

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2019.06.010

挤压工艺对糙米速食粥复水效率的影响及工艺优化

刘明¹, 朱运恒², 孟宁^{1,3}, 岳崇慧¹, 刘艳香¹, 咎学梅^{1,4}, 谭斌¹

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037; 2. 食品科学技术学会, 北京 100048; 3. 哈尔滨商业大学旅游烹饪学院, 黑龙江 哈尔滨 150076; 4. 集美大学食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 为满足人们对糙米食品的需求, 改善糙米的粗糙口感并保持其良好的营养品质, 以黑龙江圆粒粳糙米和江西早籼糙米的复合粉为原料, 通过挤压膨化技术对糙米复合粉进行加工, 采用单因素实验探讨加工工艺参数对糙米挤压速食粥复水率、复水时间与米汤固形物含量之间的关系, 经过响应面分析得到最佳加工工艺。结果表明: 最佳工艺条件为挤压温度 100 ℃、水分含量 29.22%、螺杆转速 185 r/min。该工艺制得的糙米挤压速食粥复水率为 2.359%, 复水时间为 10.67 min, 均与预期值无显著性差异, 该工艺稳定可行。本研究为糙米挤压速食粥的制作提供技术指导, 并为糙米的开发与利用提供理论基础。

关键词: 糙米; 挤压速食粥; 响应面; 挤压膨化技术

中图分类号: TS211.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2019)06-0050-07

Effect of extrusion technology on rehydration efficiency of instant brown rice porridge and process optimization

LIU Ming¹, ZHU Yun-heng², MENG Ning^{1,3}, YUE Chong-hui¹,
LIU Yang-xiang¹, ZAN Xue-mei^{1,4}, TAN Bin¹

(1. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037; 2. Chinese Institute of Food Science and Technology, Beijing 100048; 3. College of Tourism and Cooking, Harbin University of Commerce, Harbin Heilongjiang 150076; 4. College of Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen Fujian 361021)

Abstract: In order to meet the demand for brown rice food and improve the rough taste of brown rice and maintain its good nutritional quality, the composite powder of Heilongjiang round brown rice and Jiangxi early nonglutinous brown rice was used as raw material to produce instant brown rice porridge by extrusion puffing technology. Single factor experiments were used to investigate the relationship between processing parameters and the rehydration rate, rehydration time and solid content of instant brown rice porridge. The optimal processing technology was obtained by response surface analysis. The results showed that the optimum process conditions were extrusion temperature of 100 ℃, moisture content of 29.22%, and screw speed of 185 r/min, which had no significant difference with the expected values. The process was stable and feasible, which provided technical guidance for the producers of instant brown rice porridge, and a theoretical basis for the development and utilization of brown rice.

Key words: brown rice; instant porridge; response surface; extrusion technology

收稿日期: 2019-04-12

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFD0400702)

作者简介: 刘明, 1980年出生, 男, 博士.

通讯作者: 谭斌, 1972年出生, 男, 博士, 研究员.

在食品健康与安全的大背景下,全谷物食品被越来越多人所关注^[1]。而糙米作为来源广泛,营养丰富的全谷物食品,更是受到大多数人的喜爱。糙米是稻谷经砻谷机脱去颖壳后得到的产物,是一颗完整的,有生命活力的种子^[2]。其中米糠和胚芽部分富含 B 族维生素,以及钙、铁、锌等多种矿物质^[3]。此外,糙米还保留了大量膳食纤维,可以起到肠道蠕动,软化粪便的作用,可预防便秘和肠癌^[2]。

