

高水分组织蛋白挤压工艺参数对系统参数 及其物理特性的影响

Effects of high moisture protein extrusion process parameters on the influence
of system parameters and its physical characteristics

高 扬¹ 卢淑雯¹ 任传英¹ 洪 滨¹

GAO Yang¹ LU Shu-wen¹ REN Chuan-ying¹ HONG Bin¹

李家磊¹ 王崑仑¹ 解铁民²

LI Jia-lei¹ WANG Kun-lun¹ XIE Tie-min²

(1. 黑龙江省农业科学院食品加工研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086;

2. 沈阳师范大学粮食学院, 辽宁 沈阳 110034)

(1. Food Processing Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086, China;

2. Shengyang Normal University, College of Grain Science and Technology, Shengyang, Liaoning 110034, China)

摘要:以不同物料配比、水分含量和挤压温度条件下生产的高水分植物组织化蛋白产品为对象,研究挤压工艺参数对挤压输出的系统参数、产品质构特性和颜色特性的影响。结果表明,物料配比和物料含水量对模头压力、扭矩和单位机械能耗影响显著,分离蛋白含量与这 3 个参数呈正相关,而与物料水分含量呈负相关;在产品质构方面,物料的配比、含水量对质构参数有显著影响;在产品颜色方面,物料配比和含水量对产品亮度有显著影响,物料配比中的分离蛋白含量越高,亮度越低,而含水量越高,亮度越高。说明通过改变物料的配比及其含水量可以得到不同物理特性的蛋白产品,丰富产品种类,为高水分组织化蛋白产品的生产应用提供一定的理论依据。

关键词:高水分组织蛋白;挤压工艺参数;系统参数;物理特性

Abstract: The influence of different extrusion conditions for texturized vegetable protein on the extrusion parameters, texture characteristics and color characteristics was studied. The results showed that the composition and moisture content of the material on the extrusion parameters was significantly. Higher soy protein isolate content resulted in higher die pressure, die temperature, specific mechanical energy. Higher moisture content of the material resulted in lower die pressure, die temperature, specific mechanical energy. The

effect of the composition and moisture content of the material on the texture characteristics was significantly. The effect of the composition and moisture content of the material on the color characteristics was significantly. The study offers a theory fermentation for Production and application of high moisture textured vegetable protein.

Keywords: high moisture meat analogue; extrusion process parameters; system parameters; physical properties

人们日常所摄入的蛋白质主要来源于动物性蛋白和植物性蛋白,动物性蛋白中含有大量的胆固醇和饱和脂肪酸,易引起肥胖,加重人体负担,增添病源。而植物性蛋白中几乎不含有脂肪,并且具有独特的功能特性,加之其资源丰富、价格低廉,近年来被广泛应用于食品加工领域^[1]。植物性蛋白中,大豆蛋白和小麦蛋白的必需氨基酸含量丰富,营养价值可与动物蛋白媲美,具有很大的利用空间^[2-4]。以植物性蛋白为原料,采用挤压加工组织化重组技术可生产出类似于肉的组织结构的植物组织化蛋白。挤压植物组织化蛋白产品分为高水分植物组织化蛋白(水分含量>50%)和低水分植物组织化蛋白(水分含量<40%)。目前,低水分植物组织化蛋白产品已经在食品行业中被广泛应用,该蛋白产品需复水后才可食用,且纤维结构不明显,咀嚼性较差,与肉的口感大相径庭^[5]。而高水分植物组织化蛋白由于具有类似肉的纤维结构,因此其口感与肉更为相近,该蛋白产品还具有良好的持水性、保油性,其部分物理特性与肉相似^[6-7]。因为高水分挤压蛋白具有这些特点,使得高湿挤压技术越来越受到关注。目前国际上仅美国、欧洲等几个国家的少数企业在

