

双螺杆挤压机操作参数对早餐谷物 产品特性影响的研究

吴卫国¹, 杨伟丽¹, 唐书泽², 莫红卫³, 曾德勤³, 周艳萍³

(1.湖南农业大学食品科技学院, 湖南 长沙 410128; 2.暨南大学食品科技系, 广东 广州 510632;

3.湖南沐林现代食品有限公司, 湖南 长沙 41020)

摘 要: 以营养早餐谷物食品配方研究中所确定的最佳配方为基础, 应用响应面分析法, 首先对螺杆转速、进料速率、加水量等双螺杆挤压机的主要操作参数与早餐谷物产品容重之间的关系进行了研究, 然后以容重作为挤压早餐谷物的核心品质指标, 确定早餐谷物食品容重、吸水指数与水溶指数等产品品质指标之间的相互联系; 建立了相应的数学模型并得出了三种操作参数的最佳取值范围。本试验研究对于开发挤压早餐谷物食品, 探索双螺杆挤压机加工谷物原料机理具有现实意义, 同时也为挤压早餐谷物食品品质的快速评定提供了依据。

关键词: 早餐谷物; 双螺杆挤压蒸煮; 操作参数; 响应面分析法

Effect of Twin-screw Extrusion Operation Parameters on Breakfast Cereals Product Properties

WU Wei-guo¹, YANG Wei-li¹, TANG Shu-ze², MO Hong-wei³, ZEN De-qin³, ZHOU Yan-ping³

(1.College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2.Department of Food Science and Technology, Jinan University, Guangzhou 510632, China;

3.Hunan Mulin Foodstuff Co.Ltd., Changsha 410200, China)

Abstract: Based on the optimum basic recipe obtained from the nutritional breakfast cereals formula, and following the test design and data analysis according to response surface methodology, the relationship between extrusion main operation parameters (the screw speed, the feeding rate, the water feeding rate) and breakfast cereals bulk density was investigated. The product bulk density was seen as a vital quality parameter. The relationship among the product bulk density, water absorption and water solution Index has been studied. A mathematic model was built up to optimize the selection of the values of three kinds of operation parameters. These research results could be used to develop extruded breakfast cereals food and to study research working principles of twin-screw extruder to process cereals materials. At the meantime, these research results could be also used to quickly evaluate the quality of breakfast cereals.

Key words: breakfast cereals; twin-screw extrusion cooking; operation parameter; response surface methodology

中图分类号: TS203

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2005)04-0150-06

挤压早餐谷物食品是以谷物——玉米、大米、小麦、燕麦等为主要原料, 采用挤压技术加工而成的, 加入冷牛奶、豆奶或果汁就可食用的一类营养早餐食品^[1-5]。近30年, 双螺杆连续挤压蒸煮技术在早餐谷物生产革新和发展中, 起着非常重要的和决定性的作用。同常规的、间歇式的湿热蒸煮(90~110℃, 15~30min的滞留时间)相比, 连续挤压蒸煮过程被看成是一种高温短时(110~180℃, 0.5~1.5min的滞留时间)的机械热力蒸煮过程, 生产力得

到大幅度提高, 同时, 它使得生产者能生产以任何谷物或淀粉为基料的早餐谷物, 早餐谷物品种和特性进一步多样化^[6~10]。为了获得理想品质的早餐谷物食品除了要设计一个好的配方外, 同时也要了解生产操作参数对其品质的影响规律^[11]。食品的挤压加工过程十分复杂, 目前有关双螺杆挤压机加工食品的挤压理论还不完善, 还没有应用于双螺杆食品挤压机的精确数学模型, 很难从物料特性、挤压机的结构参数和操作参数来预测挤压

收稿日期: 2004-04-13

基金项目: 湖南省重点科研课题(03NKY2017)

作者简介: 吴卫国, 36岁, 副教授, 硕士生导师, 博士, 从事粮油食品加工教学和科研工作。

食品的特性^[12~20]。目前挤压机的操作绝大部分仍是靠经验。本文以容重作为早餐谷物产品的核心品质指标,研究了双螺杆挤压机的主要操作参数对早餐谷物产品特性的影响规律,同时对早餐谷物品质指标之间的内在联系进行了探讨,目的为早餐谷物产品的生产提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