如今方便速食粥的制作工艺多样,不同的方法和工艺条件对米粒复水性影响显著^[4]。复水特性是方便粥品质重要指标之一,是其方便性和速食性的重要体现。粥粒的组织结构、组成成分直接影响整体的复水效率,在复水过程中,水分不断向米粒内扩散,其扩散速度和深度影响着产品品质;加工工艺也是影响方便速食粥复水性能的重要因素^[5-6]。本文采用挤压膨化的加工技术对糙米进行加工,这种加工方式是一种重要的物理加工手段,在挤压的混合、啮合、捏合、高温、高压过程中,使糙米发生一系列物理、化学变化,从而改变糙米的内部结构和口感品质^[7]。目前,国内外的研究学者已经深入研究挤压对大米、小米、小麦、玉米等主要谷物理化性质的影响。但目前有关糙米挤压食品的报道却很少,没有从温度、水分等方面对糙米挤压速食粥工艺进行详细的研究^[8-16]。

基于上述研究现状,本实验首先探讨单个工艺参数对糙米挤压速食粥复水效率的影响,以复水率、复水时间和米汤固形物含量为评价指标,经过响应面分析,得到糙米速食粥最佳加工工艺。以期在生产糙米挤压速食粥的产业化生产提供参考和技术支持。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

黑龙江圆粒粳糙米:黑龙江金禾米业有限公司;江西 2014 早粳糙米:产地江西;食用水。

1.2 仪器与amp;设备

FMHE36 双螺杆挤压机:湖南富马科食品工程技术有限公司;AR5120 精密电子天平:奥豪斯公司;DGG-9140BD 电热恒温鼓风干燥箱:上海

森信实验仪器有限公司;高速台式离心机:北京时代北利离心机有限公司;FW-135 型中草药粉碎机:天津泰斯特公司;TA-XT 型物性仪:英国 Stable Microsystems;SP60 积分球式分光光度仪:美国 X-rite;Startorius MA150 水分含量测定仪:德国赛多利斯科学仪器北京有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 工艺参数对糙米挤压速食粥复水效率的影响及优化

1.3.1.1 单因素实验 在大量挤压实验的基础上,设定本实验的挤压条件。其中,固定区、区、区的腔体温度为:60、90、40,区温度分别设置为:90、100、110、120、130;物料水分含量选用:29%、30%、31%、32%、33%;螺杆转速分别设置为:175、190、205、220、235 r/min;烤炉温度设置为:220、230、240、250、260,分别进行单因素实验,以糙米挤压速食粥的复水率、复水时间及米汤固形物含量等为评价指标,确定工艺参数的最佳范围。

1.3.1.2 响应面实验 在单因素实验基础上,采用二次通用旋转组合即响应面来设计实验,次数为 17 次,考察区温度、物料水分含量、螺杆转速等三个因素对糙米挤压速食粥品质的影响,采用 Design-Expert 8.0.6 软件进行挤压条件与产品品质特性的回归分析,建立复水率及复水时间为目标函数的回归模型。

根据响应面实验的中心组合设计原理,综合单因素实验结果,选取挤压温度、螺杆转速、水分含量三个因素,采用三因素的响应面分析方法优化工艺。

1.3.2 复水率及复水时间的测定

参照张敏等^[17]测定复水率及复水时间的方法。

复水率:准确称取糙米挤压速食粥成品米粒 A(g)置于烧杯中,以 1:5 的比例加入沸水,立即加盖,复水 5min 后立即沥干,并用吸水纸吸干表面水分,称重 B(g),复水率用 B/A 表示。

