

鸡肉-大米膨化食品双螺杆挤压工艺参数的优化研究

王文贤, 刘学文, 谢永洪, 冉旭

(四川大学食品工程系, 成都 610065)

摘要: 以鲜鸡肉和米为原料, 对双螺杆挤压工艺条件进行研究, 以期开发出新型鸡肉挤压膨化休闲食品, 提高鸡肉的附加值。试验采用可旋转中心组合设计, 综合考查物料湿度(X_1)、机筒温度(X_2)和螺杆转速(X_3)三个变量对糊化率(Y)的影响。在此基础上由试验数据推导出描述糊化率的二次回归模型, 并对变量进行响应面分析, 得出最佳挤压工艺条件为: 物料湿度 35%、机筒温度 123、螺杆转速 220 r/min。

关键词: 鸡肉; 挤压; 响应面分析

中图分类号: TS205

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2004)06-0223-04

0 引言

鸡肉属于白肉, 蛋白质含量高达 22.2%, 脂肪含量仅 1.8%, 很适合当前人们的营养观念, 是理想的优质蛋白来源, 然而鸡肉深加工产品单一, 传统腌腊制品居多, 附加值低^[1,2], 使鲜鸡肉未得到很好的开发利用。

挤压技术在食品工业上的应用越来越广泛, 从较早的方便食品、休闲食品到植物组织蛋白等领域。汤卫东^[3]、刘学文^[4]、吴卫国^[5]等利用谷物为原料研制出各式各样的挤压膨化休闲食品; Jane^[6]、Frederick^[7]、Henry^[8]等利用挤压技术改性植物蛋白质; Gujral^[9]、Cha^[10]等用动物肉和植物蛋白为原料开发工程肉制品。然而, 以动物肉为原料利用挤压技术开发膨化食品鲜有报道。作者已采用单螺杆挤压机成功研制出鸡肉-大米挤压膨化休闲食品^[11], 但是单螺杆挤压机的工艺参数较难控制, 易产生倒粉现象, 且机器不容易清洗, 而双螺杆挤压机可避免这些问题的出现。因此, 本文在单螺杆挤压研究工作的基础上, 以鲜鸡肉和米为主要原料, 对双螺杆挤压工艺条件进行研究, 力图开发研制新型鸡肉挤压膨化休闲食品, 为鸡肉挤压膨化休闲食品的工业化生产提供一定的理论参考和依据。

1 材料与方法

1.1 原料及设备

1.1.1 主要原料

新鲜鸡肉、大米、食盐、香料均为市售。

1.1.2 主要设备

DS32-II 双螺杆挤压机(螺杆直径 32 mm、长径比 18.75:1, 螺杆转速 0~250 r/min、模孔孔径 3.5 mm × 8 个): 济南赛信膨化机械有限公司; PHSJ-4A 型实验室 pH 计: 上海精密科学仪器有限公司; ZK 高速自控组

织捣碎机: 江苏省盐城市科学仪器厂; SH10A 水分快速测定仪: 上海恒平科学仪器有限公司; JA1203 电子天平: 上海精密科学仪器有限公司; 恒温水浴锅: 成都科析仪器成套公司。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程及操作要点

原料肉处理 混合 调节水分 挤压成型 压片 干燥 二次膨化 调味 包装 成品

1) 原料肉处理

从市场上购得新鲜鸡脯肉, 清水洗净后, 用小刀精心去除脂肪, 并把鸡肉放置于自来水龙头下冲洗, 去血 1 h 后, 冷冻保藏, 一段时间后取出并切成颗粒状, 然后用组织捣碎机捣成泥状。

2) 混合、调节水分

将捣碎后的鸡肉糊按比例与大米粉、配料混合均匀, 并调节至挤压所需的湿度要求。

3) 挤压成型

挤压是整个流程的关键, 直接影响到产品的质感、口感。影响挤压效果的因素有机筒温度、螺杆转速、进料速度、物料湿度、物料组成等。本试验中, 固定物料组成为 3:7 (鸡肉与大米的比例), 进料速率为 12~15 kg/h, 重点考察物料湿度、机筒温度和螺杆转速对挤压效果的影响。

