

营养重组米的工艺优化及营养素对品质的影响

刘小禾, 王宜崧, 张克, 薛文通*

中国农业大学食品科学与营养工程学院 (北京 100083)

摘要 以大米粉为原料, 添加一定量的抗坏血酸, 采用双螺杆挤压重组技术制备营养重组米。以重组米感官品质为指标, 在单因素试验基础上, 通过响应面优化法得到营养重组米的最优挤压条件。结果显示, 当温度为110℃, 螺杆转速为20 Hz, 喂料速度为9 Hz时, 重组米具有最佳的感官品质。在此工艺条件下, 添加不同食品添加剂, 测定重组米品质和抗坏血酸保留率。结果显示, 食品添加剂具有提高重组米硬度和抗坏血酸保留率的作用, 其中海藻酸钠对抗坏血酸保留率的提升作用最大。

关键词 营养重组米; 螺杆挤压; 营养素; 响应面优化

Process Optimization of Nutrient Restructured Rice and the Effect of Nutrients on Quality

LIU Xiaohu, WANG Yisong, ZHANG Ke, XUE Wentong*

College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University (Beijing 100083)

Abstract The rice flour was used as raw material, a certain amount of ascorbic acid was added, and the recombinant rice was prepared by twin-screw extrusion technology. Based on the single-factor experiment, the optimal extrusion condition of nutrient-recombinant rice was obtained by the response surface optimization method. The results showed that the reconstituted rice had the best sensory quality at a temperature of 110℃, a screw speed of 20 Hz, and a feed rate of 9 Hz. Under this process condition, different food additives were added to determine the quality of recombinant rice and the retention rate of ascorbic acid. The results showed that the food additive had the effect of increasing the hardness of the recombinant rice and the retention rate of ascorbic acid, and the sodium alginate had the greatest effect on the retention of ascorbic acid retention

Keywords restructured rice; screw extrusion; nutrient; response surface optimization

随着社会发展, 粮食的加工精度越来越高。过度加工导致粮食营养成分严重流失, 造成营养不均衡等不良影响^[1]。为对其进行改善, 国内外研究者以大米^[2]、玉米^[3]、荞麦^[4]等谷物为原料, 利用挤压加工技术, 研究生产营养丰富、风味独特的新型食品, 即营养重组米。这种重组米在食用时加热时间较短, 因此也被称为速食米^[5]。营养重组米有较高的食用价值和经济价值, 是一种开发前景广阔的营养型食品^[6]。

重组米在保证产品完整外形的同时, 保留原料中的各种营养成分。通过营养搭配, 在食用重组米的同时摄入多种营养素^[7]。挤压制成的重组米蒸煮时间比天然大米要短, 但速煮重组米品质与天然米之间尚存一定差距^[8]。制得的重组米不具备天然大米网络结构和固有性质, 为使产品保持较好外形、复水性及耐蒸煮性, 需要适量添加食品添加剂^[9]。

以加工后的碎米为原料, 通过单因素试验和响应面优化试验, 确定制备感官品质最优重组米的挤压工艺。在此工艺条件下, 加入不同食品添加剂, 测定重组米质构, 水合性质及抗坏血酸(VC)的保留率, 为工业制备口感风味俱佳的营养强化重组米提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

抗坏血酸(食品添加剂); 海藻酸钠; 改性大豆磷脂; 瓜尔豆胶; 水磨大米粉; 2, 6-二氯酚($C_{12}H_6Cl_2NNaO_2$)、草酸($C_2H_2O_4$)、碳酸氢钠($NaHCO_3$)等, 均为分析纯。

1.2 仪器与设备

DS32-VII实验型双螺杆挤出机(济南赛信机械

[18] 盛勇, 刘彩兵, 涂铭旌, 等. 超微粉碎面粉的蛋白质变化探讨[J]. 食品科学, 2002, 23(9): 37-39.

[19] 吴宪瑞. 黑木耳的质量标准及营养成分[J]. 中国林副特产, 1996(1): 21-22.

[20] 杨春瑜, 薛海晶. 超微粉碎对黑木耳多糖提取率的影响

[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(7): 34-38.

[21] 刘雅静, 袁延强, 刘秀河, 等. 黑木耳营养保健研究进展[J]. 中国食物与营养, 2010(10): 66-69.

[22] 杨春瑜, 柳双双, 梁佳钰, 等. 超微粉碎对食品理化性质影响的研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(1): 229-233.

