

挤压方便米饭预处理关键工艺参数的优化*

焦爱权,翟秀超,金征宇,邓力

(江南大学食品学院 食品科学与技术国家重点实验室,江苏 无锡. 214122)

摘 要 以碎米为主要原料,辅以其他谷物粉和食品添加剂以及微量营养素,对双螺杆挤压工艺条件进行研究,以期开发研制一种新型营养方便米饭。通过单因素试验确定了机筒温度(X_1)、物料水分(X_2)和螺杆转速(X_3)3个试验因素的取值范围,在此基础上采用可旋转中心组合设计,综合考查 X_1 、 X_2 和 X_3 3个变量对糊化度(Y)的影响,推导出描述糊化度的二次回归模型,并对变量进行响应面分析,得出最佳挤压预处理工艺条件为:机筒温度 127.2℃,物料水分 33.8%,螺杆转速 195.2 r/min。

关键词 挤压技术,方便米饭,营养强化,响应面分析

传统工业化生产的方便米饭,通过清洗、浸泡、蒸煮、干燥等工序,不但营养损失严重,复水性差,而且由于可溶性成分的流失造成方便米饭复水后缺少适宜的黏弹性^[1,2],并且生产出来的方便米饭未能很好地解决米饭产品固有的品质缺陷——易老化^[3,4]。

挤压加工技术集混合、熟化、破碎、杀菌、预干燥、成型等工艺为一体,其作为一种经济实用的新型加工方法广泛用于食品生产中,且挤压法生产的淀粉类产品不易老化^[5,6]。安红周等人已采用单螺杆挤压机研制出复合营养方便米饭^[7,8],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^[9,10],因此作者在单螺杆挤压研究工作的基础上,以低成本的碎米作为主要原料,辅以其他谷物粉和食品添加剂以及微量营养素,对双螺杆挤压工艺条件进行研究,并尝试采用双螺杆二次挤压技术开发研制一种新型营养方便米饭,为其工业化生产提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 试验设备与材料

挤压设备为济南赛信膨化机械有限公司生产的DS32-II双螺杆挤压机,螺杆直径 32 mm,长径比 18.75:1,螺杆转速 0~300 r/min,机筒温度为室温~300℃连续可调。

碎杂交粳米(9718 品种),江苏省兴化米业有限

公司;单甘酯、大豆磷脂、硬脂酰乳酸钠,上海联合食品添加剂公司;大豆浓缩蛋白粉:河南省双汇集团公司; β -淀粉酶,江苏省无锡酶制剂厂。

1.2 试验方法

1.2.1 生产工艺流程

预处理工艺流程(高温挤压):碎米(或大米)→粉碎→过筛→复配→调质→高温挤压蒸煮→熟化物料

二次挤压:熟化物料→粉碎→过筛→复配→调质→低温挤压成形→干燥→冷却→成品

本文研究第一部分:预处理工艺参数的优化。

1.2.2 糊化度的测定

糊化度是衡量原料中淀粉糊化程度的指标,是影响方便米饭的质构和复水特性的最重要的因素之一,也是评价方便米饭品质的重要指标。糊化程度的高低直接反映了在挤压过程中淀粉熟化的程度,并直接影响二次挤压膨化的效果及产品的复水品质,糊化度越高,产品的结构就越疏松,多孔性越好,复水也就越快^[11]。因此研究各因素对其影响,可确定最佳挤压预处理工艺参数。在本试验中,糊化度采用 β -淀粉酶法进行测定^[12]。

1.2.3 单因素实验

原料特性、螺杆结构、机筒温度、螺杆转速、喂料速度、模板结构等变量都对挤出物特性产生复杂的影响,特别是原料水分、机筒温度和螺杆转速显著影响挤出物的理化特性和内部结构以及功能特性^[12~14],因此本试验选取原料水分、机筒温度和螺杆转速做单因素实验,以确定各因素的合适范围。

1.2.4 响应面实验

采用可旋转中心组合设计方法^[15]进行试验方案的设计。以机筒温度、物料水分和螺杆转速3个因素

第一作者:博士研究生(金征琼教授为通讯作者)。

* 国家科技支撑计划(2006BAD02A01)

收稿日期:2008-03-06,改回日期:2008-09-16

为自变量(分别用 X_1 、 X_2 、 X_3 表示),以糊化度为响应值(用 Y 表示),设计了三因素五水平共 20 个点(6 个中心点)的响应面试验。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 机筒温度对糊化度的影响