4) 压片、干燥

将挤出物切成均匀的小块, 然后喂入压片辊中, 用压片辊逐渐把厚度减至所需的 0.8~1.0 mm, 送入烘箱干燥至水分含量 10%~12%。

5) 二次膨化

干燥后的半成品送入焙烤炉进一步焙烤膨化以提高酥脆度和口感。

6) 包装

为防止受潮, 保证酥脆和风味, 且避免在贮存、运输过程中破碎, 调味后的产品进行充氮包装。

1.2.2 试验设计

本试验采用可旋转中心组合设计^[12,13]方法进行试验方案的设计。在查阅大量文献的基础上, 选取物料湿度、机筒温度、螺杆转速为自变量^[14-16], 分别用 X_1 、 X_2 、

收稿日期: 2004-03-31 修订日期: 2004-07-10

基金项目: 四川省重点科技项目(川科教[1999]14、26号)

作者简介: 王文贤(1978-), 男(汉族), 福建晋江人, 讲师, 硕士, 主要从事食品加工与保藏、保健食品开发研究。成都 四川大学食品工程系, 610065

通讯作者: 刘学文(1952-), 男(汉族), 四川彭山人, 教授, 硕士生导师, 主要从事食品加工与保藏、保健食品开发研究。成都 四川大学食品工程系, 610065

X_3 表示, 每个变量 5 个水平, 如表 1 所示。

表 1 变量设计表

| 变 量 | 符号 | 间距 | 代 码 | | | | |
|--|-------|----|----------|-----|-----|-----|--------|
| | | | - 1. 682 | - 1 | 0 | 1 | 1. 682 |
| 物料湿度 (湿基)/% | X_1 | 3 | 30 | 32 | 35 | 38 | 40 |
| 机筒温度/ 螺杆转速 /r·m in ⁻¹ | X_2 | 10 | 103 | 110 | 120 | 130 | 137 |
| | X_3 | 20 | 184 | 200 | 220 | 240 | 256 |

1. 2. 3 水分的测定

由快速水分测定仪测定。

1. 2. 4 糊化率及其测定

糊化率是衡量原料中淀粉糊化程度的指标, 糊化率的高低直接反映了在挤压膨化过程中淀粉熟化的程度, 并直接影响二次膨化的效果, 糊化率愈高膨化愈好。研究各因素对其影响, 可确定最佳挤压膨化工艺参数。在本试验中, 糊化率采用酶水解法^[17, 18]进行测定。

2 结果与讨论

可旋转中心组合设计试验结果见表 2。

表 2 中心组合试验设计与结果

Table 2 Experiment design and results of central composite rotatable design

| 序号 | 变 量 | | | 糊化率 $Y/\%$ |
|----|----------|----------|----------|------------|
| | X_1 | X_2 | X_3 | |
| 1 | - 1 | - 1 | - 1 | 81. 25 |
| 2 | - 1 | - 1 | 1 | 79. 31 |
| 3 | - 1 | 1 | - 1 | 89. 67 |
| 4 | - 1 | 1 | 1 | 83. 50 |
| 5 | 1 | - 1 | - 1 | 82. 59 |
| 6 | 1 | - 1 | 1 | 81. 48 |
| 7 | 1 | 1 | - 1 | 83. 33 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 85. 48 |
| 9 | - 1. 682 | 0 | 0 | 86. 00 |
| 10 | 1. 682 | 0 | 0 | 81. 25 |
| 11 | 0 | - 1. 682 | 0 | 73. 20 |
| 12 | 0 | 1. 682 | 0 | 85. 71 |
| 13 | 0 | 0 | - 1. 682 | 72. 97 |
| 14 | 0 | 0 | 1. 682 | 84. 62 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 93. 17 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 94. 75 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 94. 39 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 95. 26 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 93. 55 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 94. 70 |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 93. 45 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 92. 18 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 94. 59 |