小米粉、玉米粉、燕麦粉等市售,粒度要求CQ14全通,JF50留存不小于90%;蔗糖粉颗粒小于150 μ m以上的占99%以上,市售;脱脂大豆粉由哈尔滨高科技(集团)股份有限公司提供,粗蛋白质(干态) $\geq 50\%$;矿物质和维生素预混料由专业食品添加剂公司设计提供。

1.2 配料情况

以前期营养早餐谷物食品配方研究中所确定的一个最佳配方作为本次试验的基础,即:玉米粉30%、燕麦粉25%、小麦粉27%、蔗糖9%、脱脂大豆粉8%、矿物质及维生素预混料1%。

1.3 早餐谷物产品的生产工艺

1.3.1 工艺流程

维生素 \rightarrow 与少量谷物原料预混合 \leftarrow 矿物质

\downarrow

原辅料 \rightarrow 计量 \rightarrow 混合 \rightarrow 重力式喂料 \rightarrow 预调质 \rightarrow 双螺杆挤压膨化 \rightarrow 切断 \rightarrow 干燥 \rightarrow 冷却 \rightarrow 包装 \rightarrow 成品

1.3.2 操作要点

1.3.2.1 原辅料混合 取少量配方中的谷物料原料与矿物质和维生素预混料,在预混合机中混合均匀,时间不少于30min,然后将预混合后的维生素和矿物质混合料与过筛的粉状原料在快速混合机中搅拌均匀。

1.3.2.2 预调制 原料在进入挤压机之前,按生产工艺要求进行的增湿或调温处理,以减少主机螺杆的负荷,起到保证最终产品质量的作用。本次研究设定预调制器内物料温度为60 $^{\circ}$ C左右。预调制好的物料通过70 $^{\circ}$ C/70 $^{\circ}$ C/70 $^{\circ}$ C保温区进入双螺杆挤压机。

1.3.2.3 挤压膨化 在腔体温度控制在(T_1 :70 $^{\circ}$ C、 T_2 :80 $^{\circ}$ C、 T_3 :180 $^{\circ}$ C、 T_4 :180 $^{\circ}$ C)的条件下,通过双螺杆挤压机操作工艺参数(加水温、螺杆转速、进料量)的调节,物料经混合、挤压、剪切、熔融、杀菌、熟化和膨化等一系列复杂的连续化处理,在极短的时间内使淀粉糊化,蛋白质变性,使物料由生变熟。

1.3.2.4 切割 挤压机的物料,经模孔挤压出来后,用高速切刀切断,切刀转速固定为1400r/min。

1.3.2.5 流化床干燥、烘烤、冷却 目的使产品着色且色泽均匀,产生特殊的烘烤风味;使产品松脆;降

低成品含水率($\leq 7\%$);延长产品保质期。干燥、烘烤温度固定为180/220 $^{\circ}$ C。

1.3.3 主要设备及参数

本研究的核心设备为瑞士Buhler公司生产的DNDH125-20D双螺杆挤压机,螺杆的结构见表1,其主要参数见表2。

表1 挤压机螺旋件的配置(1T/h)
Table 1 Profile of Screws of twin-screw extruder

螺旋件的型号	126/ R126	150/ R126	126/ R42	P45-4/ R240	126/ R126	126/ R42
螺旋件的个数	9	3	2	2	4	1

表2 DNDH125-20D双螺杆挤压机的主要参数
Table 2 Main parameter of DNDH125-20D twin-screw extruder

部件	规格参数	部件	规格参数
螺杆数量	2	模孔直径	外径4.8mm、内径3.3mm
螺纹外径	ϕ 125mm	模孔数量	16个
螺纹总长	2500mm	最高腔体温度	250 $^{\circ}$ C
螺杆转速	45~350r/min	电机功率	290kW