复水时间的测定:将一定量的糙米挤压速食粥成品米粒置于 100 开水中加盖,复水时间为米粒完全复水(米粒中心完全软化)所用时间^[18]。

1.3.3 米汤固形物含量测定

称取 10 g 样品,以 1:5 的比例加入沸水,浸泡 5 min 后将米汤倒出,放入铝盒内 105 ℃ 下干燥 12 h 至完全干燥,测其固形物质量。

1.3.4 统计分析

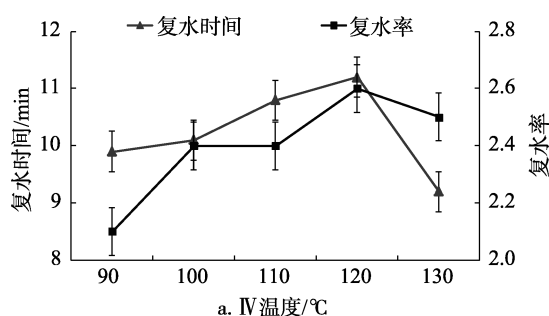
采用 Excel 统计软件进行数据统计与分析,采用 SPSS 软件做实验数据的差异性分析及相关性分析,响应面采用 Design-Expert 8.0.6 软件进行分析。

2 结果与讨论

2.1 单个工艺参数对糙米挤压速食粥品质的影响

2.1.1 挤压温度对糙米挤压速食品质的影响

由图 1a 可知,随着区温度的升高,复水时间和复水率的变化趋势基本一致,呈先上升后下降趋势,均在 120 ℃ 时达到峰值。复水率及复水时间反应了糙米挤压速食的吸水性及水溶性,复



水率越大,复水时间越短,吸水性越好,水溶性越高,该结果说明挤压温度越高,米粒经过高温烤炉二次 α 化后内部结构越疏松,越易吸水,物料在挤压过程中,淀粉糊化程度显著提高,吸水指数增加,同时,在高温、高剪切作用下,淀粉部分降解^[19],分子量降低,持水力下降,吸水指数降低,水溶性指数增加;随着温度的升高,淀粉降解程度增大,水溶性指数增加,随着温度继续升高,水溶性有所下降,结果与赵学伟等^[20]研究结果一致。

图 1b 可知,随着区温度的升高,糙米挤压速食粥的米汤固形物含量总体呈下降趋势,在 100 ℃ 到 120 ℃ 之间呈现先上升后下降的趋势,在温度为 110 ℃ 时达到峰值。米汤固形物含量反应了糙米挤压速食粥的水溶性,随着温度升高,水溶性呈先上升后下降趋势,造成米汤中固形物含量也呈先上升后下降趋势。

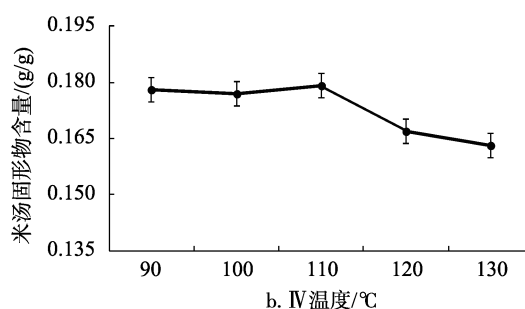


图 1 挤压温度对糙米挤压速食粥品质的影响

2.1.2 物料水分对糙米挤压速食粥品质的影响

图 2a 为物料水分含量对复水率及复水时间的影响。从图中可以看出,随着物料水分含量的增加,复水率及复水时间均呈下降趋势,但复水率变化趋势不明显,二者均在水分含量为 31% 时达到最小,复水时间水分含量在 31% 到 33% 之间有一个明显的上升趋势,可能是由于随着物料水分含量的增加,水分在物料和腔内壁之间起到一定的润滑作用,且水分会吸走一部分热量使物料温度降低,物料在挤压机腔内停留时间变短,受到的剪切作用减弱,淀粉等大分子裂解程度降低,产生的水溶性物质减少,膨化物的水溶性指数降低,吸水性指数上升,导致复水率降低,复水时间增加,结果与魏益民等^[21]研究结论相近。也有可能是因为物料水分增加,进入烤炉前式样的水

分越高,经过高温烤炉二次 α 化时,蒸发水分内部结构越致密,越不易复水。

图 2b 为物料水分对挤压速食粥米汤中固形物含量的影响。从图中可知,随着物料水分含量的增加,米汤固形物总体上呈先上升后下降趋势,在水分含量为 32% 时达到峰值。随着水分含量的增高,物料在机筒内停留时间变短,受到的摩擦力及剪切力减弱,淀粉、蛋白质等大分子物质裂解程度降低,吸水指数上升,样品更易吸水,浸泡后米汤中固形物含量增加。