采用国际权威的 SAS 统计软件, 通过其响应面回归 (RSREG) 过程进行数据分析, 建立了关于糊化率的二次响应回归模型, 并进而寻求最优响应因子水平。经整理, 所得分析结果见表 3。

表 3 各因素方差分析表

Table 3 Analysis of mean square deviation of each factors

| 方差来源 | 自由度 | 平方和 | 平均平方和 | F 值 | 显著水平 P |
|-------------|-----|-----------|-----------|-----------|------------|
| X_1 | 1 | 5. 720097 | 5. 720097 | 0. 570515 | 0. 463520 |
| X_2 | 1 | 107. 9120 | 107. 9120 | 10. 76299 | 0. 005965* |
| X_3 | 1 | 11. 48319 | 11. 48319 | 1. 145318 | 0. 304000 |
| $X_1 * X_1$ | 1 | 137. 4610 | 137. 4610 | 13. 71018 | 0. 002656* |
| $X_1 * X_2$ | 1 | 7. 742113 | 7. 742113 | 0. 772188 | 0. 395493 |
| $X_1 * X_3$ | 1 | 10. 46531 | 10. 46531 | 1. 043796 | 0. 325577 |
| $X_2 * X_2$ | 1 | 309. 8032 | 309. 8032 | 30. 89935 | 0. 000100* |
| $X_2 * X_3$ | 1 | 0. 117612 | 0. 117612 | 0. 011731 | 0. 915406 |
| $X_3 * X_3$ | 1 | 343. 4115 | 343. 4115 | 34. 25140 | 0. 000100* |

*: 达到显著水平。

由表 3 可看出, 机筒温度的一次项和二次项、物料湿度二次项及螺杆转速的二次项对糊化率的影响显著, 其余对糊化率的影响均不显著。去掉不显著影响项, 重新分析显著项对糊化率的影响, 其结果见表 4 和表 5。

表 4 中心组合试验回归分析结果

Table 4 Regression results of central composite rotatable design

| 变量 | 系数 | 标准误差 | t 值 | 显著水平 P |
|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| X_2 | 2. 810992 | 0. 821431 | 3. 422067 | 0. 003039 |
| $X_1 * X_1$ | - 2. 941285 | 0. 761541 | - 3. 862880 | 0. 001141 |
| $X_2 * X_2$ | - 4. 415604 | 0. 761541 | - 5. 798250 | 0. 000100 |
| $X_3 * X_3$ | - 4. 648945 | 0. 761541 | - 6. 104650 | 0. 000100 |

表 5 各因素方差分析表 (去掉不显著项)

Table 5 Analysis of mean square deviation of each factors (barring indistinctive items)

| 方差来源 | 自由度 | 平方和 | 平均平方和 | F 值 | 显著水平 P |
|-------------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| X_2 | 1 | 107. 912 | 107. 912 | 11. 71054 | 0. 003039 |
| $X_1 * X_1$ | 1 | 137. 4611 | 137. 4611 | 14. 91720 | 0. 001141 |
| $X_2 * X_2$ | 1 | 309. 8032 | 309. 8032 | 33. 61966 | 0. 000100 |
| $X_3 * X_3$ | 1 | 343. 4113 | 343. 4113 | 37. 26679 | 0. 000100 |
| 模 型 | 4 | 888. 3648 | 222. 0912 | 24. 10121 | 0. 000100 |
| 误 差 | 18 | 165. 869 | 9. 214942 | | |
| 失拟项 | 10 | 158. 2225 | 15. 82225 | 16. 55389 | 0. 000272 |
| 纯误差 | 8 | 7. 646422 | | | |