1.4 试验设计

1.4.1 试验设计

本试验采用响应面法(Response Surface Methodology, RSM)进行试验设计^[11],表3为因素各水平实际数值与代码对照表,表4为试验设计。

表3 水平实际数值与代码对照表
Table 3 Actual levels and codes of experiment

变量名称	符号	单位	间距	代码				
				-1.682	-1	0	1	1.682
物料加水量	X ₁	%	2	8.64	10	12	14	15.36
进料量	X ₂	kg/h	20	966.36	980	1000	1020	1033.6
螺杆转速	X ₃	r/min	20	266.36	280	300	320	333.64

表4 试验设计与数据
Table 4 Experiment design and data

序号	物料加水量 X ₁	进料量 X ₂	转速 X ₃	容重(g/L)	WAI	WSI
1	1	1	1	148.32	7.02	0.230
2	1	1	-1	138.60	6.52	0.242
3	1	-1	1	139.95	6.70	0.240
4	1	-1	-1	137.95	6.41	0.244
5	-1	1	1	182.88	7.57	0.188
6	-1	1	-1	130.77	6.27	0.248
7	-1	-1	1	146.21	6.80	0.232
8	-1	-1	-1	130.77	6.27	0.251
9	0	0	0	101.88	9.12	0.279
10	1.682	0	0	156.15	7.12	0.220
11	-1.682	0	0	198.0	7.77	0.178
12	0	1.682	0	138.14	6.48	0.243
13	0	-1.682	0	146.70	6.80	0.238
14	0	0	1.682	139.68	6.68	0.241
15	0	0	-1.682	160.20	7.27	0.213

1.4.2 统计分析模型

采用非线性回归^[15], 测量值与挤压的关系模型为:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{12}X_1X_2 + B_{11}X_{12} + B_{22}X_2^2$$

其中: Y 为目标值, X_1 为挤压操作变量 1, X_2 为挤压操作变量 2, B_0 、 B_1 、 B_{12} 、 B_{11} 、 B_{22} 为系数。

统计模型推导, 三维曲面图, 等高线图的绘制均采用数据处理软件 S TATISTICA 5.0。

1.5 产品品质指标的测量

(1) 感官鉴定: 组织五人专业品评小组, 对挤压早餐谷物产品进行口感、色泽、风味、组织结构等方面的感官评定。

(2) 产品容重: 取样品于 1500ml 的量杯中填满, 用直尺将样品表面沿量杯口轻轻刮平, 倒出样品称重 (W), 用水测量量杯的容积 (V), 则:

$$\text{容重} = M/V \quad \text{单位为(g/L)}$$

(3) 水溶性指数(WSI)和吸水指数(WAI)^[15]: 准确称取 0.75g(干计)的挤压样品, 放入盛有 15ml 水(水温 30℃)的烧杯中, 再将烧杯置于水浴恒温箱中, 保持温度 30℃, 用玻棒轻轻搅动 30min。然后用离心机在 3000r/min 下离心, 15min 离心后分离上清液和沉淀物。上清液倾倒入恒重的称量瓶(铝盒)中在 120℃ 的温度下的烘箱中蒸发干, 并恒重。水溶性指数(WSI)和吸水指数(WAI)按下式计算:

$$WSI = \text{上清液蒸发干后残余物质量} / \text{样品的质量}$$

$$WAI = \text{倾出上清液后沉淀物质量} / \text{样品的质量}$$

2 结果与讨论

2.1 双螺杆挤压操作参数对容重的影响

产品容重是衡量挤压谷物食品品质的一个重要指标, 也是最易快速测定的一个指标。因此分析操作参数与容重的关系显得尤为重要。如果知道了操作参数与容重之间的关系, 在生产过程中, 可以根据容重的变化情况, 及时调整操作参数, 可确保产品品质质量始终如一。在实际操作中, 为了获得理想的产品品质, 仅仅依靠一个操作参数的变化是难以实现的, 往往需要改变两个或三个操作参数。因此有必要研究操作参数之间相互作用对产品品质的影响。本文着重探讨了物料加水量、进料量、螺杆转数等三个最常用且最关键的的操作参数对产品容重的影响。将试验结果采用数据处理软件绘制三维曲面图 1、3、5, 以及等高线图 2、4、6。

