双螺杆挤压制备谷物营养早餐的研究

蒋长兴[1]，魏益民[2]
（1. 淮阴工学院生命科学与化学工程学院，江苏淮安 223003）
（2. 中国农业科学院农产品加工研究所农业部农产品加工综合性重点实验室，北京 100193）

摘要：以玉米、大米、小米的混合粉为材料，采用DSE-25型双螺杆挤压膨化实验室工作站加工谷物营养早餐食品，研究物料配比、蔗糖和单干酯添加量对产品质量指标和设备系统参数的影响，获得谷物营养早餐食品较优配方：玉米、大米、小米混合比例6:2:2（*m/m*），砂糖8%，甜蜜素0.1%，食盐0.5%。在此条件下，产品口感酥脆、颜色金黄、风味独特。

关键词：谷物早餐；膨化；产品质量；系统参数

文章篇号：1673-9078(2012)9-1186-1189

Preparation of a nutritional Eereal Breakfast Food through Extrusion

JIANG Chang-xing[1], WEI Yi-min[2]
(1.College of Life Science and Chemical Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huaian 223003, China)
(2.Institute of Agro-products Processing Science and Technology, CAAS, Comprehensive Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agricultur, Beijing 100193, China)

Abstract: The mixture of com, rice, and millet was extruded in Brabender Lab-station of DSE-25 Twin-Screw Extruder. The effects of multi-grain, sucrose, and distilled monogly ceride on the extrudate qualities and extrusion system parameters were studied. The best recipe for the nutritional cereal breakfast food was determined as follows: corn 60%, rice 20%, millet 20%, sucrose 8%, saccharin 0.1% and salt 0.5%. Under these conditions, the product obtained had improved qualities of color, texutre and flavor.

Key words: cereal breakfast; extrusion; extrudate quality; system parameters

早餐谷物是以玉米、大米、小米、燕麦等谷物或其混合粉为基质材料，采用挤压膨化技术加工而成的易于消化吸收的食品形式。该产品富含碳水化合物、膳食纤维，也可在加工过程中添加必需氨基酸、维生素、矿物质等多种营养素，因而营养价值较高。通过挤压膨化加工，食品色香味均得到改善，并且产品花色各异，种类多样，可满足不同层次的消费需求。在以谷物食品为主食的发展中国家，谷物基质的挤压膨化加工技术在为人类提供营养丰富的食品方面发挥了越来越重要的作用。结合消费需求，开发早餐谷物食品，对于推动食品工业发展，提高消费者健康水平具有深远意义[1,2]。

有关不同谷物品种挤压加工特性差异研究、混合粉挤压特性研究，以及添加辅料试验研究国内外已有报道。挤压膨化加工后，米粉、大麦粉、大豆粉、黑米粉、小麦粉、红小豆、小米的亮度指数和红-蓝值依次下降；淀粉破损率5.4~10.9%；红小豆粉吸水性指数最高；大豆粉吸水性指数最小，而水溶性指数最大[3]。将黑米、大麦、小麦、小米、大豆、红豆按一定比例混合，挤压加工后产品吸水速度快，硬度大，胶粘性好[4]。以黑麦、冬小麦、玉米、小米为原料，加工谷物挤压膨化食品。加工温度100/150 ℃（两区温度），物料含水量15%，螺杆转速100 r/min时，产品氮溶性指数最小；加工温度100/150，物料含水量25%，螺杆转速150 r/min时，产品氮溶性指数最大。与挤压膨化前的原料相比，挤压膨化后的黑麦、玉米、小米蛋白质功能特性有所下降，而冬小麦氮溶性指数有所增加[5]。随着糖的添加量增大，产品水分、体积膨化率、吸水性指数、产品孔隙度变小，而体积密度、水溶性指数呈上升趋势；物料含水量15%时，蔗糖添加量变化对设备机械能损耗值影响较小；物料含水量20%时，随着蔗糖添加量增加，机械能损耗值急剧下降[6~8]。添加蔗糖还可有效地杀灭谷物基挤压膨化食品中的黄曲霉毒素[9]。试验以玉米、大米、小米的混合粉为材料，采用DSE-25型双螺杆挤压膨化实验室工作站加工谷物营养早餐食品，研究物料配比、蔗糖和单干酯对设备系统参数和