由表 4 可得出糊化率的数学模型, 见下式:

$$Y = 93. 92877 + 2. 810992X_2 - 2. 941285X_1^2 - 4. 415604X_2^2 - 4. 648945X_3^2$$

糊化率回归方程的决定系数 $R^2 = 84. 27\%$, 离回归标准差 $RMSE = 3. 0356$, 说明回归的拟合程度较好。

由表 5 可得, 方程因变量 Y 与全体自变量之间的线性关系明显。回归方程无交叉项, 说明响应面分析所选的 3 个因素 (物料湿度、机筒温度和螺杆转速) 之间的交互效应很小。

2. 1 物料湿度对糊化率的影响

从图 1、2 可看出物料湿度与糊化率呈抛物线型关系, 且有一极大点。在物料湿度较低时, 挤出物的糊化率较低。随着物料湿度的不断增加, 挤出物的糊化率也不断增加, 在 $X_1 = 0$ (物料湿度 35%) 时达到最大。这可能是因为物料湿度增加时, 淀粉和蛋白质吸水增加, 同时

蛋白质发生变性, 导致物料的粘稠度增大^[19], 物料与挤压膨化机的构件间的摩擦力增大, 物料在机内停留时间增加, 糊化率升高, 这一结论与我们测定物料在机内停留时间基本吻合。当物料湿度继续增加时, 由于水分含量较高, 物料中的水分充当了润滑剂的作用, 使得物料与挤压机构件间的摩擦力急剧下降, 机筒内温度急剧下降, 物料在机筒内未能充分糊化。经过测试, 当物料湿度超过 40% 时, 挤出物成半流体状, 仍可见部分生淀粉。

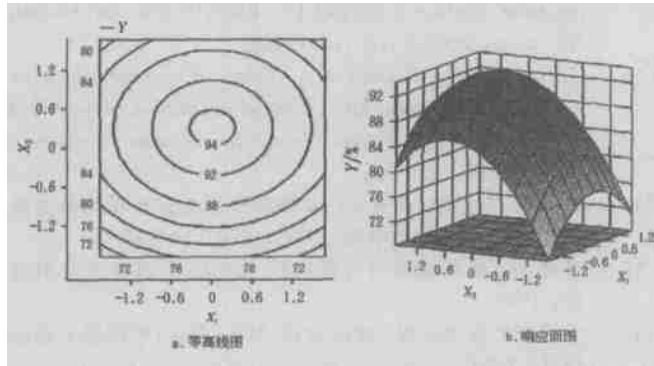


图 1 物料湿度和机筒温度对糊化率的影响
Fig 1 Effects of moisture content and cooking temperature on degree of gelatinization

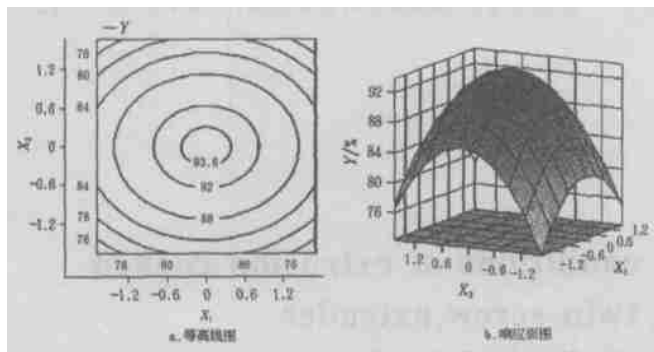


图 2 物料湿度和螺杆转速对糊化率的影响
Fig 2 Effects of moisture content and screw speed on degree of gelatinization

