

文章编号: 1000-0615(2005)02-0258-05

鱼肉蛋白质在双轴湿挤压过程中 系统运行稳定性的拟合模型

刘俊荣^{1,2}, 薛长湖¹, 佟长青², 俞微微², 谢智芬², 李盛德²

(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)

摘要:利用 Cletral BC-45 型双轴挤出蒸煮机对鱼肉蛋白质进行湿挤压蒸煮处理, 研究挤压蒸煮操作的过程参数对挤压机系统运行稳定性的影响。主要研究的 3 个操作参数分别是末段腔体温度, 螺杆转速以及喂料湿度。采用可旋转中心复合设计, 每一个变量设 5 个水平。运行电流为目标函数, 记录每个运行过程中相应的电流读数。研究结果用响应面分析方法进行分析, 得到响应曲面和等高线。建立回归拟合方程。结果表明, 螺杆转速和喂料湿度对挤压机系统运行均有影响, 提高螺杆转速和喂料湿度都会降低系统运行电流。在本实验范围内的腔体温度对系统运行的影响不明显。系统运行电流对所研究的 3 个操作参数的回归拟合方程的相关系数 $R^2 = 0.992$, 拟合的统计模型具有很高的可信度。

关键词:湿挤压; 操作参数; 系统运行电流; 拟合

中图分类号: S986

文献标识码: A

Simulation of running stability in a twin screw extruder for wet extrusion of fish protein

LIU Jun-rong^{1,2}, XUE Chang-hu¹, TONG Chang-qing²,

YU Wei-wei², XIE Zhi-fen², LI Sheng-de²

(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)

Abstract: A Cletral BC-45 laboratory-scale twin-screw extruder was used together with central composite design to study the effect of extrusion cooking process parameters on running stability of the extruder indicated by running current. Process variables examined were barrel temperature in the last zone, screw rotation speed and feed moisture, respectively, each at 5 levels. The system-running current readings were taken down directly from the extruder control panel during experiment-operation. The processing variables and extrusion system response parameter of the experiment were presented as response surfaces and contour lines mapped by means of response surface methodology. As shown as surfaces and contours, an increase in screw rotation speed, or an increase in the feed moisture, generally decreased the system running current significantly, while the barrel temperature has no obvious effect on the running current at the range of variables examined. Regression model was built up with a $R^2 = 0.992$, and the regression equation is highly credible.

Key words: wet extrusion; process parameter; system running current; simulation

食品加工的目的是将食品原料及半成品进行一系列化学和物理的处理, 生产出预期的产品, 并获得附加值。为了实现对一个食品加工过程的模

拟和操作控制。采取定量的方式即用数学模型来表达系统的构造以及输入和输出变量之间的关系, 即建立数学模型是必要的^[1]。物料水分含量

收稿日期: 2004-05-20

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, 副教授, 博士生, 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: ljunrong@dlfu.edu.cn

超过 40% 的挤压称之为湿挤压, 食品湿挤压的应用具有极其广阔应用前景^[2]。挤压蒸煮技术对低值鱼蛋白的质构重组作用在开发新产品方面极具潜力^[3]。了解挤压系统中各个重要的输入和输出变量对于研究挤压蒸煮理论是十分必要的^[4]。挤压机在运转过程中, 物料水分的变化, 螺杆转速的变化, 温度的变化等, 都会引起转矩的变化, 每当螺杆转矩增大时, 运行电流就会增大, 系统运行电流是挤压机重要的输出变量之一。根据 Meuser 的系统分析模型, 系统运行电流作为系统参数是螺杆转速, 送料速率, 腔体温度以及螺纹结构等过程参数的函数^[5]。喂料湿度的变化, 物料配方的变化都会迅速造成系统运行电流的波动, 电流作为因变量是判断系统是否稳定运行的一个指标。影响挤压机系统运行电流的因素很多, 不仅有来自各个操作参数的影响, 物料在挤压腔内流动状况的波动等都将给系统运行电流带来影响, 换言之, 系统运行电流能够很好地反映挤压机系统运行的状况^[6]。