2.1.3 螺杆转速对糙米挤压速食粥品质的影响

图 3 为螺杆转速对糙米挤压速食粥品质的影响。图 3a 为螺杆转速对糙米挤压速食粥复水率及复水时间的影响,由图可知,随着螺杆转速的增加,复水率呈先下降后上升趋势,复水时间总体

呈上升趋势,但在螺杆转速为 205 r/min 时有一个下降趋势。表明螺杆高速旋转时,对物料产生较大的剪切作用,同时在加热作用下,部分物质如淀粉、蛋白质等发生裂解,导致水溶性物质增多^[21],样品更易复水,造成复水率增高,复水时

间降低。图 3b 为螺杆转速对糙米挤压速食粥米汤固形物含量的影响,从图 3 可知,随着螺杆转速的增加,米汤固形物含量总体上呈上升趋势。随着螺杆转速的增加,水溶性物质增多,更易复水,造成浸泡后米汤中固形物含量的增加。

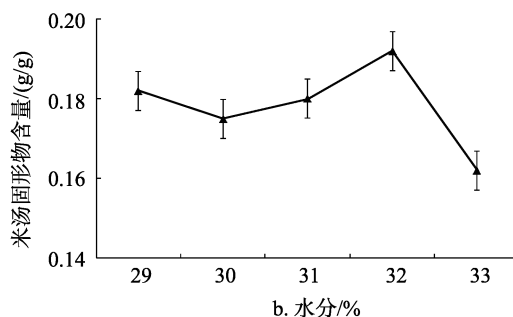
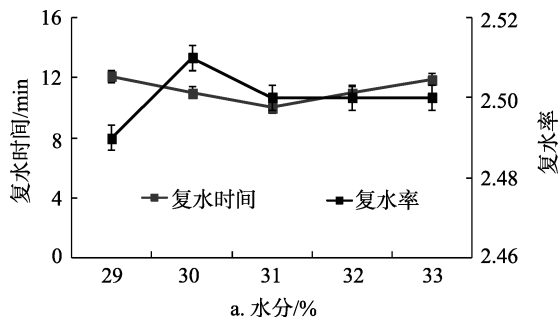


图 2 物料水分含量对挤压速食粥品质的影响

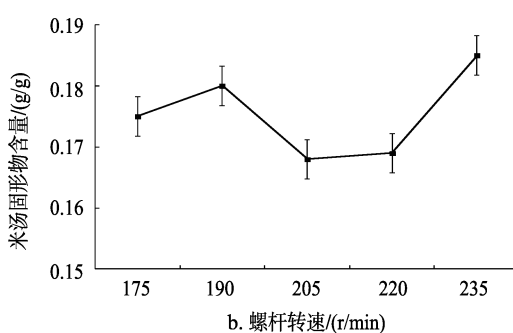
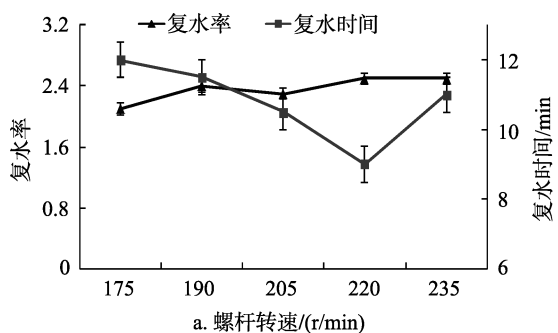


