

# 挤压工艺参数对膨化杂粮粉感官品质的影响

王丽娟<sup>1,2</sup>, 杨雪飞<sup>1</sup>, 黄毅<sup>1</sup>, 姜绍通<sup>1,2</sup>, 郑志<sup>1,2,\*</sup>

(1.合肥工业大学生物与食品工程学院, 安徽 合肥 230009; 2.安徽省农产品精深加工重点实验室, 安徽 合肥 230009)

**摘要:** 利用DS32-I双螺杆挤压机, 以小米粉、糯玉米粉、黄豆粉、小麦粉、燕麦粉、糙米粉、麦麸为膨化杂粮粉原料, 研究物料水分、机筒温度、螺杆转速和喂料转速对挤压膨化杂粮粉感官品质的影响。结果表明: 影响膨化杂粮粉产品感官品质的因素为物料水分>机筒温度>喂料转速>螺杆转速, 膨化杂粮粉在物料水分16%、螺杆转速150r/min、机筒三段温度80℃-145℃-165℃、喂料转速20r/min时, 膨化杂粮粉的感官品质较好, 有淡淡的谷香味, 色泽为浅黄色, 口感较细腻, 入水易成糊状, 无结团和沉淀, 水溶分散性好, 感官综合评分达到7.86。

**关键词:** 挤压; 膨化杂粮粉; 工艺参数; 感官

## Effect of Twin-Screw Extrusion Parameters on the Sensory Quality of Extruded Cereals

WANG Li-juan<sup>1,2</sup>, YANG Xue-fei<sup>1</sup>, HUANG Yi<sup>1</sup>, JIANG Shao-tong<sup>1,2</sup>, ZHENG Zhi<sup>1,2,\*</sup>

(1. School of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Key Laboratory for Agriculture Products Processing of Anhui Province, Hefei 230009, China)

**Abstract:** Extruded cereals were produced from millet, glutinous rice, soybean, wheat, oat, brown rice and wheat bran flours using a DS32-I twin-screw extrusion machine. The sensory quality of extruded cereals was investigated with respect to three operating parameters including moisture content, barrel temperature distribution, screw rotation speed and feeding rotation speed. These variables were ranked in descending order of importance: moisture content, barrel temperature distribution, feeding rotation and speed screw rotation speed. Under the conditions of 16%, 150 r/min, 80 °C then 145 °C and finally 165 °C and 20 r/min for moisture content, screw rotation speed, barrel temperature distribution and feeding rotation speed, respectively, The extruded cereals had improved sensory quality, a faint aroma of cereals, a light yellow color and a delicate taste. In addition, they easily formed a paste in water without agglomeration or settlement but with good dispersity.

**Key words:** extrusion; extruded nutritional engineered cereals; process optimization; sensory quality

中图分类号: TS210.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)12-0067-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201312014

食品的挤压过程是一个复杂的输入输出体系。国内外学者对谷粉的挤压已做了大量研究<sup>[1-2]</sup>, 但原料多为单一的谷物, 膨化杂粮粉的挤压理论并不完善, 多集中于挤出物膨化率、糊化度、吸水性指数、水溶性指数、硬度及容重等理化特性指标的变化研究<sup>[3-11]</sup>。

感官品质最能直接反映消费者的感受, 是复合杂粮产品质量的核心内容。口感是膨化食品一个非常重要的指标, 风味反映了谷物膨化食品的香味, 谷香味越浓, 吃起来越香。玉米、小米、黄豆与糙米等复合膨化食品中, 三者成分越多, 产品色度越接近黄色, 对刺激食欲, 有一定的作用。冲调性是谷物即食粉制品的关键指标, 也是影响其食用性的限制性因素。风味、色泽、口感和冲调性是膨化杂粮粉的重要感官品质指标。不同原料的理化性质、组

分含量和营养价值存在一定差异, 在挤压过程中物料的变化不同, 没有统一应用于膨化杂粮粉挤压的精确理论模型, 也难以从挤压机的结构参数、物料的特性以及挤压工艺参数来预测膨化杂粮粉的感官食用特性<sup>[12-13]</sup>。