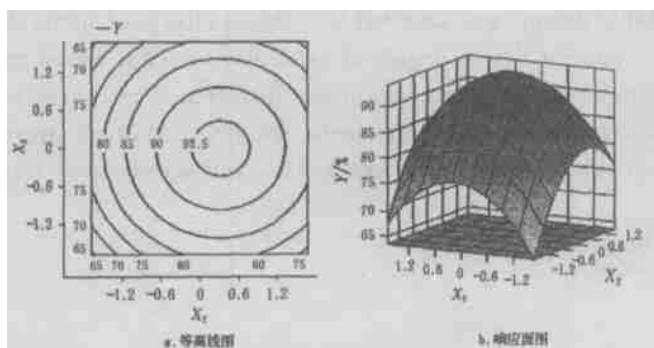


图 3 机筒温度和螺杆转速对糊化率的影响
Fig 3 Effects of cooking temperature and screw speed on degree of gelatinization

2.2 机筒温度对糊化率的影响

从图 1、3 可看出, 机筒温度与糊化率呈抛物线型关系, 且有一极大点, 当 $X_2 < 0.3$ 时, 抛物线的弯度较大, 其对糊化率影响很大; 当 $X_2 > 0.3$, 抛物线的弯度较

小, 其对糊化率影响较小。

螺杆挤压机的机筒温度是保证挤压膨化效果的重要因素, 物料中淀粉的糊化是在适当的温度并吸收足够的热量的条件下进行的, 只有吸收了足够的热量, 才能完成淀粉的糊化。在挤压过程中, 物料所吸收的热量有两个来源, 一是从机筒壁电加热传递的热量, 二是物料在机筒内受剪切、摩擦作用产生的热量, 前者所起的作用更大。在机筒温度较低时, 物料所吸收的热量少, 挤出物的糊化率较低。随着机筒温度不断增加, 挤出物的糊化率也不断增加, 在 $X_2 = 0.3$ (机筒温度 123) 时达到最大。但是, 机筒温度过高时可能会造成原料中的蛋白质与淀粉降解的糖在高温下发生“美拉德”(Maillard) 反应, 不容易被人体消化吸收^[20]; 机筒温度过高将导致部分淀粉焦化, 从而造成糊化率的下降。我们分析, 这可能是温度过高时, 物料中水分过早地蒸发掉, 物料中水分太低, 淀粉在低水分时不易糊化, 挤出物中既有炭化物, 又有生淀粉。

2.3 螺杆转速对糊化率的影响

螺杆转速是影响糊化率的一个重要因素。从图 2、3 可看出, 螺杆转速与糊化率呈抛物线型关系, 且有一极大点。随着螺杆转速的增大, 有利于提高挤出物的糊化率, 在 $X_3 = 0$ (螺杆转速 220 r/min) 时, 糊化率达到最大。当螺杆转速较低时, 物料在挤压机内所承受的剪切作用小, 增大其值有利于增加物料与螺杆、机筒壁的剪切和摩擦作用, 物料在强烈的挤压作用下, 其可溶性纤维含量有明显的增加, 加速了淀粉颗粒的分解和糊化过程^[19]。但是, 当螺杆转速超过 220 r/min 后, 螺杆转速的增加使物料在机筒内的停留时间减小, 物料在机筒内未能充分混和、相互摩擦, 且受热时间变短, 因而未能充分糊化。经测试, 当螺杆转速超过 260 r/min 时, 挤出物中含有生淀粉。

2.4 最优挤压工艺参数的确定

通过响应面分析可知, 当 $X_1 = 0, X_2 = 0.3, X_3 = 0$ 时, 糊化率有最大估计值为 94.4%, 因此确定最佳挤压工艺条件为: 物料湿度 35%、机筒温度 123、螺杆转速 220 r/min。

3 结论

采用可旋转的中心组合试验设计方法进行试验设计, 在利用鲜鸡肉和大米为原料开发新型挤压膨化休闲食品的工艺中, 通过响应面法进行分析, 考虑进料物料湿度、机筒温度和螺杆转速三个变量对糊化率的影响, 最终确定了最佳挤压工艺条件为物料湿度 35%、机筒温度 123、螺杆转速 220 r/min。