1 主要设备, 材料与方法

1.1 双轴挤出蒸煮机

设备采用 CletralBC-45 型同向旋转完全啮合自洁式双轴挤压机, 有效工作螺杆长为 1 000 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, 1 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 5 个工作腔段构成。每个腔段长为 200 mm。控制系统为可编程序逻辑控制器系统, 可以监测控制各个操作参数如电流, 压力, 螺杆转速, 固体、液体送料, 各个工作段的温度等。

1.2 材料

研究采用的碎鱼肉均来自大连海洋食品公司, 是鱼产品加工的副产品即废弃边角料, 经骨刺分离收集碎肉待用。

1.3 系统运行电流

CletralBC-45 型双轴挤压机控制系统为可编程序逻辑控制器系统, 可以监测控制各个操作参数如电流, 轴向压力, 螺杆转速, 固体送料, 液体送料, 各个工作段的温度等。本研究的系统运行电流由控制柜上直接读取。

1.4 试验方案

双螺杆挤出蒸煮机是一个多输入多输出的系统, 挤压蒸煮过程的影响因素较多, 挤压蒸煮机系统的众多操作参数给挤出系统及产品带来的影响都是不确定的。在食品挤压理论研究中, 响应面方法是很有效的方法^[7-9]。其基本原理是将各种应变量与自变量即过程参数用回归的方法加以联系, 再选用适合的回归方程将输入变量与输出变量间接联系起来^[10,11]。多因素实验结果以响应曲面形式给出, 每个曲面描述的是一个因变量与两个过程参数之间的关系。

根据 Mesuser 等的系统分析模型, 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分为结构参数、操作参数、系统参数和物性参数等。针对本研究所采用的挤出机的特点, 我们选择螺杆转速, 喂料湿度和末端腔段的腔体温度等 3 个操作参数进行研究, 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, 以系统运行电流为目标函数, 以此来研究在双轴挤出蒸煮中的过程参数对挤出机系统运行情况的影响。

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	编码变量水平 coded variable 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(℃) temperature of barrel	X_2	157	160	165	170	173
螺杆转速($r \cdot \min^{-1}$) 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 experiment no.	X_1	X_2	X_3	Y	试验编码 experiment no	X_1	X_2	X_3	Y
1	1	-1	-1	35	9	0	0	0	26
2	1	-1	1	19	10	0	0	0	26
3	1	1	1	18	11	-r	0	0	53
4	1	1	-1	31	12	+r	0	0	28
5	-1	1	-1	60	13	0	-r	0	36
6	-1	1	1	34	14	0	+r	0	36
7	-1	-1	1	34	15	0	0	-r	45
8	-1	-1	-1	52	16	0	0	+r	24

注: Y 为系统运行电流(A)

Notes: Y means system running current(A)

2 结果与讨论

本实验结果的分析采用 SPSS11.5, 绘图采用 Matlab6.5。

2.1 各个操作参数对系统运行电流的影响

通过对鱼肉蛋白质进行湿挤压研究, 所研究的各个操作参数对 Cleextral BC45 双轴挤出机系统运行稳定性的影响结果从响应曲面图和等高线都可以得到十分清楚的结论。图 1 和图 2 明显描绘出系统运行电流随着供料湿度的升高而呈现下降的趋势。从图 2 可以看出螺杆转速的增大导致系统运行电流的降低, 特别是在高湿喂料区间这个关系更加明显; 图 3 则鲜明的显示出随着螺杆转速的增加系统运行电流则显著降低。至于腔体温度对系统运行电流的影响可以从图 1 和图 3 的曲面图以及相应的等高线进行分析, 在本研究范围内腔体温度的波动对于系统运行没有产生明显的影响。

2.2 分析与讨论

系统运行电流的波动是螺杆所承受转矩的直接反映, 转矩与物料在腔体内的流动状况是分不开的。流体粘度越大, 流动时所产生的粘滞阻力越大, 螺杆承受的转矩也就越高, 系统负荷就会上升, 因此电流升高。当增大供料湿度时, 水分的润滑作用导致物料粘度下降, 从而流动阻力减少, 必然降低所需能耗, 同时螺杆所承受扭矩的降低导致运行电流下降。同样地可以进一步推理分析, 腔体温度升高导致物料升温, 进而降低物料的粘度, 这样一来流动所产生的粘滞阻力也会相应减少, 系统运行电流也应该越小, 可是本研究结果显示腔体温度的变化似乎对运行没有显著影响, 这