图 3 螺杆转速对糙米挤压速食粥品质的影响

2.2 响应面实验

综合单因素实验结果,选取挤压温度、螺杆转速和物料水分含量三个因素,设计糙米挤压速食粥响应面实验,设定最佳零水平为螺杆转速 190 r/min,挤压温度 110,物料水分含量 31%,确定了响应面实验因素及中心水平,详细编码见表 1,并测定千粒重、径向膨化率、复水率、复水时间和米汤固形物含量等指标,实验结果见表 2。

表 1 响应面因素及编码水平

因子	A 螺杆转速/(r/min)	B 挤压温度/	C 水分含量/%
零水平	190	110	30
变化半径 Δ	15	10	1
上水平 (+1)	205	120	31
零水平	205	110	29
下水平 (-1)	175	100	30

2.2.1 复水率响应面分析

复水率回归方程的方差分析和挤压各因素对复水率显著性分析结果见表 2~5。响应值 Y_3 (复

水率)和各因子(A、B、C)之间的回归拟合方程:

$$Y_3 = 2.54 + 0.014A + 0.15B - 2.625 \times 10^{-3}C - 0.012AB - 0.020AC - 9.250 \times 10^{-3}BC - 0.19A^2 + 0.096B^2 - 0.082C^2$$

回归方差系数 $R^2=0.9201$, 离回归标准差为 0.9021,从表 3 可知,回归模型的 $F=18.78, Pr>F=0.0004<0.05$,表明此方程拟合程度较好,回归效果显著,失拟项 $P=0.8973>0.05$,差异不明显,因此应用此方程来模拟指标与因素的关系是可行的。

将挤压温度、螺杆转速和物料水分固定,复水率随着剩余两个参数的变化趋势如图 4 所示。随着挤压温度的升高复水率呈先缓慢下降后上升趋势,随着螺杆转速的增加复水率呈先上升后下降趋势。从图 5 可知,随着水分含量的增加复水率呈先缓慢上升后缓慢下降,随着螺杆转速的增加复水率呈先上升后下降趋势。从图 6 可知,随着水分含量的增加复水率呈先上升后下降趋势,但变化趋势不显著,随着挤压温度的升高复水率呈缓慢上升趋势。

表 2 糙米挤压速食粥响应面数据

实验号	螺杆转速/(r/min)	挤压温度/	复水率	复水时间/min	米汤固形物含量/(g/g)
1	190	120	2.728	12.00	0.172
2	205	110	2.248	10.33	0.171
3	175	120	2.557	12.67	0.169
4	205	110	2.256	12.33	0.176
5	190	100	2.413	11.00	0.174
6	205	100	2.355	12.00	0.182
7	190	110	2.536	11.33	0.176
8	175	110	2.244	12.33	1.720
9	205	120	2.617	11.67	0.179
10	190	110	2.539	11.00	0.175
11	190	110	2.531	11.67	0.176
12	175	110	2.316	12.00	0.173
13	190	100	2.389	10.67	0.175
14	175	100	2.249	12.33	0.179
15	190	110	2.542	11.00	0.177
16	190	110	2.529	11.33	0.176
17	190	120	2.667	11.67	0.166

表 3 复水率回归方程方差分析表

因素	方差	自由度	均方差	F 值	P 值	显著性
A	1.512×10^{-3}	1	1.512×10^{-3}	1.16	0.317 0	
B	0.17	1	0.17	129.78	<0.000 1	**
C	5.512×10^{-5}	1	5.512×10^{-5}	0.042	0.842 9	
AB	5.290×10^{-4}	1	5.290×10^{-4}	0.41	0.542 2	
AC	1.600×10^{-3}	1	1.600×10^{-3}	1.23	0.304 4	
BC	3.422×10^{-4}	1	3.422×10^{-4}	0.26	0.624 0	
A ²	0.15	1	0.15	113.12	<0.000 1	**
B ²	0.039	1	0.039	29.90	0.000 9	**
C ²	0.029	1	0.029	21.91	0.002 3	**
模型	0.38	9	0.035	18.78	0.000 4	**
残差	9.119×10^{-3}	7	1.303×10^{-3}			
失拟项	9.002×10^{-3}	3	3.001×10^{-3}	102.41	0.897 3	
纯误差	1.172×10^{-4}	4	2.930×10^{-5}			
总和	0.39	16				