收稿日期：2012-05-14

作者简介：蒋长兴（1977-），男，博士，主要从事食品加工工艺研究

产品质量的影响，获得谷物营养早餐食品膨化较优工艺参数组合。

1 材料与方法

1.1 试验设备

试验设备为DSE-25双螺杆挤压膨化实验室工作站（DSE-25, Brabender OHG, Duisburg, Germany），由驱动单元、组合式套筒和同向双螺杆及喂料器组成。套筒分为喂料区、混合区、剪切区和泻压区四个区。加工温度、螺杆转速和喂料速度均为无级可调。检测区配有温度、压力探测器和传感器，可通过计算机进行全程控制，直接读取膨化加工过中的扭矩、压力和各区温度等参数。设备生产率最高可达40 Kg/h。

1.2 试验材料

供试样品为玉米（珍子）、大米、小米（冀谷十七）。玉米、大米购于北京市超市发超市。小米由河北省农业科学院谷子研究所选育、种植，并提供原料。

1.3 工艺路线

配料→加水调湿→混匀→挤压膨化→包装→成品

1.4 试验方法

1.4.1 挤压膨化试验方案设计

1.4.1.1 物料配比试验

表1 物料配比比例 （%）

Table 1 Component contents in the extrusion experiments

编码	玉米	大米	小米
K_1	80	0	20
K_2	60	20	20
K_3	80	20	0
K_4	70	20	10
K_5	100	0	0

设计加工温度（1区至5区）90 ℃、120 ℃、160 ℃、170 ℃、180 ℃，螺杆转速120 r/min，喂料速度16 r/min，模口直径6 mm，物料含水量16%。大米粉碎并过60目筛。玉米、大米、小米按表1中的比例进行配比，混匀，每份称取200 g，水分调节至16%，搅拌均匀后装入封口袋中备用。

1.4.1.2 添加辅料试验

设计加工温度（1区至5区）90 ℃、120 ℃、160 ℃、170 ℃、180 ℃，螺杆转速120 r/min、喂料速度16 r/min、模口直径6 mm，物料调节水分16%，食盐添加量0.5%。砂糖添加量（*m/m*）选用4%、6%、9%三个水平，单干酯添加量（*m/m*）选用0%、0.3%、0.6%、0.9%四个水平。添加辅料时先把玉米、大米、小米三种物料混匀，按试验设计加入所需砂糖和单干酯，混匀，再加入所需蒸馏水，搅拌均匀后装入封口袋中备用。

1.4.2 产品评价指标与方法

产品径向膨化率：用游标卡尺测定样品直径，每个样品随机测定10次；求其平均值作为产品的平均直径，除以模口直径（6 mm），其商为径向膨化率。产品水分含量：参照AACC 44-15A

水溶性指数和吸水性指数：将产品磨成粉，取过60目筛网的样品1.6~2.0 g（干基W_0），放入已知重量的离心管（W_1）中，加入25 mL蒸馏水，震荡，直至膨化物粉被完全分散。30 ℃水浴中保持30 min，间隔10 min手摇30 s。4200 r/min离心15 min。将上清液倒入500 mL烧杯（恒重值W_2）中，105 ℃烘至恒重（W_3），称离心管重（W_4）。

$$水溶性指数=\frac{W3-W2}{W0}\times 100\%$$

$$吸水性指数=\frac{W4-W1}{W0}\times 100\%$$

色差指数：将产品磨成粉，取过60目筛网的样品，用CR-400型色彩色差仪测定。质构特性：取6 cm产品1根，垂直于切刀(HDP/KS5)平放在质构仪（TA-XT2）测试平台上，固定后测试。仪器参数设定为最小感应力5 g，测试速度2.0 mm/s，测试距离2 cm。质构分析指标为最大应力（N）、破碎能量（N·s）