双螺杆挤压机是一个多输出系统, 其影响因素主要为原料配方、系统参数及工艺参数<sup>[14]</sup>。系统参数与工艺参数之间存在函数关系, 在原料配方确定的基础上, 影响膨化杂粮感官特性的因素主要为工艺参数。因此, 本实验通过单因素试验和正交试验, 探讨双螺杆挤压机关键工艺参数物料水分、螺杆转速、机筒温度及喂料转速对膨化杂粮粉感官特性指标风味、色泽、口感和冲调性的影响, 建立双螺杆挤压机操作参数对膨化杂粮粉感官特性指标影响规律, 寻找膨化杂粮粉感官品质最佳时的操作参数。

收稿日期: 2012-04-04

基金项目: 安徽省2011年度科技计划项目(11010302149)

作者简介: 王丽娟(1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品资源的综合利用。E-mail: wanglijuan.163163@163.com

\*通信作者: 郑志(1971—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工与贮藏工程。E-mail: zhengzhi@hfut.edu.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

小米粉、糯玉米粉、黄豆粉、燕麦粉、糙米粉 安徽燕之坊食品有限公司；小麦粉 家乐福超市；麦麸 安徽丰大股份有限公司。

### 1.2 仪器与设备

DS32-I双螺杆挤压机 济南赛信机械有限公司；LD-750A型高速多功能摇摆粉碎机 浙江永康市红太阳机电有限公司；AR1140天平 美国奥豪斯公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 膨化杂粮粉的挤压工艺流程

粗原料→粉碎→过筛→谷粉混合→调制→水分平衡→双螺杆挤压→冷却→粉碎→过筛→膨化杂粮

#### 1.3.2 单因素试验

前期研究确定原料配比为：糙米粉18.00%、小麦粉5.00%、燕麦粉7.00%、小米粉5.00%、糯玉米粉51.88%、黄豆粉5.12%、麦麸粉8.00%。通过单因素试验研究物料水分、螺杆转速、机筒三段加工温度、喂料转速对膨化杂粮粉感官的影响。每次实验重复3次，结果取平均值。

##### 1.3.2.1 物料含水量单因素试验

固定螺杆转速为130r/min，喂料转速为25r/min，机筒三段加工温度为80℃-135℃-155℃，进行物料水分单因素试验，共设5个处理，分别为14%、16%、18%、20%、22%。

##### 1.3.2.2 螺杆转速单因素试验

调整物料水分为18%，固定喂料转速为25r/min，机筒三段加工温度为80℃-135℃-155℃，进行螺杆转速单因素试验，共7个处理，分别为90、110、130、150、170、190、210r/min。

##### 1.3.2.3 机筒温度单因素试验

调整物料水分为18%，固定螺杆转速为130r/min，喂料转速为25r/min，进行机筒三段加工温度的单因素试验(每个水平以第Ⅲ区温度为代表，正交试验同)，共7个处理，如表1所示。

表1 机筒三段温度设计水平

Table 1 Different designs for barrel temperature distribution

处理	I区	II区	III区
1	80	115	135
2	80	125	145
3	80	135	155
4	80	145	165
5	80	155	175
6	80	165	185
7	80	175	195

##### 1.3.2.4 喂料转速单因素试验

调整物料水分为18%，固定螺杆转速为130r/min，机

筒三段加工温度为80℃-135℃-155℃，进行喂料转速的单因素试验，共7个处理，分别为15、20、25、30、35、40、45r/min。

### 1.3.3 正交试验方法

在单因素试验的基础上，为探求膨化杂粮粉产品感官品质的最佳状态，选择物料水分(A)、螺杆转速(B)、机筒温度(C)、喂料转速(D)四因素为研究对象，应用 $L_{16}(4^4)$ 正交试验安排表，最后一列为误差列，每次实验重复3次。