2.1.1 物料加水量和进料量对产品容重的影响

从图 1、图 2 可以看出: (1) 物料加水量对产品容重影响的变化趋势基本上不受进料量的影响, 即在低水分的条件下(加水量小于 12% 时), 随着物料加水量的增加, 产品容重随之减小, 即产品膨化度随之增大, 当产品容重达到最小值后(加水量为 12% 时), 随着物料

$$z = 5110.726 - 4.126 \times 9.982 \times y + 3.625 \times x^2 - 0.086 \times x \times y + 0.006 \times y^2$$

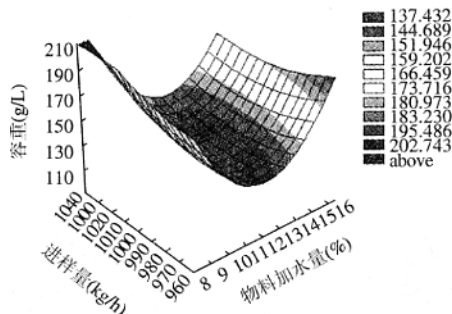


图1 进料量、加水量对容重的影响(曲面图)

Fig.1 Effect of feeding rate and moisture on bulk density(3D surface plot)

$$z = 5.10726 - 4.126 \times x - 9.982 \times y + 3.625 \times x^2 - 0.086 \times x \times y + 0.006 \times y^2$$

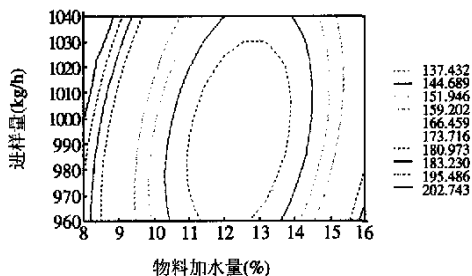


图2 进料量、加水量对容重的影响(等高线图)

Fig.2 Effect of feeding rate and moisture on bulk density(3D surface plot)

水分的增加, 产品容重随之增大。试验中发现, 当物料加水量很少时, 模口处的物料基本上没有膨化, 且出现物料明显烧焦的现象, 模头压力也升高, 这是由于物料湿度低于某一水平时, 难以保证其熔体形成所需的基本成分, 物料没实现向熔融状态的转化, 此时尽管扭距较大, 物料获得的单位机械能(Specific Mechanical Energy, SME)高, 但由于水分过少, 破坏淀粉分子之间氢键是十分困难的, 故淀粉也难以糊化, 导致产品膨化率低, 吸收的热量还有可能使高分子物料在高温高压环境下, 发生焦糖化反应和美拉德反应。当物料加水量高, 物料与螺杆之间的摩擦减少, 模头压力减少, 物料吸收的机械能和热能相应减少, 这样淀粉糊化所需的能量减少, 导致膨化度低。(2) 进料量对产品容重影响的变化趋势基本不受物料加水量的影响, 即在低的进料量条件下(进料量小于 1000kg/h), 随着进料量的加大, 产品容重随之减少, 这是因为进料量加大, 物料在机筒内的填充程度加大, 物料获得的 SME 将增加, 同时靠近机头处熔体输送段内完全充满的 C 型腔室的数目增多, 导致了高的机头压力; 当进料量达到 1000kg/h 时, 随着进料量的加大, 产品容重随之增加, 分析原因: 进料量加大, 螺杆的扭距也将增大, 导

致物料获得的机械能增大,但单位物料将获得SME将基本保持不变,同时本次研究中把腔体的温度这一操作参数设定为常数,事实上在实际操作中经常变动操作温度控制产品的品质也不是有效的方法,因为腔体温度的上升或下降也是一个缓慢的过程。由于腔体温度的固定,这样物料从腔体获得的热能是固定的,随着进料量的增大,单位物料所获得的热能将减少,这样单位物料在腔体中的总能量(机械能+热能)将减少,导致物料从模头挤出后释放的能量也减少,故膨化度下降,容重增加。