设定物料水分为 30%,螺杆转速为 220 r/min,喂料速度为 20 kg/h,机筒温度分别选取 80、100、120、140 和 160℃ 进行试验,实验结果见图 1。从图 1 可以看出,随着温度的上升,糊化度也随之增加,在 120℃ 左右时达到最大,其值为 74.76%,温度继续上升,糊化度降低。

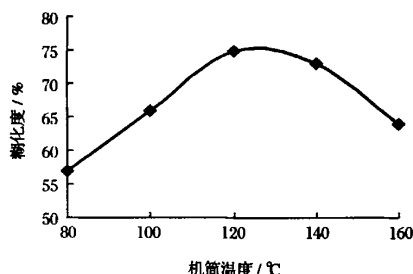


图 1 机筒温度对糊化度的影响

2.1.2 物料水分对糊化度的影响

物料水分分别选取 24%、27%、30%、33% 和 36% 进行试验,其他反应条件为机筒温度为 120℃,螺杆转速为 220 r/min,喂料速度为 20 kg/h。从图 2 可以看出,随着物料水分的增加,糊化度也随之增加,在湿度为 33% 时达到最大,其值为 81.03%,湿度继续上升,糊化度降低。

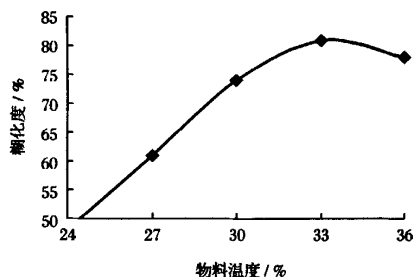


图 2 物料水分对糊化度的影响

2.1.3 螺杆转速对糊化度的影响

螺杆转速分别选取 180、200、220、240 和 260 r/min 进行试验,其他反应条件为机筒温度为 120℃,进料物料水分为 33%,喂料速度为 20 kg/h。从图 3 可以看出,随着螺杆转速增加,糊化度略有增加,在螺

杆转速 200 r/min 时,糊化度达到最大,其值为 78.33%,进一步增加转速,糊化度迅速下降。

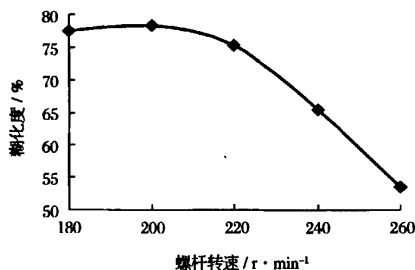


图 3 螺杆转速对糊化度的影响

2.2 响应面试验

根据单因素试验结果,设定机筒温度范围 100~140℃,物料水分 30%~36% 之间,螺杆转速范围 180~220 r/min,试验设计的矩阵及对应的响应值见表 1。

通过 SAS 8.01 软件对表 1 实验数据进行二次多项回归拟合,获得糊化度对机筒温度、物料水分和螺杆转速的二次多项式回归方程为:

$$Y = 84.60563 + 3.675062X_1 + 2.332718X_2 - 1.194396X_3 - 4.774213X_1X_1 - 0.45625X_1X_2 - 3.938057X_2X_2 - 2.384186X_3X_3$$

该二次回归方程的方差分析结果见表 2。

由该方程的方差分析可见,该模型极显著($F = 886.9121 > F_{0.01}(9, 10) = 4.94$),而且经分析计算,该模型的确定系数 $R^2 = 99.81\%$,表明模型与实际情况拟合很好,能解释 99.81% 糊化度的变化,因此该模型可用于分析和预测挤出物糊化度的变化。

通过模型方程作响应曲面图,并采用 Statgraphics Plus 软件对图进行处理,结果见图 4~图 6。它能很直观的反映所研究因素的各水平与响应值之间的关系,并确定各因素的最佳水平范围。

2.2.1 机筒温度对糊化度的影响

图 4、图 5 反映机筒温度对糊化度的影响,从响应曲面及等高线可以看出,沿机筒温度的增高方向,糊化度的变化很大。在温度较低时,物料所吸收的热量少,淀粉的糊化不充分,挤出物的糊化度较低;随着机筒温度不断增加,糊化度急剧升高,在 $X_1 = 0.37$ (机筒温度为 127℃) 时达到最大;当温度大于 127℃ 时,糊化度下降,这可能是因为物料中其他组分如蛋白质对水分的竞争的原因^[17],温度升高,水分的竞争加剧,使淀粉处于一个水分受限制状态而难以糊化,导致淀粉糊化度下降;另外,机筒温度过高将可能导