2 结果与分析

2.1 物料配比对产品质量的影响

表2 物料配比对产品质量的影响

Table 2 Effects of component ratio on extrudate qualities

处理	径向膨化率/(d/R)	产品水分/%	水溶性指数/%	吸水性指数/%	最大应力/N	破碎能量/N·s	色差	
							L*	B*
K_1(8:0:2)	11.17±0.60b	9.33±0.02a	59.95±3.8a	224.89±46.6cd	121.52±34.4a	344.97±43.0a	84.68±0.3ab	-3.29±0.1c
K_2(6:2:2)	10.45±0.35cd	9.32±0.05a	64.87±4.6a	166.69±42.1d	111.42±15.9ab	339.71±38.6ab	84.97±0.2ab	-3.56±0.0d
K_3(8:2:0)	11.96±0.8 2a	9.28±0.00a	51.22±6.4a	319.63±26.2b	105.57±17.9ab	324.94±31.7ab	84.85±0.1ab	-2.94±0.1b
K_4(7:2:1)	12.12±0.59a	9.21±0.00a	53.79±7.6a	287.00±23.6bc	87.81±4.9bc	287.65±30.6bc	84.57±0.3ab	-3.48±0.1d
K_5(10:0:0)	10.67±0.38bc	8.89±0.02b	57.82±4.7a	292.60±49.3bc	73.26±7.5c	249.18±8.6c	84.06±0.2c	-2.14±0.0a

注：同一列中不同英文字母表示在a=5%水平上有显著差异；（x±SD）表示（均值±标准差）。

试验结果表明，物料配比对产品质量有极显著影响（a<0.01）。由表2可以看出，大米添加量20%时，产品径向膨化率最大。随着小米添加量的增加，产品径向膨化率呈下降趋势。随着玉米添加量减少，产品的玉米香味逐渐减弱，直至完全丧失；物料配比对产品水分的影响不显著。玉米、大米、小米配比物料对应的产品水分均高于单一玉米物料对应的产品水分；物料配比对产品水溶性指数的影响不显著，所有的配比物料对应产品的水溶性指数均大于50%；物料配比对产品吸水性指数的影响达到显著水平。玉米、大米、小米比例6:2:2的配比物料对应的产品吸水性指数最小。小米添加量保持20%不变，大米添加量在0~20%的范围内变化时，产品吸水性指数变化不显著；物料配比对产品质构的影响达到显著水平。玉米、大米、小米配比物料对应的产品质构指标（最大应力、破碎能量）均高于单一玉米物料对应的产品质构指标；物料配比对L*、b*的影响显著，对a*的影响不显著。玉米、大米、小米的配比物料对应产品的L*值均高于单一玉米物料对应产品的L*值。而玉米、大米、小米配比物料对应产品的b*值均高于单一玉米物料对应产品的b*值。

总之，就以上指标而言，与混合物料相比，单一玉米物料更适合用来加工挤压膨化食品。玉米挤压膨化产品与配比物料挤压膨化产品相比，径向膨化率、产品水分、吸水性指数、最大应力、破碎能量均较小，而玉米膨化产品与配比物料膨化产品的相比，水溶性指数无显著差异，并且水溶性指数高达60%。玉米挤压膨化产品口感酥脆，颜色金黄，香味诱人。然而玉米自身存在一定的营养缺陷和食用缺点：玉米蛋白质中的氨基酸配比不平衡，赖氨酸、色氨酸含量较低；人体对玉米蛋白质消化吸收利用率不高；玉米由于表皮不易破碎，加工成食品口感粗糙。而小米营养丰富，与玉米、小米相比，色氨酸和色氨酸含量较高。但与大米相比，小米中赖氨酸含量又显得偏低。因此，以玉米为主料，在不影响膨化产品口感、风味、外观色泽的前提下，配以一定比例的大米、小米，加工谷物挤压膨化食品，以此提高谷物膨化食品中必需氨基酸、维生素、矿物质的消化吸收利用率，提高谷物膨化食品的营养价值。通过对产品质量指标进行比较分析，认为玉米、大米、小米按6:2:2比例配比的物料适合用来加工谷物挤压膨化食品。