### 1.4 感官评定方法

感官评定方法依据粮食复合膨化食品生产质量评价指标<sup>[15]</sup>制定，并参考安红周等<sup>[16]</sup>的方法。组织6人专业品评小组(男女各半)，采用描述性的感官评估方法。取30g膨化杂粮粉，加入200mL温度100℃开水溶解，对膨化杂粮粉的风味、色泽、口感和冲调性等指标进行综合品评，评价采用10分制。感官评价指标与评分标准如表2所示。

表2 膨化杂粮粉的感官评价指标与评分标准

Table 2 Criteria for sensory evaluation of extruded cereals

评价指标	8~10分	5~7分	0~4分
风味	谷香味浓郁，有杂粮特有香气	有淡淡谷香味，但无不良气味	无谷香味或者有明显不良气味
色泽	黄色	浅黄色	暗黄泛白或灰白色
口感	细腻	较细腻	粗糙
冲调性	入水易成糊状，无结团和沉淀，水溶分散性好，黏稠度适中，颗粒流动性好	入水不马上成糊状，稍有结团或分层现象，颗粒流动性较好	入水不易成糊状，结团和分层现象严重，颗粒流动性差

综合评分=风味得分×权重(0.25)+色泽得分×权重(0.15)+口感得分×权重(0.35)+冲调性得分×权重(0.25)。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果与分析

#### 2.1.1 物料水分对膨化杂粮感官品质的影响

水是挤压膨化过程中不可或缺的成分，具有聚合物增塑剂、定型辅助剂、润滑剂、降黏剂、导热剂、熟化剂及化学反应试剂的作用<sup>[17]</sup>，影响物料在挤压机筒内的混合程度和流动方式以及螺杆对物料机械能的大小，对挤压膨化膨化杂粮的感官品质产生显著的影响。物料水分对膨化杂粮感官品质的影响见图1。

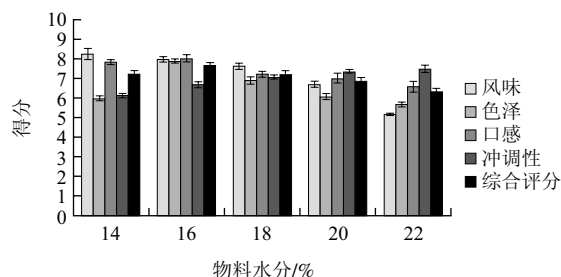


图1 物料水分对膨化杂粮感官品质的影响

Fig.1 Effect of screw rotation speed on the sensory quality of extruded cereals

由图1可知,物料水分对膨化杂粮感官各项指标的影响不同。随着物料水分的增加,膨化杂粮色泽和口感得分呈先增大后减小的趋势,在物料水分16%时达到最大值;风味得分随物料水分的增加而减少,在物料水分小于16%时,风味得分缓慢下降,当物料水分大于16%时风味得分急剧下降;而冲调性得分随物料水分的增加而缓慢增大。这是由于过量水分导致膨化杂粮水分含量增大,物料淀粉糊化度急剧减小,糊香味减弱,从而使得风味得分降低,冲调性得分缓慢增大。膨化杂粮的感官综合评分随着物料水分的增加先稍有增加后略有下降。

### 2.1.2 螺杆转速对膨化杂粮感官品质的影响

挤压机螺杆转速是生产中的一个重要工艺参数,是影响物料的剪切程度及停留时间、建立模口压力和决定生产量的关键因素<sup>[18]</sup>。螺杆转速对膨化杂粮感官品质的影响见图2。

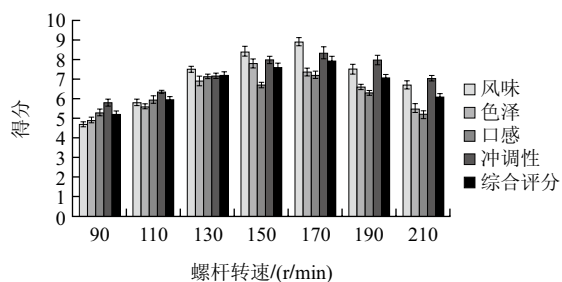


图2 螺杆转速对膨化杂粮感官评分的影响

Fig.2 Effect of barrel temperature distribution on the sensory quality of extruded cereals