2.1.2 螺杆转数和加水量对产品容重的影响

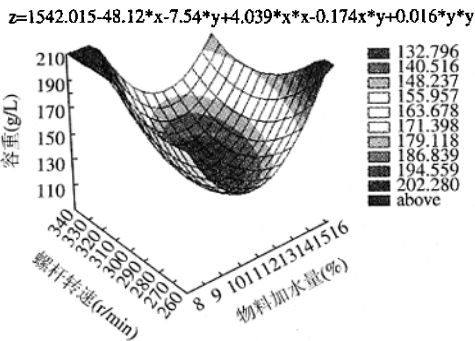


图3 螺杆转数、加水量对容重的影响(曲面图)
Fig.3 Effect of speed and moisture on bulk density (3D surface plot)

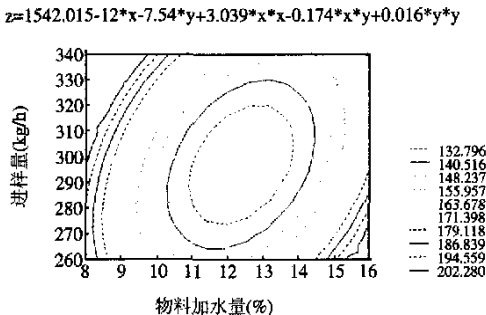


图4 螺杆转数、加水量对容重的影响(等高线图)
Fig.4 Effect of feeding rate and moisture on bulk density(3D surface plot)

从图3、图4可以看出:(1)物料加水量对产品容重影响的变化趋势基本上不受螺杆转数的影响,如同2.1.1中所述;(2)螺杆转数对产品容重影响的变化趋势基本不受物料加水量的影响,即在低的螺杆转数条件下(螺杆转数小于300r/min),随着螺杆转数的加大,产品容重随之减小,在低的螺杆转数条件下(螺杆转数大于300r/min),随着螺杆转数的加大,产品容重随之减小,这是因为螺杆转速较低时,物料所受的剪切作用低,随着螺杆转速增加,物料螺杆以及腔体内壁的摩擦和剪切

作用加强,部分大的直链淀粉变成小分子,支链淀粉的部分侧链小分子也被游离出来,淀粉分子间的氢键作用被削弱,分子骨架的自由空间加大,使得物料中的水分更容易“渗入”而使其发溶胀;同时,这也有利于水分在淀粉为主体的物料中均匀分散,产生更为疏松的组织,因而产品膨化度高。但是螺杆转速过大,物料在机筒内停留的时间过短,物料来不及从腔体内壁吸收足够的热量,会使生化反应进行得不彻底,降低了淀粉的糊化度,所以螺杆转速过高或过低都将使糊化度降低。

2.1.3 螺杆转速和进料量对产品容重的影响

从图5、图6可以看出:(1)进料量对产品容重影响的变化趋势受螺杆转数的变化影响大。在低的螺杆转数条件下(如螺杆转数为260r/min时),随着进料量的加大产品容重逐步减少,在高的螺杆转数条件下(如螺杆转数为340r/min时),随着进料量的加大产品容重逐步减少。在低的螺杆转数条件下,进料量的加大可以显著提高腔体的充填度,螺杆扭矩增大,热传递的速度加快,模头压力加大,这样物料获得的机械能和热能,导致膨化度加大,产品容重减少。在高的螺杆转数条件下,进料量的加大并可以显著提高腔体的充填度,螺杆扭矩不会显著增大,热传递的速度也不会显著加快,这样物料获得的总的机械能和热能仅略有增加,而进料量的加大,会导致物料获得的单位机械能和热能会减少,这样导致产品膨化度减少,产品容重增加。(2)螺杆转数对产品容重影响的变化趋势受进料量的变化影响大。在低的进料量条件下(如进料量为960kg/h时),随着螺杆转数的提高,产品容重逐步减少,这是因为在低的进料量条件下,螺杆转数加快不会影响物料在腔体滞留时间,而物料随着螺杆转数提高而获得的单位机械能提高的缘故;在高的进料量条件下(如进料量为1040kg/h时),随着螺杆转数的加大,产品容重逐步增加。这可能是因为在高的进料量条件下,螺杆转数加