仅表明在本实验研究设定的各个参数范围内, 腔体温度对改变物料的粘度没有大的效果, 因此表现为对系统运行带来的影响也不大, 这绝非表明腔体温度对系统运行没有影响。食品原料大多为非牛顿型流体, 具有非牛顿型流动特征。高分子聚合物的食品原料均属于假塑性流体, 即粘度随着剪切速率的增大而下降, 提高螺杆转速直接加大对物料的剪切作用从而导致物料粘度下降。由螺杆转动输入挤压系统的机械能主要消耗增加物料压力及对物料进行剪切而产生的机械能粘性耗散, 这部分机械能转变成热能传给物料^[12]。由此可以解释随着螺杆转速的增加, 对物料剪切作用增强, 导致物料的粘度降低, 螺杆承受的转矩下降从而系统运行电流下降。

2.3 运行电流与操作参数的回归方程的拟合

用 SPSS 软件处理结果, 得到 Cleextral BC-45 型双轴挤出机的操作参数对系统运行电流的拟合方程为:

$$Y = 26.438 - 10.824X_1 + 0.580X_2 - 10.701X_3 - 1.625X_1X_2 + 1.875X_1X_3 - 0.625X_2X_3 + 4.518X_1^2 + 2.928X_2^2 + 2.397X_3^2 + 1.375X_1X_2X_3 + 1.199X_1^3 - 0.205X_2^3 + 1.576X_3^3。$$

$$R^2 = 0.992 \text{ 说明该方程可信度极高。}$$

3 结论

Cleextral BC-45 型双轴挤出机在对鱼肉蛋白质进行湿挤压过程中, 螺杆转速, 供水速率两个操作参数对于系统运行电流都有明显的影响, 螺杆转速和喂料湿度的提高对于系统运行电流都具有显著的降低作用。作为一个重要的操作参数, 腔体温度在本研究中对系统运行电流的影响不大,

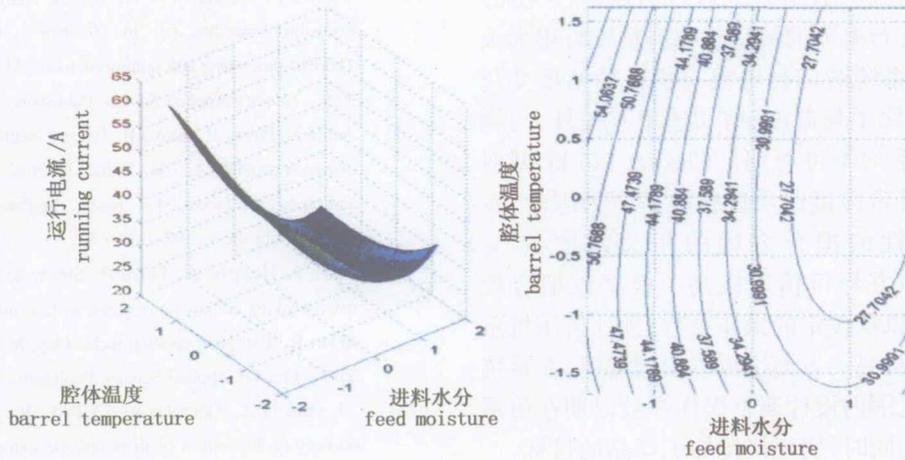


图 1 进料水分和腔体温度对运行电流的影响
 Fig.1 Effect of feed moisture and barrel temperature on running current