2.2 砂糖和单干酯对系统参数的影响

砂糖对系统参数的影响达到极显著水平（a<0.01）。从扭矩、4区压力来看，在a=0.05水平上，所有处理A_1、A_2、A_3之间均有显著性差异，随着砂糖添加量增大，扭矩、4区压力呈下降趋势；从5区压力来看，仅A_1与A_2、A_3之间有显著性差异，随着砂糖添加量增大，5区压力呈下降趋势。这可能是由于一方面砂糖与淀粉分子争夺水分，水分不能顺利地进入淀粉分子内部，阻碍淀粉分子发生糊化反应，致使淀粉膨胀速度、糊化度、糊化粘度下降。另一方面，大量的水分子与砂糖分子结合，并聚结在淀粉颗粒的表面，从而降低物料粘度，起到润滑物料的作用。所以，随着砂糖含量的增加，物料粘度、糊化度均下降，在机筒内受到的阻力减少，因而扭矩、压力呈下降趋势。

单干酯对设备系统参数的影响达到极显著水平（a<0.01）。从扭矩、4区压力来看，在a=0.05水平上，B_4与B_1、B_2、B_3之间均有显著性差异，随着单干酯添加量增加，扭矩、4区压力呈下降趋势（表3）。

表3 砂糖和单干酯对系统参数的影响

Table 3 Effects of sucrose and monoglyceridon extrusion system parameters

处理	扭矩/N·m	4区压力/Bar	5区压力/Bar
A_1	169.77±5.6a	28.90±2.8a	11.15±0.7a
A_2	157.01±9.4b	27.50±3.1b	10.91±0.7b
A_3	145.83±2.1c	26.86±3.0c	10.85±1.0b
B_1	157.71±9.6c	25.58±1.1c	10.80±0.6b
B_2	159.99±11.8b	25.68±1.9c	10.32±0.6c
B_3	160.93±8.9b	27.42±1.3b	10.80±0.5b
B_4	161.50±13.2a	32.32±1.3a	11.96±0.7a

注：同一列中不同英文字母表示在a=5%水平上有显著差异；A_1、A_2、A_3分别表示砂糖添加量4%、6%、9%；B_1、B_2、B_3、B_4分别表示单干酯添加量0%、0.3%、0.6%、0.9%；（x±SD）表示（均值±标准差）。

2.3 砂糖和单干酯对产品质量的影响

添加砂糖对产品质量的影响达到极显著水平（a<0.01）。从产品径向膨化率、最大应力、破碎能量来看，在a=0.05水平上，所有处理A_1、A_2、A_3之间均有显著性差异。随着砂糖添加量增加，产品径向膨化率、最大应力、破碎能量均呈下降趋势；从产品水分来看，仅A_3与A_1、A_2之间有显著差异。随着砂糖添加量增加，产品水分呈下降趋势；从产品水溶性指数来看，仅A_3与A_1之间有显著差异，随着砂糖添加量增加，产品水溶性呈上升趋势；从产品吸水性指数来看，仅A_1与A_2、a_3之间有显著差异，随着砂糖添加量增加，产品吸水性指数呈下降趋势。另外，随着砂糖添加量增加，L*、

b*呈减小趋势，而a*则呈增大趋势。这可能是由于砂糖在高温、高压、高剪切力的作用下与氨基酸发生美拉德反应，生成棕色产物。因而随着砂糖添加量增加，产品的亮度指数和黄蓝值下降，而产品红绿值呈上升趋势。

