X_1 + 2.242X_2 + 2.131X_3 - 1.584X_1X_2 - 1.647X_1X_3 + 1.587X_2X_3 + 0.431X_1^2 + 0.281X_2^2 + 0.519X_3^2 - 1.366X_1X_2X_3 + 0.864X_1^3 - 0.745X_2^3 - 0.722X_3^3$$

$R^2 = 0.933$, 可信度较高。利用该拟合方程可以根据对挤出物质构特性的需要设计操作参数, 也可以根据操作参数预测产物的质构特性。

3 结论

所研究的三个操作参数对组织化产物功能特性的影响效果是不同的。研究表明, 进料湿度对持水性和质构特性都有影响。螺杆转速对持水性有影响, 对质构特性则没有明显影响。腔体温度对持水性影响不大, 对质构特性有影响。所得到的回归拟合方程相关性好, 可靠性高。拟合模型方程的建立一方面可以根据操作参数预测鱼肉挤压组织化产物的功能特性, 另一方面, 也可以

根据对挤出物功能特性的需要确定合理的操作参数。

研究表明, 利用响应面分析方法, 通过控制操作参数是可以优化挤出产物的特性的。研究中所采用的质构测定方法有一定局限性, 进一步的研究需要结合感官评价以及其它两种以上评价方法来完善对组织化产物质构的评价。

大连水产学院食品 2000 级张舒, 周丽敏参加工作, 谨表谢意!

参考文献:

- [1] Eerkainen T, Linko P. Extrusion cooking modeling, control, and optimization[A]. In: Mercier C, Linko P, Harper J M. Extrusion cooking[M]. St. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, Inc, 1989, 157- 203.
- [2] 高福成. 食品加工过程模拟, 优化, 控制[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
- [3] 刘俊荣. 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.
- [4] Meuser F, Lengerich V B. System analytical model for the extrusion of starches[A]. In: Zeuthen P, Cheftel J C, *et al.* Thermal processing and quality of foods[M]. London and New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1984. 175- 179.
- [5] Olkku J, Hagqvist A and Linko P. Steady-state modeling of extrusion cooking employing response surface methodology[A]. In: Jowitt R. Extrusion cooking technology[M]. London and New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1983. 27- 50.
- [6] El-Dash A A, Gonzales R, Ciol M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch[A]. In: Jowitt R. Extrusion cooking technology[M]. London and New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1983. 51- 74.
- [7] Skesinski A J, Claus J R. Response surface methodology for reduction of pinking in cooked turkey breast mince by various dairy combinations[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(3): 421- 427.
- [8] 张润楚, 郑海涛, 兰 燕, 等(译). 试验设计与分析及参数优化[M]. 中国统计出版社, 2003. 341- 382.
- [9] 林维宣. 试验设计方法[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 1995. 267- 273.