作者简介:高扬(1984—),男,黑龙江省农业科学院食品加工研究所助理研究员,硕士。E-mail: gao20031026@163.com

收稿日期:2015—11—09

进行高水分植物组织化蛋白产品的生产,中国对该技术的研究仍处于理论阶段。

随着该项技术相关应用的不断扩展,针对高水分植物组织化蛋白的理化特性、质构特性等问题的相关研究也在逐步进行^[8]。在挤压加工过程中,高水分挤压组织化蛋白产品的理化特性及质构特性受挤压过程参数的影响。挤压过程参数分为工艺参数和系统参数^[9-10]。工艺参数包括螺杆转速、喂料速度、机筒温度等。系统参数包括模头压力、扭矩、单位机械能耗等^[11-12]。康立宁等^[13]研究了大豆蛋白高水分挤压组织化过程中操作参数对单位机械能耗的影响,发现机筒温度、物料水分含量、喂料速度和螺杆转速等操作参数对挤压机单位机械能均具有显著的影响。与此同时,原料的组成及配比也是影响高水分挤压组织化蛋白产品的一个重要因素。王洪武等^[14]研究了大豆蛋白原料体系对挤压组织化的影响,发现原料中各组分的理化性质和辅料的添加都会对挤压加工过程有不同程度的影响。目前,关于高水分挤压组织化蛋白的研究大多都是将原理体系和操作参数分开研究,本试验是将原料体系和设备操作参数作为影响因素,综合考虑不同工艺参数对挤压系统参数和蛋白产品物理特性的影响。

本试验主要以不同物料配比、水分含量和机筒温度为影响因素,研究不同挤压工艺参数对挤压输出的系统参数、颜色特性和产品质构特性的影响。旨在完善高水分挤压组织化理论和技术体系,为高水分植物组织化蛋白产品的开发以及其工艺的研究提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

大豆分离蛋白:哈高科大豆食品有限公司;
谷朊粉:陕西聚梁食品有限公司。

1.2 仪器设备

双螺杆挤压机:FMHE-50 型,湖南富马科食品工程技术有限公司;

质构仪:TA.XT Plus 型,英国 Stable Micro System 公司;

色彩色差计:CR-400 型,柯尼卡美能达公司。

1.3 方法

1.3.1 样品准备与试验数据采集 挤压设备螺杆构型见图 1。在挤压机的螺杆转速为 300 r/min,喂料速度为 2 kg/h 的工艺参数条件下,开机稳定出料 20 min 后,将机器设定为自动采集数据,且时间间隔为每秒一次,并对挤压机扭矩、模头压力、模头温度等数据进行记录,得到数据后计算其平均值。在各个条件下收集样品,室温 25 ℃ 下,冷却 15 min 后进行质构测定。

1.3.2 单位机械能耗测定 单位机械能耗按式(1)计算:

$$SME = \frac{2\pi nT}{Q}, \tag{1}$$

式中:

SME ——单位机械能耗,kJ/kg;

n ——螺杆转速,r/min;

T ——扭矩,N·m;

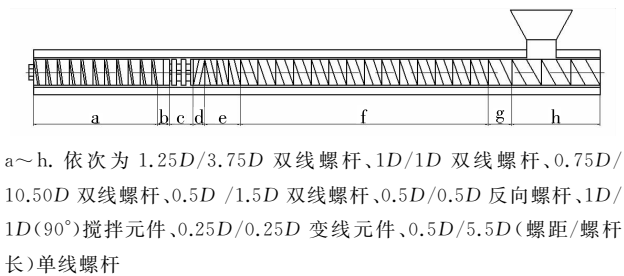


图 1 螺杆构型图
Figure 1 The screw configuration of extruder

Q——挤压机稳定时的产量,kg/min。

1.3.3 质构测定 本试验蛋白产品的硬度、咀嚼度、弹性、凝聚力、粘弹性等采用 TA.XT Plus 型物性测试仪进行测定。采用 TPA 模式,P/50 探头,测试前速度 2.0 mm/s,测试速度 2.0 mm/s,测试后速度 3.0 mm/s,下压程度 50%。测试样品宽度 2.5 cm。每个样品测量 3 次,并计算平均值。

1.3.4 颜色测定 测定前为了保证数据的准确性,采用标准板进行校正。根据 CIE(国际发光照明委员会)1976 年均匀色空间理论,确定样品的 L^* (Lightness,明度), a^* (redness,红色度), b^* (yellowness,黄色度)。在各工艺参数条件下分别取两段 10 cm 长样品进行测定,并计算平均值。