表4 砂糖和单干酯对产品质量的影响

Table 4 Effects of sucrose and monoglycerid on extrudate qualities

处理	径向膨化率/(d/R)	产品水分/%	水溶性指数/%	吸水性指数/%	最大应力/N	破碎能量/N·s	色差		
							l*	a*	b*
A_1	9.99±0.6a	7.68±0.1a	46.45±13.0b	387.84±93.9a	67.63±12.0a	184.24±25.1a	84.34±0.8a	-2.10±0.4c	31.56±1.3a
A_2	9.46±1.2b	7.73±0.3a	48.78±14.7ab	352.99±97.8b	54.66±13.6b	151.97±52.2b	82.92±1.3b	-1.41±0.6b	31.21±1.1a
A_3	8.38±0.8c	7.42±0.2b	51.99±12.7a	358.42±83.0b	27.14±4.8c	57.05±14.2c	82.33±0.8b	-0.26±0.4a	29.21±0.7b
B_1	9.94±0.8a	7.89±0.3a	58.34±6.3a	280.52±18.8c	53.68±17.0a	158.13±62.9a	83.85±0.7a	-1.78±0.8d	31.31±1.7a
B_2	9.63±0.8b	7.64±0.1b	55.76±3.9a	338.49±24.5b	49.45±17.5ab	138.94±62.2b	83.57±0.9ab	-1.42±0.8c	31.30±0.9a
B_3	9.52±1.1b	7.61±0.2b	52.91±10.5a	348.11±75.1b	45.42±24.5b	106.38±64.8c	82.94±1.7bc	-0.76±0.9a	29.68±0.9c
B_4	9.03±1.2c	7.46±0.2c	29.28±2.1b	498.54±6.0a	50.68±21.2ab	120.90±59.5c	82.42±1.3c	-1.06±0.8b	30.35±1.6b

注：同一列中不同英文字母表示在a=5%水平上有显著差异；A_1、A_2、A_3分别表示砂糖添加量4%、6%、9%；B_1、B_2、B_3、B_4分别表示单干酯添加量0%、0.3%、0.6%、0.9%；（x±SD）表示（均值±标准差）。

单干酯对产品质量的影响达到极显著水平（a<0.01）。从产品径向膨化率、产品水分、吸水性指数来看，除B_2、B_3之间无显著差异外，其它处理之间均有显著差异。随着单干酯添加量的增加，径向膨化率、产品水分均呈下降趋势，而吸水性指数呈上升趋势。从产品水溶性指数来看，仅B_4与B_1、B_2、B_3之间有显著差异，其它处理之间差异均不显著。随着单干酯添加量的增加，产品水溶性指数呈下降趋势。从最大应力来看，仅B_1与B_3之间有显著差异。在所有处理中，B_3（单干酯添加量0.6%）对应产品的最大应力值最小。从破碎能量来看，除B_3、B_4之间无显著差异外，其它处理之间均有显著性差异。随着单干酯添加量的增加，产品破碎能量呈下降趋势。从L*值来看，仅B_1与B_4之间有显著差异，B_4（单干酯0.9%）对应产品L*值最小。另外，在所有处理中，B_3对应产品a*最大，而对应产品b*最小。