[参 考 文 献]

[1] 王文贤, 刘学文 加入 WTO 对我国鸡肉加工业的影响及对策[J]. 食品科技, 2001, (6): 3- 5
[2] 黄诗铿 禽类深加工的若干问题[J]. 中国食物与营养, 1999, (5): 34- 35
[3] 汤卫东 巧克力米饼的研制[J]. 食品科技, 2003, (12): 42

- 43, 46
- [4] 刘学文, 冉旭, 贾利蓉, 等. 强化维生素A、D油膨化食品开发研制[J]. 食品工业科技, 2002, 23(5): 54-56
- [5] 吴卫国, 田梅, 王建东. 大米、玉米复合膨化食品生产工艺的研究[J]. 食品工业, 1998, (6): 30-31
- [6] Arrage J M, Barbeau W E, Johnson J M. Protein quality of whole wheat as effected by drum-drying and single-screw extrusion [J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 1992, 40, 1943-1947.
- [7] Nyanzi F A, Maga J A. Effect of processing temperature on detergent-solubilized protein in extrusion-cooked cornstarch/soy protein subunit blends [J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 1992, 40: 131-133
- [8] Izzo H V, Lincoln M D, Ho Chi-Tang. Effect of temperature, feed moisture, and pH on protein denaturation in an extruded wheat flour [J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 1993, 41: 199-202
- [9] Gujral Hardeep Singh, Kaur Amrit, Singh Narpinder, et al. Effect of liquid whole egg, fat and textured soy protein on the textural and cooking properties of raw and baked patties from goat meat [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 53(4): 377-385
- [10] Cha J Y, Flores R A, Kastner C L. Evaluation of processes to enhance grain and meat coproducts [J]. Journal of Food Process Engineering, 2000, 23(5): 353-371
- [11] 王文贤, 刘学文, 冉旭. 利用响应面法优化鸡肉挤压膨化产品进料参数的研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2003, 35(4): 55-59
- [12] 陈宁, 常高峰, 张克旭. L-异亮氨酸发酵培养基的响应面法优化[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(2): 33-37
- [13] Montgomery D C 著. 汪仁官, 陈荣昭译. 实验设计与分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1998
- [14] Iwe M O. Effects of extrusion cooking on some functional properties of soy-sweet potato mixtures—A response surface analysis [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2000, 55(2): 169-184
- [15] Gutkoski L C, El-Dash A A. Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 1999, 54(4): 315-325
- [16] 杨绮云, 李德溥, 徐克非. 双螺杆挤压机挤压功耗的实验研究[J]. 中国粮油学报, 2001, 16(2): 50-53
- [17] 黄伟坤. 食品检验与分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1997
- [18] 无锡轻工业大学等. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998
- [19] 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
- [20] 文东辉, 徐克非, 郝文杰. 基于响应面法挤压膨化效果的最优化[J]. 粮油加工与食品机械, 2000, (2): 8-10, 13

Optimization of extrusion cooking conditions of extrusion-cooked chicken-rice snack with twin-screw extruder

Wang Wenxian, Liu Xuewen, Xie Yonghong, Ran Xu

(Department of Food Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract Based on chicken and rice as raw materials, the extrusion cooking conditions of extrusion-cooked chicken-rice snack were studied with twin-screw extruder in order to develop a new kind of snack and to heighten the additional value of chicken. A central composite rotatable design was adopted to analyze effects of material moisture content (X_1), cooking temperature (X_2) and screw speed (X_3) on degree of gelatinization (Y). Based on this approach and experimental data, the quadratic regression model of gelatinization was deduced. Then analyses of variance were conducted with response surface analysis, and the optimal extrusion cooking conditions were obtained as follows: material moisture content was 35%, cooking temperature was 123 °C, and screw speed was 220 r/min.

Key words: chicken; extrusion cooking; response surface analysis