$$z = 5432.739 + 14.631*x - 12.093*y - 0.009*x*x + 0.014x*y + 0.003*y*y$$

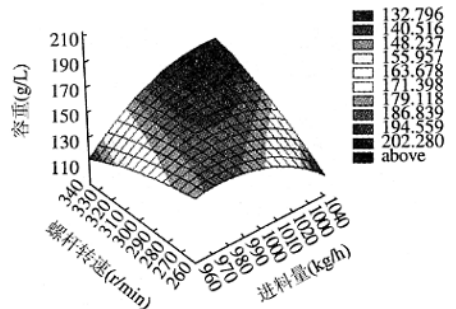


图5 进料量、螺杆转数对容重的影响(曲面图)
Fig.5 Effect of feeding and screw speed bulk density (3D surface plot)

$$z=5432.738+141631*x-12.093*y+0.009*x*x+0.014*x*y-0.003*y*y$$

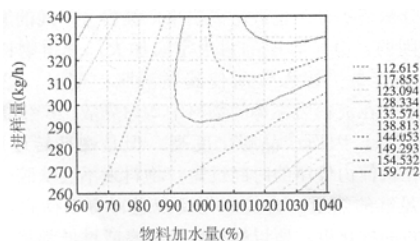


图6 进料量、螺杆转速对容重的影响(等高线图)

Fig.6 Effect of feeding rate and screw speed on bulk density (3D surface plot)

快会使物料在腔体滞留时间减少,导致物料获得的单位机械能和热能减少的缘故。

2.2 双螺杆挤压操作参数与产品容重相互关系数学模型

三维曲面图和等高线图可以直观的观测到两个操作参数相互作用对产品品质影响的变化规律,也可采用数据处理软件 STA-TISTICA 5.0 进行统计模型推导。根据试验结果,将数据回归得到了相关数学模型如下:

(1)物料加水量(X_1)与进料量(X_2)对产品容重(ρ)影响的回归方程:

$$\rho = 5110.726 - 4.126X_1 - 9.982X_2 + 3.625X_1^2 - 0.086X_1X_2 + 0.006X_2^2$$

(2)物料加水量(X_1)与螺杆转速(X_3)对产品容重(ρ)影响的回归方程:

$$\rho = 1542.015 - 48.12X_1 - 7.54X_3 + 4.039X_1^2 - 0.174X_1X_3 + 0.016X_3^2$$

(3)进料量(X_2)与螺杆转速(X_3)对产品容重(ρ)影响的回归方程:

$$\rho = 5432.738 + 14.631X_2 - 12.093X_3 - 0.009X_2^2 + 0.014X_2X_3 - 0.003X_3^2$$

根据上叙的数学模型可以预知在设定的操作参数(物料加水量、螺杆转速、进料量)的条件下,挤压早餐谷物食品的容重,即可根据早餐谷物食品的容重目标值,设定挤压机的操作参数,避免为达到产品目标值而进行的操作参数逐一调整花费太多的时间,从而避免大量的原料浪费。

2.3 早餐谷物产品品质指标之间的相互联系

早餐谷物产品品质指标包括感官指标(颜色、气味、组织结构、口感等)和物理指标(容重、水溶性指数、吸水指数)。物理指标从前面分析可知,均是可以量化的。产品容重可以反映产品的膨化程度,水溶性指数可以反映淀粉的降解程度,吸水指数可以反映淀粉的糊化程度。本研究中试图以容重作为挤压早餐谷物的核心品质指标,然后以容重为中心,确立早餐谷物食