注：*在 P<0.05 水平显著，**在 P<0.01 水平极显著。

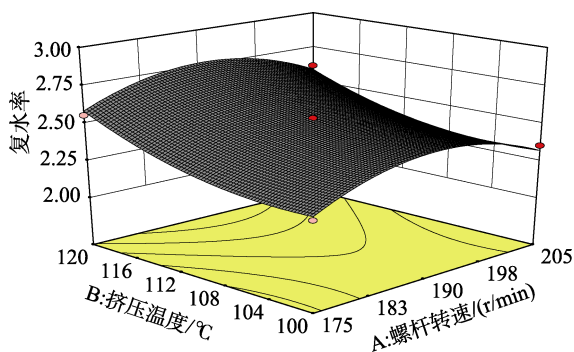


图 4 挤压温度和螺杆转速对复水率的影响

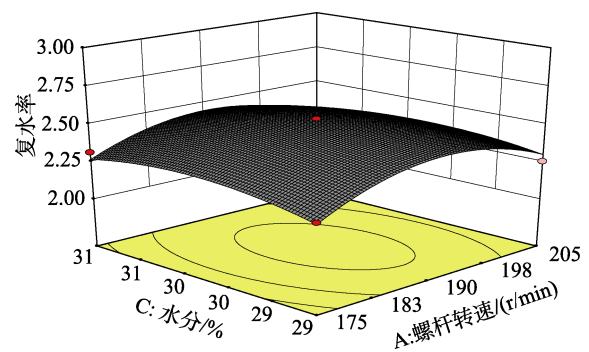


图 5 水分含量和螺杆转速对复水率的影响

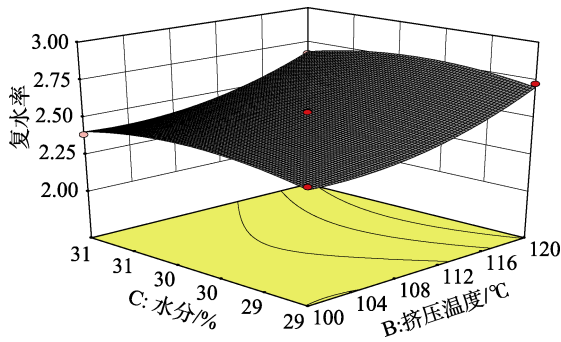


图 6 水分含量和挤压温度对复水率的影响

2.2.2 复水时间响应面分析

复水时间回归方程的方差分析和挤压各因素

对复水时间显著性分析结果见表 4。响应值 Y_4 (复水时间) 和各因子 (A、B、C) 之间的回归拟合方程：

$$Y_4 = 11.27 - 0.37A + 0.25B - 0.37C - 0.17AB - 0.42AC + 0.000BC + 0.66A^2 + 0.24B^2 - 0.18C^2$$

回归方程相关系数 $R^2=0.9217$ ，离回归标准差为 0.8736，从表 4 可知，回归模型 $F=3.83$ ， $Pr>F=0.0451 < 0.05$ ，表明该方差拟合程度较好，回归效果显著，失拟项 $P=0.1213 > 0.05$ ，差异不明显，因此该方差可用于模拟指标值与因素的关系。