由图2可知,螺杆转速对膨化杂粮感官各项指标的均有影响。随着螺杆转速的增大,膨化杂粮感官综合评分、风味、色泽和冲调性得分均呈现先增大后减小的趋势。膨化杂粮感官综合评分以及风味和冲调性得分在螺杆转速为170r/min时达到最大值,膨化杂粮色泽得分在螺杆转速为150r/min时达到最大值。随着螺杆转速的增大,膨化杂粮口感得分虽有所波动,但从整体上来看,呈增大后减小的趋势。这是因为,过高或过低的螺杆转速使物料中的水分过早蒸发或吸热不足,均不利于淀粉的糊化,且致使膨化杂粮水分残留量较多,从而时膨化杂粮的色泽和风味得分较低。

### 2.1.3 机筒温度对膨化杂粮感官品质的影响

机筒温度是挤压物料吸收热量的主要来源,直接影响物料在机筒内的变化,即物料在机筒内的流动性能和熔融体状态,这一影响致使系统参数发生改变,膨化杂粮的最终感官品质受到影响。机筒温度对膨化杂粮感官品质的影响见图3。机筒温度对膨化杂粮感官各项指标的影响不完全相同。随着机筒温度的升高,膨化杂粮感官综合评分、口感和冲调性得分均呈现先增大后减小的趋势,膨化杂粮冲调性得分和感官综合评分在机筒温度为

175℃时达到最大值,膨化杂粮口感得分在机筒温度为165℃时达到最大值。随着机筒温度的升高,膨化杂粮色泽得分虽有所波动,但从整体上来看,呈减小的趋势。膨化杂粮风味得分随着机筒温度的升高呈增大趋势,但由于过高的温度使部分物料焦糊化,随着温度的进一步升高风味得分变化幅度逐渐减小。

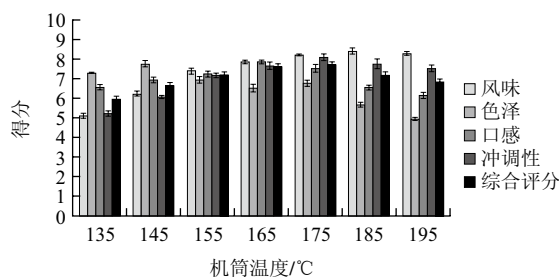


图3 机筒温度对膨化杂粮感官评分的影响

Fig.3 Effect of moisture content on the sensory quality of extruded cereals

### 2.1.4 喂料转速对膨化杂粮感官品质的影响

喂料转速决定螺杆前端混合区的填充度,对热传导率、物料受剪切程度及其停留时间<sup>[19-20]</sup>和单位机械能耗有着重要影响,是生产量的决定性因素。喂料转速与螺杆转速存在配合问题,良好的配合是生产高品质膨化杂粮,提高产量的重要条件。

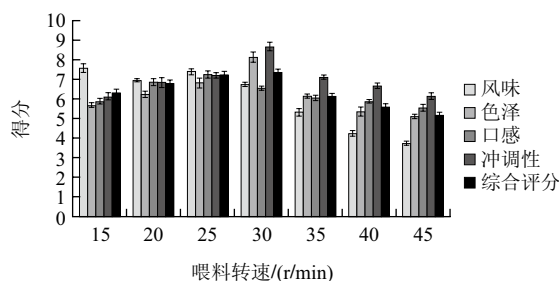


图4 喂料转速对膨化杂粮感官评分的影响

Fig.4 Analysis of variance for the sensory quality of extruded cereals

由图4可知,喂料转速对膨化杂粮感官各项指标的均有影响。随着喂料转速的提高,膨化杂粮感官综合评分、色泽、口感和冲调性得分均呈现先增大后减小的趋势。膨化杂粮色泽和冲调性得分及感官综合评分在喂料转速为30r/min时达到最大值,膨化杂粮口感得分在喂料转速为25r/min时达到最大值。随着喂料转速的增大,膨化杂粮风味得分虽有所波动,但从整体上来看,呈减小的趋势,且膨化杂粮风味得分随着喂料转速的增大变化幅度较大。