品容重与其他品质指标的关系,为早餐谷物食品品质的快速评定提供依据。

2.3.1 产品容重与吸水指数之间的相互关系

采用数据分析软件可得图7,从图7可知:当产品容重 $< 120\text{g/L}$ 时,随着产品容重的增大,吸水指数逐步减少,这是由于产品膨化度越大时,淀粉分子之间的间隔大,也就是说淀粉与淀粉之间的氢键减弱。淀粉分子大量的亲水基团暴露出来,导致产品的吸水能力增加,也就是吸水指数升高。当产品容重 $> 120\text{g/L}$ 时,随着产品容重的增大,吸水指数也逐步增加,这可能是由于物料吸收的能量没有充分用于破坏淀粉分子之间的氢键,而是导致大分子链的断裂,从而使暴露的亲水基团增加,吸水指数升高,但由于挤压机内复杂的生物化学反应,原因有待进一步探讨。

$$y=735.158-22.57*x+0.276*x \times 2-0.002*x \times 3+5.006e-6*x \times 4-5.957e-9*x \times 5+eps$$

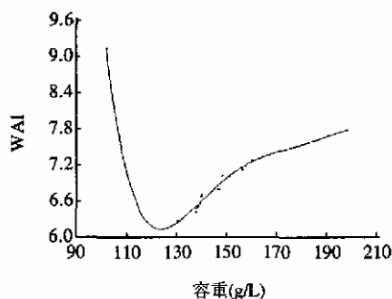


图7 吸水指数与容重的关系图

Fig.7 Relationship of WAI and bulk density

$$y=12.019-0.399*x+0.005*x \times 2-3.523e-5*x \times 3+1.143e-6*x \times 4-1.461e-10*x \times 5+eps$$

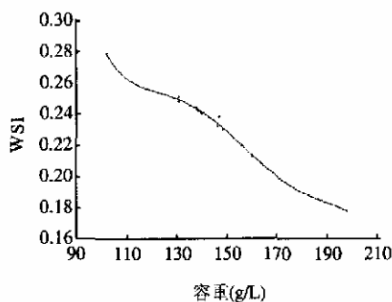


图8 水溶性指数与容重的关系图

Fig.8 Relationship of WSI and bulk density

2.3.2 产品容重与水溶性指数之间的相互关系

采用数据分析软件可得图8,从图8可知,随着产品容重的增大,产品的吸水指数逐步减少,这是由于产品的膨化度高,挤压物料在挤压腔体内获得的能量也多,使得大分子变为小分子的数量增多,淀粉分子中部分支链被剪断,分子间的作用力被削弱,从而可溶物数量增多所致。

2.3.3 吸水指数与水溶性指数之间的相互关系

采用数据分析软件可得图9,从图9可见,当吸水指数 < 8.1 时,随着吸水指数的增大,产品水溶性指数逐步减小。当产品吸水指数 > 8.1 时,随着吸水指数的增大,产品的水溶性指数也增加。其机理有待进一步研究。

$$y=447.7-303.78 \times x+82.031 \times x^2-110.008 \times x^3+0.734 \times x^4-0.019 \times x^5+\text{eps}$$

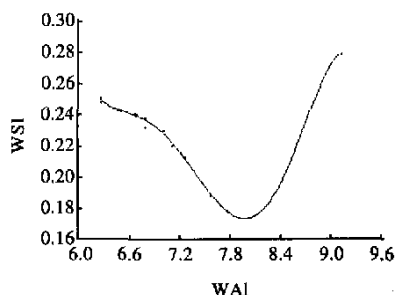


图9 吸水指数与水溶性指数的关系图
Fig.9 Relationship of WAI and WSA

2.4 最佳操作参数的确定

为了确定最佳操作参数,首先必须确定产品的最佳品质指标,然后根据所建立的数据模型,推导出最佳操作参数。本研究中组织五人专业品评小组,对试验设计中所得的15样的口感、色泽、风味、组织结构等感官指标进行综合评价,发现产品容重在110.7~135.3g/L,吸水指数在6.3~6.9,水溶性指数在0.230~0.260之间的样品表现出较好的感官指标。根据所做的曲面图及相应的数学模型推导出最佳操作参数的为:物料的加水量11%~14%,螺杆转速294~320r/min,物料进料速度960~980kg/h;或物料的加水量11%~14%,螺杆转速在260~290r/min,物料进料速度在1010~1040kg/h。