致部分淀粉焦炭化,不仅造成糊化度的下降,而且影响产品的色泽。

表 1 响应面试验设计及结果

组别 No.	机筒温度		物料水分		螺杆转速		响应值
	$X_1/^\circ\text{C}$	Code x_1	$X_2/\%$	Code x_2	$X_3/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	Code x_3	糊化度(Y)/%
1	140	1	36	1	220	1	78.14
2	100	-1	36	1	180	-1	74.34
3	120	0	33	0	233.6	1.68	75.82
4	120	0	33	0	200	0	84.76
5	120	0	38.04	1.68	200	0	77.35
6	120	0	33	0	166.4	-1.68	79.46
7	153.6	1.68	33	0	200	0	77.04
8	140	1	36	1	180	-1	80.16
9	120	0	27.96	-1.68	200	0	69.14
10	100	-1	36	1	220	1	71.05
11	120	0	33	0	200	0	84.41
12	140	1	30	-1	180	-1	76.64
13	120	0	33	0	200	0	85.03
14	100	-1	30	-1	220	1	65.92
15	86.4	-1.68	33	0	200	0	64.72
16	140	1	30	-1	220	1	74.46
17	100	-1	30	-1	180	-1	68.62
18	120	0	33	0	200	0	84.63
19	120	0	33	0	200	0	84.26
20	120	0	33	0	200	0	84.62

机筒温度是影响挤压特性的一个关键参数,改变机筒温度将不同程度地影响挤出物中淀粉的糊化程度。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,在挤压过程中,物料所吸收

的热量有 2 个来源,一是从机筒壁中电加热传递的热量,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^[16]。

表 2 二次回归方程的方差分析表

变异来源	自由度 DF	离差平方和	均方差 MS	F 值	显著水平 P
模型	7	820.474 8	117.210 7	886.912 1	0.000 1
误差	12	1.585 871	0.132 156		
合计	19	822.06			

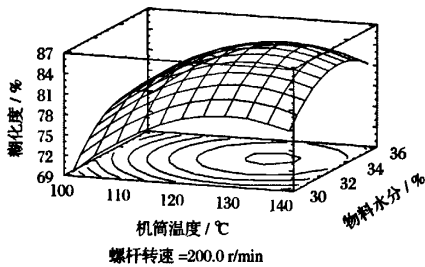


图 4 机筒温度和物料水分对糊化度的影响

2.2.2 物料水分对糊化度的影响

挤压工艺中淀粉的糊化是在水分受到限制的条件下进行的,水分是影响米粉中淀粉糊化的重要因素。图 4、图 6 可看出物料水分与糊化度呈抛物线型关系,且有一极大点。在物料水分较低时,挤出物的

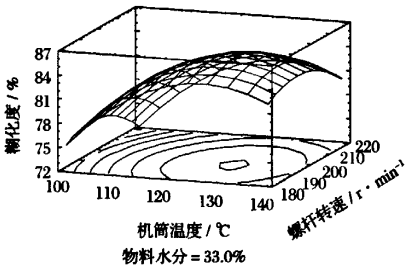


图 5 机筒温度和螺杆转速对糊化度的影响

糊化度较低,随着物料水分的不断增加,挤出物的糊化度也不断增加,在 $X_2=0.28$ (物料水分 33.8%) 时达到最大;当湿度继续增加时,糊化度呈现下降趋势,原因可能是水在这里是一种高效增塑剂和润滑剂,原料水分越高,物料与机筒、螺杆因摩擦而产生的