有限公司); TMS-Pro质构仪(美国Food Technology公司); AR2140电子天平(梅特勒-托利多仪器有限公司); 电磁炉; SM-2.8-10型电阻炉; 数显电子游标卡尺; GS-86型电动振筛机(浙江省上虞市沙筛厂); 标准检验筛(浙江省上虞市沙筛厂); 600A型粉碎机; T6紫外可见分光光度计。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

以加工后的碎米为原料, 添加一定比例的抗坏血酸和食品添加剂。通过改变双螺杆挤压机的挤压参数, 测定强化米的品质特性和感官评价来确定最优参数。挤压工艺流程为: 原料预处理→称定→加水搅拌均匀→挤压造粒→成型→冷却干燥→成品。

1.3.2 单因素试验

1.3.2.1 双螺杆挤压机螺杆转速对重组米粒品质的影响

将600 g水磨大米粉和0.45 g抗坏血酸按比例混合, 加150 g水调质。在喂料速度7 Hz, 挤压温度100 °C条件下, 以15, 18, 20, 22和25 Hz的螺杆转速挤压造粒。将米粒自然风干48 h, 在190 °C烤箱中处理90 s, 测定成品米粒的感官品质。

1.3.2.2 双螺杆挤压机喂料速度对重组米粒品质的影响

将600 g水磨大米粉和0.45 g抗坏血酸按比例混合, 加150 g水调质。在螺杆转速22 Hz, 挤压温度100 °C条件下, 以3, 5, 7, 9和11 Hz的喂料速度挤压造粒。将米粒自然风干48 h, 在190 °C烤箱中处理90 s, 测定成品米粒的感官品质。

1.3.2.3 双螺杆挤压机挤压温度对重组米粒品质的影响

将600 g水磨大米粉和0.45 g抗坏血酸按比例混合, 加150 g水调质。在螺杆转速为22 Hz, 喂料速度为7 Hz的条件下, 以100, 110, 120, 130和140 °C的挤压温度挤压造粒。将米粒自然风干48 h, 在190 °C烤箱中处理90 s, 测定成品米粒的感官品质。

1.3.3 响应面试验

以挤压温度、喂料速度和挤压螺杆转速3个因素为自变量, 感官品质为响应值(用Y表示), 设计响应面优化试验。根据单因素试验结果, 设定物料喂料速度范围在5~11 Hz之间, 挤压温度在100~120 °C之间, 挤压螺杆转速范围在15~25 Hz之间。试验因素与水平的选取如表1所示。

表1 变量设计表

因素	间距	水平		
		-1	0	1
X_1 挤压温度/°C	10	100	110	120
X_2 螺杆转速/Hz	5	15	20	25
X_3 喂料速度/Hz	3	5	8	11

1.3.4 感官评价

参照GB/T 15682—2008《粮油检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》, 重组米感官评价标准见表2。将干燥后的重组米和水以1:0.8(g/mL)比例混合于蒸锅中蒸煮20 min, 保温10 min, 取出放置于干燥清洁的纸盘。组织挑选16位专业感官评价员组成评价小组, 从重组米的气味、外观结构、适口性、滋味、冷饭质地五个方面分别进行感官评价。重组米感官评价标准见表2。

表2 重组米感官评价标准

一级指标	二级指标	具体特性描述(分值)
气味 (20分)	纯正性、浓郁性(20分)	具有米饭特有的香气, 香气浓郁(18~20分)
		具有米饭特有的香气, 米饭清香(15~17分)
		具有米饭特有的香气, 香气不明显(12~14分)
外观结构 (20分)	颜色(7分)	米饭无香味, 但无异味(7~12分)
		米饭有异味(0~6分)
		米饭颜色洁白(6~7分)
	光泽(8分)	颜色正常(4~5分)
		米饭发黄或发灰(0~3分)
		有明显光泽(7~8分)
适口性 (30分)	饭粒完整性(5分)	稍有光泽(5~6分)
		无光泽(0~4分)
		米饭结构紧密, 饭粒完整性好(4~5分)
	黏性(10分)	米饭大部分结构紧密完整(3分)
		米饭粒出现爆花(0~2分)
		清爽, 有黏性, 不粘牙(8~10分)
冷饭质地 (5分)	弹性(10分)	有黏性, 基本不粘牙(6~7分)
		有黏性, 粘牙; 或无黏性(0~5分)
		米饭有嚼劲(8~10分)
	软硬度(10分)	米饭稍有嚼劲(6~7分)
		米饭疏松、发硬, 感觉有渣(0~5分)
		软硬适中(8~10分)
滋味 (25分)	纯正性、持久性(25分)	感觉略硬或略软(6~7分)
		感觉很硬或很软(0~5分)
		咀嚼时, 有较浓郁的清香和甜味(22~25分)
	成团性、黏弹性、硬度(5分)	咀嚼时, 有淡淡的清香滋味和甜味(18~21分)
		咀嚼时, 无清香滋味和甜味, 但无异味(16~17分)
		咀嚼时, 无清香滋味和甜味, 但有异味(0~15分)
不同食品添加剂对重组米品质及抗坏血酸保留率的影响	成团性、黏弹性、硬度(5分)	较松散, 黏弹性较好, 硬度适中(4~5分)
		结团, 黏弹性稍差, 稍变硬(2~3分)
		板结, 黏弹性差, 偏硬(0~1分)