3 小结

本试验研究表明,把容重作为早餐谷物的关键品质指标,结合产品的水溶性指数、吸水指数和感官评价来评定早餐谷物的品质是可行的。所建立的双螺杆挤压操作参数与产品容重之间的数学模型,对于指导早餐谷物的生产具有重要意义。但挤压操作各因素对产品品质目标函数的影响规律是复杂的,各因素之间相互联系、相互制约,共同影响目标函数,各因素与目标函数之间呈非线性关系,不同的水平搭配使得试验结果差异很大。本研究固定了产品配方,螺杆构型、挤压机型及腔体温度,故所建立的数学模型仍有一定的局限性,在生产实践中应该针对不同的物料和挤压机型等通过试验合理地确定这些参数值,从而得到良好的挤压加工效果。

参考文献:

- [1] 吴卫国,杨伟丽,唐书择,等.双螺杆挤压生产早餐谷物过程中维生素的稳定性研究[J].湖南农业大学学报,2004,(2): 67-69.
- [2] Euromonitor. Breakfast cereals[J]. Food Ingredients and Analysis International, 1998, 19(2): 19-21.
- [3] Datamonitor. Eastern opportunities for bread substitutes[J]. Food Ingredients and Analysis International, 1998, 20(3): 9.
- [4] Datamonitor. Latin american wakes up to breakfast cereals [J]. Food Ingredients and Analysis International, 1998, 20 (3): 12.
- [5] 郑建仙,联立萍.谷物早餐食品的开发[J].广州食品工业科技,1996,(12): 32-34.
- [6] Dziezak J D. Single and Twin-Screw Extruders in Food Process[J]. Food Technology, 1989, 43(4): 163-174.
- [7] Kokini. Food extrusion science and technology[M]. New York: Marcel Inc, 1992. 619-630.
- [8] 文东辉,徐克非.国外双螺杆挤压机的研究现状[J].食品与机械,1999,(5): 35-3.
- [9] Janssen L P B M. Twin Screw Extrusion[M]. New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1978. 66-75.
- [10] 朱国洪,彭超英.食品挤压技术研究新进展[J].食品与机械,2000,(2): 76-77.
- [11] 刘天印.挤压膨化食品生产工艺与配方[M].北京:中国轻工业出版社,2000.
- [12] Friedriah Mesuer, Nobert Gimmmler. A systems analytical approach to extrusion food[M]. New York: Marcel Dekerine, 1992. 619.
- [13] 王宁.大米淀粉在挤出过程中糊化度数学模型[J].食品科学,1995,(9): 20-24.
- [14] 文东辉,徐克非.基于响应面法的双螺杆挤压参数的研究与应用[J].粮食与饲料工业,1999,(12): 27-28.
- [15] 邹延军.蒸煮挤压过程中淀粉的变化[J].无锡轻工业学院学报,1997,(4): 45-47.
- [16] 吴卫国,王建东.大米和玉米复合挤压膨化产品的研究[J].食品工业,1998,(6): 30-31.
- [17] Lawton B T, Henderson Derlaktia E J. Effect of extruder variables on gelatinization of corn starch[J]. Chemical engineering, 1972, 50(4): 168.
- [18] Moore G. Snack Food Extrusion Ch.4 in the technology of extrusion cooking[M]. New York: Chapman and Hall, Inc., 1994. 110-143.
- [19] Badrie N, Mellowes W A. Effect of extrusion variables on cassar extrudate[J]. J Food Science, 1991, 56(5): 1443.
- [20] Miller R C. Low moisture extrusion: effect of cooking moisture on product characteristics[J]. J Food Science, 1985, 50 (5): 1443.
- [21] Chinnaswamy R. 实验设计与分析[M]. 汪仁官,译.北京:中国统计出版社,1987. 132-139.