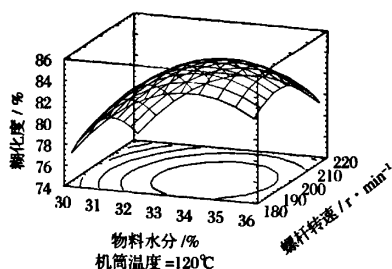


图6 物料水分和螺杆转速对糊化度的影响

热量就越少,物料在机筒内的滞留时间缩短,糊化度下降^[18~20]。

2.2.3 螺杆转速对糊化度的影响

螺杆转速的高低决定机械能输入和滞留时间的长短,这些变化又影响淀粉颗粒的破碎、降解、糊化^[21]。从图5、图6可看出,随着螺杆转速的增大;有利于提高挤出物的糊化度,在 $X_3 = -0.24$ (螺杆转速195 r/min)时,糊化度达到最大,继续加大螺杆转速,糊化度下降。低水分物料的黏度较高,导致剪切应力增加,增大螺杆转速有利于增加物料与螺杆、机筒壁的剪切和摩擦作用。虽然螺杆转速升高缩短了滞留时间,但糊化度反而上升,这说明剪切率的提高在一定范围内有助于淀粉的糊化,进一步提高螺杆转速,缩短物料的滞留时间大大缩短,受热和剪切作用时间变短,物料在机筒内未能充分混和、相互摩擦,导致挤出物温度降低。

2.3 挤压工艺参数的确定

通过响应面分析可知,当 $X_1 = 0.37$ 、 $X_2 = 0.28$ 、 $X_3 = -0.24$,糊化度有最大估计值为85.64%,经实验验证,在以上条件下,所得产品的糊化度为86.23%。因此确定最佳挤压工艺条件为:机筒温度为127.2℃,物料水分为33.8%,螺杆转速为195.2 r/min。

3 结 论

利用大米粉作为主原料,复配其他谷物粉和食品添加剂,开发营养强化方便米饭的预处理工艺中,通过单因素实验确定了机筒温度、物料水分和螺杆转速3个关键操作参数的取值范围。采用可旋转的中心组合试验设计进行试验,通过响应面法进行分析,考虑机筒温度、物料水分和螺杆转速3个变量对糊化度的影响,最终确定了最佳挤压预处理工艺条件为机筒温127.2℃、物料水分33.8%、螺杆转速195.2 r/min。在此工艺参数下,挤出物的糊化度为86.23%。

参 考 文 献

- 姜发堂,陆生槐.方便食品原料科学与工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,1997.185~195
- 豊島英親,小野正博,崗留博司等.早炊き米製造条件と食味特性[J].日本食品科学会志,1999,46(4):197~204
- 姚 远,丁霄霖,吴加根.淀粉回生研究进展Ⅱ.脂类、糖类与淀粉酶对回生的影响[J].中国粮油学报,1996,14(3):9~11
- Hibi Y, Kitamura S, Kuge T. Effect of lipid on the retrogradation of cooked rice[J]. Cereal Chemistry, 1990, 70(5):7~10
- Gonzalez Z, Perez E. Evaluation of lentil starches modified by microwave irradiation and extrusion cooking[J]. Food Research International, 2002, 35(5): 415~420
- Alves R M L, Grossmann M V E, Silva R S S F. Gelling properties of extruded yam (*Dioscorea alata*) starch[J]. Food Chemistry, 1999, 67(2): 123~127
- 沈 宇,金征宇.挤压方便米饭及其生产工艺[J].食品工业科技,2002(12):52~54
- 安红周,金征宇.工程重组方便米饭复配机理的研究[J].食品科学,2006,(12):126~131
- Frame N D. Technology of Extrusion Cooking[M]. UK: Chapman and Hall,1994,1~51
- 刘天印,陈存社.挤压膨化食品生产工艺及配方[M].北京:中国轻工业出版社,1999.59~73
- 郑建仙.现代新型谷物食品开发[M].北京:科学技术文献出版社,2003,17~22
- Reeol J, Thorn G A. Wheat chemistry and technology [M]. MN:Am Assco Cereal Chem St Paul, 1971. 453~491
- Gomez M H, Aguilera, J M A physicochemical model for extrusion of corn starch[J]. Journal of Food Science, 1984,49,40~43,63
- Brent J L, Mulvaney, S J, Cohen C. Thermomechanical glass transition of extruded cereal melts[J]. Journal of Cereal Science, 1997,26:301~312
- 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
- 文 贤,刘学文,谢永洪,等.鸡肉—大米膨化食品双螺杆挤压工艺参数的优化研究[J].农业工程学报,2004,20(6):223~226
- Watson C A, Johnon J A. Gelatinization of starch. I. competition for water by protein and cellulose derivatives [J]. Journal of Food Science,1965,30(2):450~456
- Riaz M N. Technology of producing snack foods by extrusion research[J]. Department Technical Bulletin,1997,