1.4 试验设计及数据处理

通过前期单因素试验确定本试验主要考察的 3 个因素,分别为分离蛋白含量、水分含量和挤压温度。试验设计采用三因素五水平的二次旋转正交试验(水平编码见表 1,试验方案见表 2),研究高水分植物组织化蛋白挤压工艺参数对系统参数及其物理特性的影响。

根据单因素试验确定各因素的上下水平后,按二次正交旋转组合设计表确定各试验组的编码与取值,见表 1。试验数据采用 SPSS 17.0 分析软件进行处理,得到最优的线性回归优化模型。

产生的二次模型为:

$$Y = A + \sum_{i=1}^4 a_i x_i + \sum_{i,j=1}^4 a_{ij} x_{ij}, \tag{2}$$

式中:

A ——常数项;

Y ——响应值;

x_1 ——分离蛋白含量,%;

x_2 ——物料水分含量,%;

x_3 ——挤压温度,℃。

表 1 试验水平编码表			
Table 1 Code of experimentation			
编码	x_1 分离蛋白含量/%	x_2 水分含量/%	x_3 模头温度/℃
-1.68	0.0	60	120
-1	15.0	62	128
0	37.5	65	140
1	60.0	68	152
1.68	75.0	70	160

表 2 试验方案

Table 2 Scheme of experimentation

序号	x_1	x_2	x_3
1	−1	−1	−1
2	−1	−1	1
3	−1	1	−1
4	−1	1	1
5	1	−1	−1
6	1	−1	1
7	1	1	−1
8	1	1	1
9	−1.68	0	0
10	1.68	0	0
11	0	−1.68	0
12	0	1.68	0
13	0	0	−1.68
14	0	0	1.68
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0

2 结果与分析

2.1 挤压工艺参数对挤压系统参数的影响

2.1.1 对模头压力的影响 水分含量、套筒温度、原料的改变都会影响物料的黏性,导致压力改变,通过使用操作参数水分、挤压温度、改变原料配比可以很好地拟合并控制压力的变化。由表 3 可知,随着分离蛋白含量的增加,模头的压力有明显的升高;而水分的含量与压力呈负相关;温度对压力影响较小。通过数据分析得到模型的相关系数 R^2 为 0.814,说明该方程拟合较好,但该方程不能完全描述模头压力的变化,说明其还受到其他因素的影响。

2.1.2 对模头温度的影响 从表 3 可以看出,模头温度与分离蛋白含量的平方项呈负相关,而与套筒温度呈正相关。模型的相关系数 R^2 为 0.889,说明该方程拟合较好,因此通过改变挤压工艺参数可以很好地控制蛋白产品的出料温度。

2.1.3 对扭矩的影响 从表 3 可以看出,挤压机扭矩与物料水分含量、挤压温度的平方项呈负相关,与分离蛋白含量和物料水分含量的平方项呈正相关。依照 Martelli^[15] 的相关理论,增加物料的水分含量或者提高挤压温度都可以降低物料在套筒中的黏度,从而降低挤压机扭矩;而增加原料中分离蛋白的含量可以增加物料在套筒中的黏度,增加挤压机的扭矩。模型的相关系数 R^2 为 0.937,说明该方程拟合较好。

2.1.4 对单位机械能耗的影响 单位机械能耗(SME)是表示挤压机输入物料的机械能量,也是表示物料的内摩擦因子和机筒内物料的数量,是对挤压过程的一种表征。单位机械能耗值表示原料在挤压过程中发生分子分解或降解的程度,单位机械能耗是产品放大的重要指标。Meuser 等^[16] 以比机械能输入和模头处物料温度为放大准则,以溶解指数为考察指标,成功将直径为 37 mm 的双螺杆挤压机的试验结果在直径为 120 mm 双螺杆挤压机上进行了放大。从表 3 中可以看出,单位机械能耗与物料水分含量呈负相关,而与原料中分离蛋白含量、挤压温度、物料水分含量的平方项呈正相关,模型的相关系数 R^2 为 0.924,方程的拟合程度较好。

原料中大豆分离蛋白和谷朊粉配比的改变和物料含水量对模头压力、扭矩和单位机械能耗都有非常明显的影响,分离蛋白含量与这 3 个参数呈正相关,而与物料水分含量呈负相关。挤压温度对模头温度以及单位机械能耗都有影响。