综上分析可知,较少的物料水分、适宜的机筒温度可获得较高的感官综合评分,较大或较小的螺杆转速和喂料转速均不利于获得较好的膨化杂粮感官品质。因此,综

合考虑各因素对膨化杂粮感官品质指标的影响,本实验选取物料水分14%~20%、螺杆转速110~170r/min、机筒温度145~175℃、喂料转速15~30r/min进行正交试验。

## 2.2 正交试验结果与分析

根据单因素试验分析结果,应用 $L_{16}(4^5)$ 进行正交试验,结果如表3所示。

表3 正交试验设计与结果  
Table 3 Orthogonal array design and results

试验号	A 物料水分/%	B 螺杆转速/(r/min)	C 机筒温度/℃	D 喂料转速/(r/min)	E空列	感官综合评分
1	1(14)	1(110)	1(145)	1(15)	1	6.76
2	1	2(130)	2(155)	2(20)	2	7.12
3	1	3(150)	3(165)	3(25)	3	7.32
4	1	4(170)	4(175)	4(30)	4	6.43
5	2(16)	1	2	3	4	7.22
6	2	2	1	4	3	7.35
7	2	3	4	1	2	7.47
8	2	4	3	2	1	7.82
9	3(18)	1	3	4	2	6.93
10	3	2	4	3	1	7.04
11	3	3	1	2	4	7.16
12	3	4	2	1	3	6.81
13	4(20)	1	4	2	3	6.24
14	4	2	3	1	4	6.48
15	4	3	2	4	1	6.31
16	4	4	1	3	2	6.19
$k_1$	6.907	6.787	6.865	6.880	6.982	
$k_2$	7.465	6.997	6.865	7.085	6.928	
$k_3$	6.985	7.065	7.138	6.942	6.930	
$k_4$	6.305	6.813	6.795	6.755	6.822	
R	1.160	0.278	0.343	0.330	0.160	

由表3可知,各因素对于膨化杂粮感官综合评分的影响程度不同,因素程度依次是 $A>C>D>B$ ,即物料水分>机筒温度>喂料转速>螺杆转速,最佳组合为 $A_2B_3C_3D_2$ ,即物料水分16%、螺杆转速150r/min、机筒三段温度80℃-145℃-165℃、喂料转速20r/min。

表4 感官综合评分的方差分析

Table 4 Analysis of variance for the sensory quality of extruded cereals

方差来源	偏差平方和	自由度	F比	显著性
A 物料水分	2.718	3	50.333	高度显著
B 螺杆转速	0.224	3	4.148	有一定影响
C 机筒温度	0.276	3	5.111	有一定影响
D 喂料转速	0.226	3	4.185	有一定影响
误差	0.05	3		

由表4方差分析可知,物料水分对膨化杂粮感官综合评分影响高度显著,螺杆转速、机筒温度和喂料转速对膨化杂粮感官综合评分有一定影响。方差分析因素的主次关系与极差分析的结果相一致。

## 2.3 验证实验

在 $A_2B_3C_3D_2$ 条件下进行验证实验。结果显示,因素组合为 $A_2B_3C_3D_2$ 时,膨化杂粮粉的感官品质较好,有淡

淡的谷香味,色泽为浅黄色,口感较细腻,入水易成糊状,无结团和沉淀,水溶分散性好,综合评分达到7.86。

## 3 结论

分析单因素试验结果获得,四因素对膨化杂粮粉各感官品质指标的影响趋势不同。正交试验设计及其分析结果获得,影响膨化杂粮粉膨化杂粮感官品质的因素程度为 $A>C>D>B$ ,即物料水分>机筒温度>喂料转速>螺杆转速;膨化杂粮粉感官品质最佳的挤压工艺参数为 $A_2B_3C_3D_2$ ,即物料水分16%、螺杆转速150r/min、机筒三段温度80℃-145℃-165℃、喂料转速20r/min,此时膨化杂粮粉有淡淡的谷香味,色泽为浅黄色,口感较细腻,入水易成糊状,无结团和沉淀,水溶分散性好,感官综合评分为7.86。