- 19 Harper J M [美]著. 丁霄霖等译. 食品挤压成形[M]. 无锡: 江南大学, 1985
- 20 Cal V, Diosady L L. Model for Gelatinization of Wheat Starch in a Twin-Screw Extruder [J]. Journal of Food

- 21 Choudhury G S, Gautam A. Comparative study of mixing element during twin-screw extrusion of rice flour[J]. Food Research International, 1998, (31): 7~17

Optimization of Key Pretreatment Conditions of Instant Rice With Twin-screw Extruder

Jiao Aiquan, Zhai Xiuchao, Jin Zhengyu, Deng Li

(The State Key Lab of Food Science and Technology, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT A new Nutrition-Fortification Instant rice was developed by using broken rice was the main material and other ingredients such as cereal flours, food additive and micronutrient as the supplemental material by twin-screw extruder. The ranges of cooking temperature (X_1), material moisture content (X_2) and screw speed (X_3) were optimized through single factor experiment. Based on this approach, a central composite rotating design was adopted to analyze effects of X_1 , X_2 and X_3 on the degree of gelatinization (Y), and the quadratic regression. A response surface method was conducted to get the following optimal parameters: cooking temperature 127.2°C, material moisture content 33.8%, and screw speed 195.2 r/min.

Key words extrusion processing, instant rice, nutrition fortification, response surface analysis

市场动态

多样化包装是调味品市场理想选择

调味品是餐饮烹饪中的重要辅料,因此,对调味品包装就有了一些特殊的要求,包括反复封合、避光性、稳定性等等。

酱油、醋可以算是液体调味品中的代表,这类调味品还有很多种,如料酒和调味油等。在计划经济年代,玻璃瓶曾经一统酱油、醋的包装,可以说,至今液体调味品还是玻璃容器最后的几块阵地之一。玻璃瓶确有其优点,透明、阻隔性好、价低,便于重复使用。

近年来情况发生了很大变化,玻璃瓶一统天下的格局已被打破,塑胶袋、PET瓶和凹桶相继进入液体调味品市场。PET瓶在规模容量上与玻璃瓶相仿,但较之玻璃瓶更轻便并有更好光泽,并有可供反复使用的瓶盖;PE桶一般容量较大,适合消费比较快的场合,重复封合性也非常好。

虽然玻璃瓶包装仍然占主导地位,但塑料瓶的发展也为液态调味品包装提供了新的选择。小容量的液体调味品如芥末油、辣椒油及某些高档生食酱油等,依然以玻璃瓶包装为主,但已全部采用了塑胶瓶盖。改用塑胶瓶盖,可极大方便消费者使用。糖、盐曾经使用过布袋做包装,特别是大规模的运输包装。但塑胶袋是其主要销售包装形式。长期以来,在包装规格方面变化不大。

近年来,盐的种类发生了一些变化,加碘盐等一些功能性盐制品进入市场,已渐成主流,盐的包装增加了文字说明的要求。包装也从单一的塑胶袋包装开始转化,纸盒式包装开始出现。

糖的包装目前仍然以塑胶袋为主,但发展趋势显然是趋向于纸袋包装。它更符合环保要求,是一种潮流性包装;另外纸的功能性已今非昔比,可具有高强度及很好的防潮性、印刷性,制袋技术也有了长足的进步。

酱类粘稠物品的包装分为二类:袋和瓶。低档调味酱的包装以塑胶袋包装为主。一些中高档调味酱如辣椒酱、番茄酱、各式果酱等都采用玻璃瓶包装,配有塑胶盖,方便多次开合。有些酱还加有铝塑封口膜,以延长货架期。异形瓶主要出现在一些高档调味酱包装上,如沙拉酱等。小容量包装的调味酱,如番茄酱等,基本上采用的是铝塑胶复合包装。

较大颗粒的调味品数量众多,花椒、大料,甚至辣椒、大蒜也可归在其中,这类调味品还大多处于粗放经营阶段,以散装居多,有包装的也只是单层塑胶袋,很粗陋。除了这类调味品本身不够精细、价格不高之外,没有品牌可能是包装简陋的一个重要因素。从发展上看,塑胶袋将是较大规格包装的理想选择。