表 3 模头压力、模头温度、扭矩和比机械能的回归系数[†]

Table 3 Regression equation coefficients for product temperature, die pressure, percent of torque

变量	模头压力/Pa	模头温度/℃	扭矩/%	比机械能/ (kJ · kg ^{−1})
A	10 348.54	130.234	6.526	66.405
x_1	4 131.49 * * *	ns	0.309 * * *	19.128 * *
x_2	−7 746.65 * * *	ns	−0.628 * * *	−52.106 * * *
x_3	ns	5.273 *	ns	10.645 *
x_1^2	ns	−3.028 *	ns	ns
x_1x_2	ns	ns	ns	ns
x_1x_3	ns	ns	ns	ns
x_2^2	ns	ns	0.394 * * *	17.006 * *
x_2x_3	ns	ns	ns	ns
x_3^2	ns	ns	−0.26 * *	ns
R^2	0.814	0.889	0.937	0.924

[†] *, * *, * * * 分别代表显著性 $P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.001$; ns 代表不显著。

2.2 对品质构的影响

由表 4 可知,原料中分离蛋白含量的增加与产品的硬度、胶黏性和咀嚼性呈正相关,与产品的黏附性呈负相关;物料水分含量与硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性呈负相关;而温度与凝聚力和黏弹性呈正相关。质构特性中,蛋白产品的硬度、胶黏性和咀嚼性模型的相关系数 R^2 分别为 0.787, 0.890, 0.845,方程的拟合程度较好,但该方程不能完全描述以上质构特性的变化,说明还受到其他因素的影响。

在产品质构方面,物料的配比、含水量对大多数质构参数有显著影响,其中物料含水量影响更加显著,挤压温度只对凝聚力和黏弹性有影响。

2.3 对产品颜色的影响

由表 5 可知,原料中分离蛋白含量、物料水分含量对产品的亮度(L^*)有着比较显著的影响;而这 3 个条件对黄绿值(a^*)影响不大;黄蓝值(b^*)只受到挤压温度的影响。Jin

表 4 产品质构的回归系数

Table 4 Regression equation coefficients for texture							
变量	硬度	黏附性	弹性	凝聚力	胶黏性	咀嚼性	黏弹性
A	9 876.514	−5.460	0.453	0.747	7 045.008	3 103.15	0.417
x_1	2 095.087 * *	−2.248 *	ns	ns	1 390.369 * * *	473.794 *	ns
x_2	−2 501.356 * *	ns	−0.048 *	ns	−1 687.57 * * *	−1 033.73 * * *	ns
x_3	ns	ns	ns	0.070 *	ns	ns	0.046 *
x_1^2	−1 771.035 * *	ns	ns	ns	−1 367.24 * * *	−691.463 * * *	−0.046 *
x_1x_2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
x_1x_3	ns	ns	ns	ns	−1 070.531 *	−676.147 *	ns
x_2^2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
x_2x_3	ns	2.019 *	ns	ns	ns	ns	ns
x_3^2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
R^2	0.787	0.446	0.431	0.323	0.890	0.845	0.581

† * , * * , * * * 分别代表显著性 $P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.001$; ns 代表不显著。

表 5 颜色的回归系数[†]

Table 5 Regression equation coefficients for lightness, redness, and yellowness

变量	L^*	a^*	b^*
A	70.141	0.820	20.706
x_1	−2.126 * * *	ns	ns
x_2	1.819 * * *	ns	ns
x_3	ns	ns	−0.913 * *
x_1x_1	ns	ns	ns
x_1x_2	ns	ns	ns
x_1x_3	−1.046 * *	0.221 * *	ns
x_2x_2	ns	ns	−0.772 * * *
x_2x_3	0.633 *	ns	ns
x_3x_3	ns	ns	0.536 *
R^2	0.910	0.684	0.697

† * , * * , * * * 分别代表显著性 $P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.001$; ns 代表不显著。

等^[17]通过挤压玉米粉、大豆纤维、糖和盐的混合物,发现挤压原料的成分对挤出物的颜色有显著影响。 L^* 值模型的相关系数 R^2 为 0.91,说明方程的拟合程度较好,能够很好地描述亮度的变化。因此说明物料成分对高水分植物组织化蛋白产品的颜色有着显著的影响。