1.3.5 不同食品添加剂对重组米品质及抗坏血酸保留率的影响

在响应面试验得出的最佳感官品质的加工工艺条件下, 分别添加海藻酸钠、瓜尔豆胶和改性大豆磷脂混合造粒。将米粒自然风干48 h, 在190 °C烤箱中处理90 s, 测定成品米粒抗坏血酸的保留率、质构性质、吸水率和溶出率。

1.3.6 指标测定

质构的测定: 称取一定量样品, 加沸水浸泡至恒

底软化后,使用FTC质构仪测定。质构测定参数:直径35 mm的圆柱形探头,测试速度60 mm/s,压缩比例70%。

水合性质的测定:参照王肇慈^[10]的方法。称取一定量样品,用沸水浸泡20 min,过滤,称其质量,分别测定其吸水率和溶解度。

1.3.7 数据分析

采用SPSS 19.0统计软件进行方差分析,各组间差异有显著性($p<0.05$);采用Office 2013作图;采用Design-Expert 10软件进行响应面设计和结果分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 螺杆转速对重组米感官品质的影响

在不同螺杆转速条件下,重组米感官评价得分情况如表3所示。重组米在转速18 Hz时,在气味、外观2个方面得分最高,滋味和适口性两方面得分也都位列第二,总分得分也较高;螺杆转速在25 Hz时,适口性、滋味两方面得分最高且总分最高。

表3 不同转速条件下重组米的感官评价

螺杆转速/ Hz	气味/ 分	外观/ 分	适口性/ 分	滋味/ 分	冷饭质地/ 分	总分/ 分
15	16.5	13.5	22.0	18.5	2.5	73.0
18	17.5	15.0	24.0	20.5	3.0	80.0
20	16.0	14.5	22.5	20.0	2.5	75.5
22	15.5	15.0	24.0	20.0	3.5	78.0
25	16.0	17.0	25.5	20.5	4.0	83.0

2.1.2 喂料速度对重组米感官品质的影响

在不同喂料速度条件下,重组米的感官评价结果如表4所示。喂料速度9 Hz时,适口性与滋味得分最高,其余感官因素也较好,且总分最高;喂料速度7,9和11 Hz这3个条件下总分差距不大。

表4 不同喂料速度条件下重组米的感官评价

喂料速度/ Hz	气味/ 分	外观/ 分	适口性/ 分	滋味/ 分	冷饭质地/ 分	总分/ 分
3	16.0	16.5	23.5	19.5	4.0	79.5
5	17.5	15.0	25.0	20.0	4.0	81.5
7	17.5	16.0	25.0	20.5	4.0	83.0
9	17.5	16.5	26.0	20.0	4.0	84.0
11	16.5	15.5	27.0	20.5	4.0	83.5

2.1.3 温度对重组米感官品质的影响

在不同温度条件下,重组米感官评价结果如表5所示。温度100 ℃时,外观、适口性两方面得分较高且总分也较高;在温度120 ℃时气味、适口性两方面得分较高。

综合单因素结果的分析,确定响应面优化工艺参数:温度100~120 ℃,螺杆转速15~25 Hz,喂料速度5~11 Hz。

表5 不同温度下重组米的感官评价

温度/℃	气味/分	外观/分	适口性/分	滋味/分	冷饭质地/分	总分/分
90	17.0	12.5	27.0	21.0	3.0	80.5
100	17.0	19.5	26.5	21.5	3.5	88.0
120	17.5	14.5	26.0	21.0	3.0	82.0
130	16.5	15.0	24.0	21.0	3.0	79.5
140	17.0	19.5	27.5	22.0	3.5	89.5