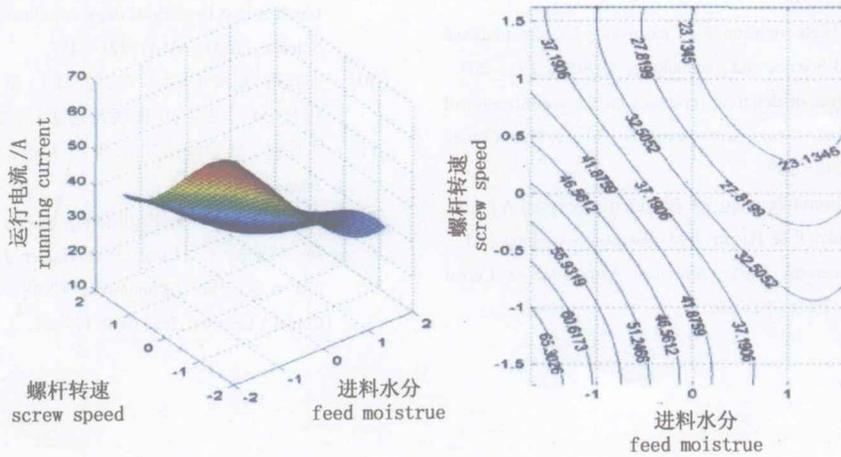


图 2 进料水分和螺杆转速对运行电流的影响
 Fig.2 Effect of feed moisture and screw speed on running current

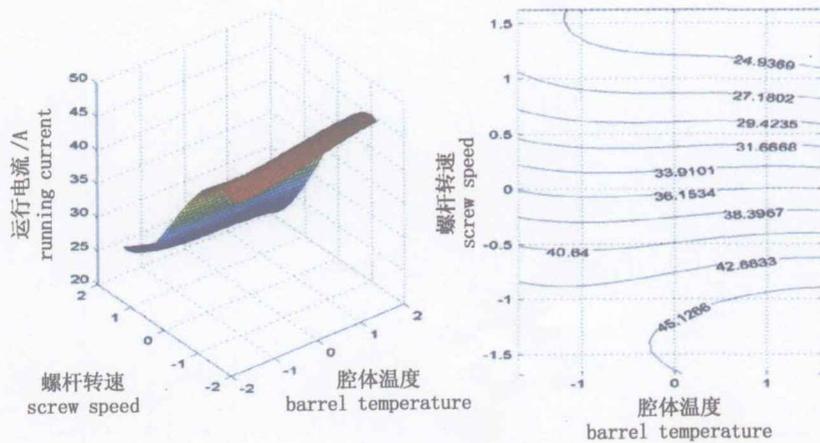


图 3 腔体温度和螺杆转速对运行电流的影响
 Fig.3 Effect of barrel temperature and screw speed on running current

但这不能断言该参数与系统运行的稳定性无关。挤压机系统运行电流的波动与物料粘度有很大关系,整个挤压系统的运行电流与物料的粘度变化有关,而粘度除了与湿度、剪切速率有关外,与物料温度的关系均不可忽略。Clextral BC-45 型双轴挤出机在对鱼肉蛋白质进行湿挤压处理时,系统运行稳定性的拟合方程的相关系数 $R^2 = 0.992$,说明该方程可信度极高。根据该拟合模型,一方面可以从设定的操作参数,预计挤压机系统的运行情况,另一方面也可以根据需要在系统允许的负荷范围内设计调整操作参数以期在使系统平稳运行的同时,实现挤压加工产品的目标。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Akdogan H. High moisture food extrusion[J]. International Journal of Food Science and Technology, 1999,34,195-207.
- [3] Junrong L. Effect of defatting processes on the texturization of fish protein using a twin screw extruder[J]. J Fish China, 1999,23(3): 283-289.
- [4] Harper J M. Instrumentation for extrusion processes[A]. In: Mercier C, Linko P & Harper J M. Extrusion cooking [M]. St. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, Inc. 1989. 39-55.
- [5] 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.
- [6] Antila J, Pipatti R, Linko P. Process control and automation in extrusion cooking[A]. In: Zuthen P, et al. Thermal processing and quality of foods[M]. Essex, England: Elsevier Applied Science Publishers, 1983. 44-53.
- [7] Oikku J, Hagqvist A, 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.
- [8] 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.
- [9] Slesinski A J, Claus J R, Anderson-Cook C M, et al. 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.
- [10] 张润楚,郑海涛,兰 燕,等(译). 试验设计与分析及参数优化[M]. 北京:中国统计出版社,2003.341-382.
- [11] 林维宣. 试验设计方法[M]. 大连:大连海事大学出版社,1995. 267-273.
- [12] Janssen L P B M. Engineering aspects of food extrusion[A]. In: Mercier C, Linko P & Harper J M. Extrusion cooking [M]. St. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, Inc.1989.17-37.