## 参考文献:

- [1] 杨涛,辛建关,徐青,等.双螺杆挤压技术在食品工业中的应用现状[J].食品与生物技术学报,2009,28(6):733-740.
- [2] 刘兴信.挤压技术在谷物加工中的应用[J].粮食与食品工业,2007,14(2):5-10.
- [3] BALASUBRAMANIAN S, SINGH N. Effect of extrusion process variables and legumes on corn extrudates behavior[J]. Food Science and Technology-mysore, 2007, 44(3): 330-333.
- [4] BHATTACHARYA P, GHOSH U, GANGOPADHYAY H, et al. Physico-chemical characteristics of extruded snacks prepared from rice (*Oryza sativa* L.), corn (*Zea mays* L.) and taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) by twin-screw extrusion[J]. Scientific and Industrial Research, 2006, 65(2): 165-168.
- [5] LAZOU A, KROKIDA M. Functional properties of corn and corn-lentil extrudates[J]. Food Research International, 2010, 43: 609-616.
- [6] 冉新炎,董海洲,刘传富,等.玉米挤压工艺条件的优化及其理化特性的研究[J].中国食品学报,2011(7):140-147.
- [7] HOOD-NIERFER S D, TYLER R T. Effect of protein, moisture content and barrel temperature on the physicochemical characteristics of pea flour extrudates[J]. Food Research International, 2010, 43: 659-663.
- [8] CARLOS W P, CRISTINA Y T, CHARLES I O, et al. Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: effect of particle size on the extrusion of corn meal[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 98: 103-109.
- [9] 凌彬,邢明,钟娟,等.原料组分对挤压膨化米果品质的影响[J].粮食与饲料工业,2011(5):49-53.
- [10] 潘小莉,张兆国.大豆双螺杆挤压膨化系统参数优化试验[J].中国油脂,2011,36(10):81-84.
- [11] 杨庆余,刘毅.高水分蒸煮挤压小麦混合粉的研究[J].大豆科技,2010(4):29-31.
- [12] 宁更哲,张波,魏益民,等.燕麦粉挤压膨化工艺参数研究[J].中国粮油学报,2010,25(12):28-31.
- [13] 廖威,杨如钢.玉米大米营养型复合膨化食品的研制[J].广西轻工,2008(9):3-5.
- [14] 郭宪峰,吴德胜.挤压膨化机工艺参数及其控制概述[J].粮油机械,2007(4):72-75.
- [15] 柯宏,袁林.粮食复合膨化食品生产质量评价指标探讨[J].粮食与饲料工业,2006(8):25-26.
- [16] 安红周,张康逸,李盘欣.谷物早餐食品挤压工艺的优化研究[J].食品科技,2008,34(4):33-37.
- [17] 魏益民,林双奎,赵学伟.食品挤压理论与技术(中卷)[M].北京:中国轻工业出版社,2009:89-101.
- [18] REHRAH D, AHMEDNA M, GOKTEPE I, et al. Extrusion parameters and consumer acceptability of a peanut-based meat analogue[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2009, 44: 2075-2084.
- [19] SUKSOMBOON A, LIMROONGREUNGRAT K, SANGNARK A, et al. Effect of extrusion conditions on the physicochemical properties of a snack made from purple rice (*Hom Nil*) and soybean flour blend[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2011, 46: 201-208.
- [20] 吴昊.应用挤压膨化技术生产老年杂粮营养餐的研究[D].哈尔滨:哈尔滨商业大学,2011.