表 4 复水率回归方程方差分析表

因素	方差	自由度	均方差	F 值	P 值	显著性
A	1.12	1	1.12	6.73	0.0358	*
B	0.51	1	0.51	3.02	0.1259	
C	1.12	1	1.12	6.68	0.0362	*
AB	0.11	1	0.11	0.67	0.4397	
AC	0.70	1	0.70	4.17	0.0805	
BC	-3.553×10^{-3}	1	-3.553×10^{-3}	-2.124×10^{-3}	1.0000	
A^2	1.82	1	1.82	10.86	0.0132	*
B^2	0.25	1	0.25	1.50	0.2596	
C^2	0.13	1	0.13	0.78	0.4078	
模型	5.77	9	0.64	3.83	0.0451	*
残差	1.17	7	0.17			
失拟项	0.86	3	0.29	3.66	0.1213	
纯误差	0.31	4	0.078			
总和	6.94	16				

注：*在 $P < 0.05$ 水平显著，**在 $P < 0.01$ 水平极显著

将挤压温度、螺杆转速和水分含量分别固定，复水时间随剩余两个因素的变化趋势如下图所示。从图 7 可知，随着挤压温度的升高复水时间呈上升趋势，随着螺杆转速复水时间呈先下降后上升趋势。从图 8 可知，随着水分含量的增加复

水时间呈缓慢上升趋势但变化趋势不明显，随着螺杆转速的增加复水时间呈先下降后上升趋势。从图 9 可知，随着水分含量的增加复水时间呈先缓慢升高后缓慢下降趋势，变化趋势不明显，随着挤压温度的升高复水时间呈先下降后上升趋势。

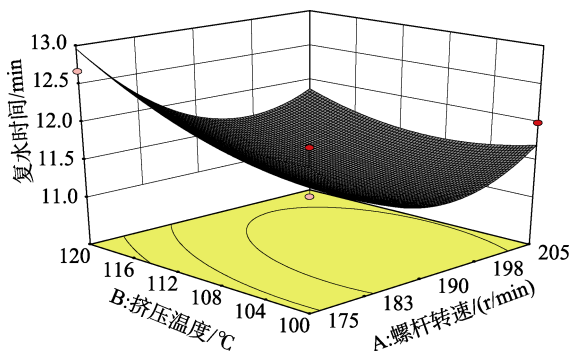


图 7 挤压温度和螺杆转速对复水时间的影响

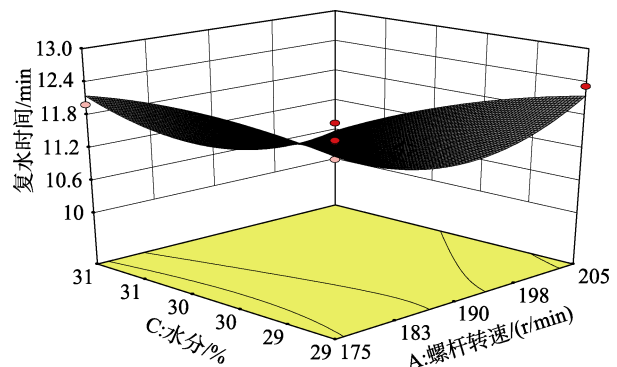


图 8 水分含量和螺杆转速对复水时间的影响

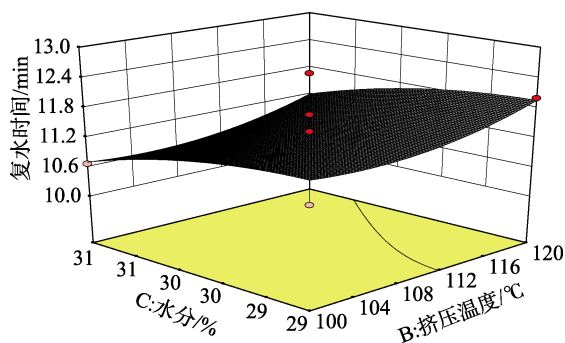


图 9 水分含量和挤压温度对复水时间的影响

2.2.3 验证实验

通过响应面实验分析得到挤压温度、螺杆转速和水分含量各因素之间的影响规律,综合分析各指标的贡献率,获得较优的挤压加工条件:螺杆转速 185 r/min,温度 100 和水分含量 29.22%。预测实验结果为:复水率 2.377%,复水时间 11.5 min。