在产品颜色方面,物料配比和含水量对产品亮度有显著影响。物料配比中的分离蛋白含量越高,亮度越低,而含水量越高,亮度越高。挤压温度对黄蓝值(b^*)有影响,随着挤压温度的升高,蛋白产品的颜色会变深。

3 结论

(1) 原料中大豆分离蛋白和谷朊粉配比的改变和物料含水量对模头压力、扭矩和单位机械能耗都有非常明显的影响,分离蛋白含量与这 3 个参数呈正相关,而与物料水分含量呈负相关。挤压温度对模头温度以及单位机械能耗都有

影响。因此,在生产蛋白产品的过程中,提高原料配比中分离蛋白的含量,会降低产品的生产效率,而提高含水量可以增加产品生产效率。

(2) 在产品质构方面,物料的配比、含水量对大多数质构参数有显著影响,其中物料含水量影响更加显著,挤压温度只对凝聚力和黏弹性有影响。因此,在蛋白产品生产的过程中,通过调节物料的配比及含水量可得到不同质构特性的蛋白产品。

(3) 在产品颜色方面,物料配比和含水量对产品亮度有显著影响。物料配比中的分离蛋白含量越高,亮度越低,而含水量越高,亮度越高。挤压温度对黄蓝值(b^*)有影响,随着挤压温度的升高,蛋白产品的颜色会变深。

综上可得,本研究中物料的配比及其含水量对挤压输出的系统参数、产品质构特性和颜色特性有着非常显著的影响。在试验过程中,通过改变物料的配比及含水量可以得到不同物理特性的蛋白产品,为高水分组织化蛋白的生产应用提供一定的理论依据。

参考文献

[1] 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.

[2] 刘志东, 陈雪忠, 黄洪亮, 等. 高湿挤压技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(7): 424-426.

[3] 钟昔阳, 姜邵通, 潘丽军, 等. 高活性小麦谷朊粉产业化加工技术研究及其应用概述[J]. 食品科学, 2004, 25(增刊): 95-100.

[4] 励慧敏, 杨柳. 大豆组织蛋白用于猪肉丸加工工艺优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 207-210.

[5] 孙照勇, 陈锋亮, 张波, 等. 植物蛋白高水分挤压组织化技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 308-312.

[6] 魏益民, 康立宁, 张波, 等. 高水分大豆组织化生产工艺和机理分析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 193-197.

(下转第 28 页)

风味物质的作用研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(1): 175-182, 312.

[5] ALMELA E, JOSE Jordan M, MARTINEZ C, et al. Ewe's diet (pasture vs grain-based feed) affects volatile profile of cooked meat from light lamb[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(17): 9 641-9 646.

[6] 习耀, 王婵. 加热方式对鸡汤风味品质影响的研究[J]. 食品科技, 2013, 38(10): 77-82.

[7] 陈建良, 芮汉明, 陈号川. 不同鸡种的鸡肉挥发性风味特性的比较研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(10): 1 129-1 134.

[8] DASHDORJ D, AMNA T, HWANG I. Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: an overview[J]. European Food Research and Technology, 2015, 241(2): 157-171.

[9] 陈康, 李洪军, 贺稚非, 等. 不同性别伊拉兔肉挥发性风味物质的 SPME—GC—MS 分析[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 98-102.

[10] GORRIAZ C, BERIAIN M J, CHASCO J, et al. Effect of aging time on volatile compounds, odor, and flavor of cooked beef from pirenaica and Friesian bulls and heifers[J]. Journal of Food Science, 2001, 67(3): 916-922.

[11] 袁华根. 鸡肉汤香味成分鉴定及日龄、性别和胴体部位对鸡肉风味的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2007: 55-62.

[12] GU Sai-qi, WANG Xi-chang, TAO Ning-ping, et al. Characterization of volatile compounds in different edible parts of steamed Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 81-92.

[13] 朱建军, 王晓宇, 胡萍, 等. 黔式腊肉加工过程中挥发性风味物质的变化[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 20-23.

[14] MACHIELS D, ISTASSE I, VAN Ruth S M. Gas chromatography-olfactometry analysis of beef meat originating from differently fed Belgian Blue, Limousin and Aberdeen Angus bulls [J]. Food Chemistry, 2004, 86(3): 377-383.