2.4 交互效应对系统参数和产品质量的影响

辅料试验方差分析结果表明，除添加砂糖和单干酯对系统参数和产品质量有极显著影响外，砂糖和单干酯的交互效应对系统参数和产品质量也有极显著影响（a<0.01）。当物料中砂糖添加量很少或者不添加砂糖时，单干酯添加量对系统参数和产品质量影响较为显著。而随着砂糖添加量较高，单干酯系统参数和产品质量影响程度会大大减弱。物料中单干酯添加量较高时（>1%），膨化食品风味变差，咀嚼时有种蜡质感。因此，在加工谷物挤压膨化食品时，建议不使用单干酯。使用砂糖能赋予谷物挤压膨化产品良好的外观、口感和风味。砂糖添加量一般在7%~9%时较为合适。砂糖的添加量较高时，有更多的糖参与美拉德反应，产生的糖氨类物质，影响产品外观，同时美拉德反应消耗氨基酸，导致产品营养价值下降。另外，砂糖含量较高时，产品口感发腻。为保证产品有足够的甜度（12%左右，以砂糖为基准），可在原料预处理时，添加一定量的甜味剂（如甜蜜素）来代替部分砂糖。研究结果表明，8%砂糖与0.1%的甜蜜素配合使用即可达到12%的甜度（以砂糖为基准），能够被大多数消费者所接受。

3 结论

物料配比比例，砂糖、单干酯对设备系统参数和产品质量指标的影响达到极显著水平（a<0.01）。随着小米添加量增加，玉米添加量减少，产品径向膨化率呈下降，玉米香味减弱。大米添加量20%时，产品径向膨化率最大。随着砂糖添加量增加，扭矩、4区压力、5区压力、产品水分、径向膨化率、吸水性指数、最大应力、破碎能量、L*、b*均呈下降趋势，而水溶性指数、

a*呈上升趋势。随着单干酯添加量增加，扭矩、4区压力、径向膨化率、产品水分、水溶性指数、破碎能量呈下降趋势，而产品吸水性指数呈上升趋势。物料中单干酯添加量较高时（>1%），膨化食品风味变差，咀嚼时有蜡质感，建议不使用单干酯。使用砂糖能赋予谷物挤压膨化产品良好的外观、口感和风味。砂糖添加量一般在7%~9%时较为合适。谷物营养早餐食品挤压膨化加工最佳工艺参数组合为加工温度180 ℃，螺杆转速120 r/min、喂料速度16 r/min、模口直径6 mm，玉米、大米、小米混合比例6:2:2（*m/m*），物料调节水分16%，食盐添加量0.5%，砂糖8%（*m/m*），甜蜜素0.1%。

参考文献

[1] 吴运生.开发膨化主食快餐 [J].粮食与饲料工业,1999,8:46-47

[2] 王显伦,顾芯,李金熠,等. 谷物配餐食品研究[J].郑州粮食学院学报,1997,18(1):81-85

[3] Young-Tack Lee, Sung-Soo Kim, Eun-Mi Chae. Physicochemical properties of selected cereals and legumes for the production of extruded multi-grain [J]. Han'Guk Nonghwa Hakhoechi, 2001, 44(1): 30-34

[4] Young-Tack Lee, Ho-Moon Seog, Sung-Soo Kim, et al. Quality characteristics of reconstituted multi-grain by extrusion process [J]. Han'Guk Sikp'Un Kwahak Hoechi, 1997, 29(5): 963-968

[5] Dahlin K, Lorenz K. Nitrogen solubility of extruded cereal grains [J]. Food Science & Technology -Lebensmittel -Wissenschaft & Technologie, 1993, 26(1): 49-53

[6] Onyango Calvin, Henle Thomas, Ziems Anette, et al. Effect of extrusion variables on fermented maize–finger millet blend in the production of uji [J]. Lebensmittel-Wissenschaft & -Technologie /Food Science & Technology, 2004, 37(4): 409-415

[7] Barrett A, Kaletunc G, Rosenburg S, et al. Effect of sucrose on the structure, mechanical strength and thermal properties of corn extrudates [J]. Carbohydrate-Polymers, 1995, 26(4): 261-269

[8] Hsieh F, Grenus K M, Hu L, et al. Twin-screw extrusion of flour with salt and sugar [J]. Cereal Chemistry, 1993, 70(5): 493-498

[9] Castelo M M, Jackson L S, Hanna, M A, et al. Loss of fuminosin B1 in extruded and baked corn-based foods with sugars [J]. Journal of Food Science, 2001, 66(3): 416-421

现代食品科技