在此优化条件下进行三次验证实验,获得糙米挤压速食粥的各项指标为:复水率 2.359% (与预测值相差 0.757%),复水时间 10.67 min (与预测值相差 7.2%)。实验结果与预测差别不显著。说明所获得的回归模型与实际拟合较好。

3 结论

经过单因素和响应面分析,糙米挤压速食粥最佳工艺条件为:螺杆转速 185 r/min,温度 100 和水分含量 29.22%,在此条件下制得的糙米挤压速食粥的复水率为 2.359%与预测值相差 0.757%,复水时间为 10.67 min 与预测值相差 7.2%,均没有显著性差异。所得工艺回归模型与实际拟合良好。

参考文献:

[1] 安红周, 杨波涛, 李扬盛, 等. 糙米全谷物食品研究现状与发展[J]. 粮食与油脂, 2013, 26(2): 40-43.
 [2] 周惠明, 张民平. 糙米中功能性成分的研究[J]. 食品科技, 2002(5): 17-19.
 [3] 詹耀. 超高压处理对糙米物性品质的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
 [4] 余珠花, 赵思明, 刘友明, 等. 方便米饭湿热处理工艺与复水特性研究[J]. 粮食与油脂, 2002(6): 5-7.
 [5] 毛军伟. 大豆、玉米和小米制备烘烤婴儿营养米粉的糊化特性研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(34): 12290-12291.
 [6] 张原箕, 郑志, 罗水忠, 等. 方便米饭生产工艺研究进展[J].

食品科技, 2009, 34(6): 139-142.
 [7] 马文静, 张瑞, 周荣雪, 等. 膨化技术及其在谷物淀粉制品中的应用研究进展[J]. 食品工业, 2018, 39(11): 226-230.
 [8] CLARK J M H J P. Food extrusion[J]. CRC Critical reviews in food science & nutrition, 1979: 155-215.
 [9] DING Q B, AINSWORTH P, TUCKER G, et al. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based snacks[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(3): 283-289.
 [10] CHAIYAKUL S, JANGCHUD K, JANGCHUD A, et al. Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(3): 781-787.
 [11] 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 & Technology, 2011, 46(1): 201-208.
 [12] 巩敏, 席亭亭, 孙翠霞, 等. 小米挤压膨化特性的差异及相关性分析[J]. 粮油食品科技, 2013, 21(5): 4-7.
 [13] TUCKER G, PLUNKETT A, AINSWORTH P, et al. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(2): 142-148.
 [14] MARTÍNEZ M, OLIETE B, GÓMEZ M. Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality[J]. Journal of Cereal Science, 2013, 57(3): 424-429.
 [15] GONZALEZ R J, GREEF D M D, TORRES R L, et al. Effects of endosperm hardness and extrusion temperature on properties of products obtained with grits from two commercial maize cultivars[J]. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 2004, 37(2): 193-198.
 [16] CHEN L, ZHENG X Q, LIU X L. Instant nutrition powder made from extrusion waxy corn[J]. Food Science & Technology, 2011.
 [17] 龙杰, 吴凤凤, 金征宇, 等. 预处理和干燥方式对方便米饭品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(9): 1-6+12.
 [18] LIU CF, WANG ZS, DONG HZ, et al. Study on the influence of ex-trusion processing on soybean residue[J]. Food Ferment Ind, 2008, 34(12): 102-105.
 [19] 刘明, 刘艳香, 张敏, 等. 双螺杆挤压工艺参数对模头压力及白高粱粉挤压产品品质特性的影响[J]. 食品工业科技, 2009(9): 95-102.
 [20] 赵学伟, 魏益民, 张波. 小米挤压膨化产品的吸湿特性及其对质构的影响[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(3): 87-91.
 [21] 魏益民. 食品挤压理论与技术[M]. 中国轻工业出版社, 2009.

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。