[15] VARLET V, PROST C, SEROT T. Volatile aldehydes in smoked fish: analysis methods occurrence and mechanisms of formation[J]. Food Chemistry, 2007, 105(4): 636-656.

[16] 唐道邦, 黄彬, 黄金枝, 等. 不同卤制工艺对盐水鸡肉风味物质含量的影响[J]. 中国调味品, 2015(7): 37-42.

[17] 孙承锋, 喻倩倩, 宋长坤, 等. 酱牛肉加工过程中挥发性成分的含量变化分析[J]. 现代食品科技, 2014, 30(3): 130-136.

[18] 朱静, 师俊玲, 刘延琳, 等. 苹果中正己醇转化酶的提取及其特性研究[J]. 中国食品学报, 2010, 10(4): 73-80.

[19] PURRINOS L, BERMUDEZ R, FRANCO D, et al. Development of volatile compounds during the manufacture of dry-cured“Lacón”a spanish traditional meat product[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(1): C89-C97.

[20] SÁNCHEZ-Peña C M, LUNA G, GARCÍA-González D L, et al. Characterization of French and Spanish dry-cured hams: influence of the volatiles from the muscles and the subcutaneous fat quantified by SPME—GC[J]. Meat Science, 2005, 69(4): 635-645.

[21] YU Xiu-zhu, YANG Chen, DU Shuang-kui, et al. A new method for determining free fatty acid content in edible oils by using electrical conductivity [J]. Food Analytical Methods, 2012, 5(6): 1 453-1 458.

[22] 蒲丹丹, 孙杰, 陈海涛, 等. SDE—GC—MS 结合 GC—O 对比熟湖南腊肉和熟广东腊肉的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2015, 36(24): 131-136.

[23] 赵岑, 张立彦, 曾清清. 不同熬煮方法对鸡骨汤风味物质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(7): 314-319.

[24] ELMORE J S, COOPER S L, ENSER M, et al. Dietary manipulation of fatty acid composition in lamb meat and its effect on the volatile aroma compounds of grilled lamb[J]. Meat Science, 2005, 69(2): 233-242.

[25] LGOR J, JOSIP M, SNJEZANA T. A study of volatile flavour substances in Dalmatian traditional smoked ham; Impact of dry-curing and frying[J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1 030-1 039.

(上接第 13 页)

[7] 林向阳, 彭树美, 张宏, 等. 豆粕双螺杆湿法挤压组织化工艺优化[J]. 中国农学通报, 2011, 27(26): 129-136.

[8] 刘克顺, 周瑞宝, 田少君, 等. 纤维状仿肉制品的高湿挤压生产技术[J]. 中国油脂, 2006, 31(3): 49-51.

[9] 贾君. 单双螺杆挤压组织化大豆蛋白的工艺研究[J]. 食品与机械, 2003(6): 19-21.

[10] AKDOGAN H. Pressure, torque, energy responses of a twin screw extruder at high moisture contents[J]. Food Research International, 1996, 29: 423-429

[11] LIN S, HUFF H E, HSIEH F. Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(3): 1 066-1 072.

[12] 郎珊珊, 闫树田, 石戴卫. 结构参数对挤压组织化花生蛋白质构特性影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 113-115.

[13] 康立宁, 魏益民, 张波, 等. 大豆蛋白高水分挤压组织化过程中操作参数对单位机械能耗的影响[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(3): 38-42.

[14] 王洪武, 马榴强, 周建国, 等. 大豆蛋白原料体系对挤压组织化的影响[J]. 中国食品学报, 2002, 2(1): 33-38.

[15] MARTELLI F G. Twin-screw extruders: a basic understanding [M]. New York: Van Nostr and Reinhold, 1983: 110-118.

[16] MEUSER F, LENGERICH B V, RERMERS H. Extrusion cooking of starches, comparison of experimental results derived from laboratory and full scale extruders by means of system analysis[J]. Starch/Staerke, 1984, 36(6): 194-199.

[17] JIN Z, HSIEH F, HUFF H E. Extrusion cooking of corn meal with soy fiber, salt, and sugar[J]. Cereal Chem., 1994, 71(3): 227-234.