2.2 重组米的响应面优化

响应面试验结果及方差分析见表6和表7。经分析可得回归模型方程: $Y=245.50-3.38X_1+3.39X_2-2.79X_3-0.04X_1X_2+0.14X_2X_3+0.02X_1^2$ 。由表7方差分析结果可知,模型 p 值为0.008 1<0.01,方程模型极显著,而且该模型的确定系数 $R^2=82.75\%$,表明模型与实际情况拟合良好,该模型可用。由方差分析可看出,交互项AB、BC影响极显著($p<0.01$),因素 A^2 影响显著($p<0.05$)。各因素显著程度依次为挤压温度>螺杆转速>喂料速度。

表6 响应面试验设计及结果

序号	温度	螺杆转速	喂料速度	Y感官评价得分(满分100分)
1	110	15	11	82.0
2	100	25	8	85.5
3	110	20	8	80.7
4	120	15	8	84.5
5	110	25	11	83.5
6	100	20	11	82.0
7	110	20	8	81.4
8	100	20	5	84.0
9	120	20	5	85.0
10	100	15	8	81.5
11	120	20	11	84.5
12	110	20	8	81.5
13	110	15	5	84.5
14	110	25	5	77.5
15	120	25	8	80.0
16	110	20	8	80.8
17	110	20	8	81.1

表7 优化后感官评价得分的方差分析结果

变异来源	平方和	自由度	均方差	F值	p
模型	56.66	6	9.44	5.72	0.008 1**
A	0.13	1	0.13	0.076	0.788 9
B	4.5	1	4.5	2.72	0.129 9
C	0.13	1	0.13	0.076	0.788 9
AB	18.06	1	18.06	10.93	0.007 9
BC	18.06	1	18.06	10.93	0.007 9
A^2	15.79	1	15.79	9.55	0.011 4
残差	16.52	10	1.65		
失拟项	16.02	6	2.67	21.36	0.005 3**
纯误差	0.5	4	0.13		
总变异	73.18	16			

注:*表示显著性差异($p<0.05$);**表示极显著差异($p<0.01$)

据图1和图2可知,温度为挤压机中物料的混合提

供能量支持,在一定温度范围内,温度的增加可使挤压得到重组米口感更好,感官评价得分增加。温度和螺杆转速交互作用结果显示,温度在110~120℃,螺杆转速在15~21 Hz范围内,两者作用效果相反,温度高于110℃时,温度上升、螺杆转速减小有助于改善重组米的感官品质。

喂料速度的增加使物料混合速度加快,可能会导致混合不充分,螺杆转速决定机械能输入和滞留时间,进而影响物料颗粒的降解、淀粉的糊化等。根据螺杆转速与喂料速度交互作用的结果显示,螺杆转速在15~19 Hz范围内,螺杆转速与喂料速度呈正交互,螺杆转速在21~25 Hz范围内,喂料速度与螺杆转速呈负交互。螺杆转速的增大导致物料滞留时间减少,螺杆转速达到一定程度后,挤压系统中摩擦力发生变化,摩擦作用增强,系统内能量增加,加剧物料颗粒的破裂降解程度。

通过响应面分析可知,最优挤压参数为:温度112.47℃、螺杆转速20.37 Hz、喂料速度9.20 Hz。考虑到实际工艺,选择最终优化参数为:温度110℃、螺杆转速20 Hz、喂料速度9 Hz。

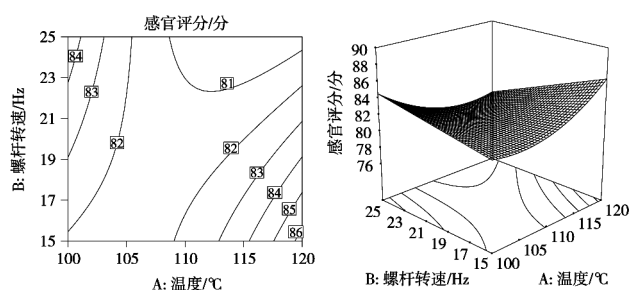


图1 温度和螺杆转速对感官品质的影响

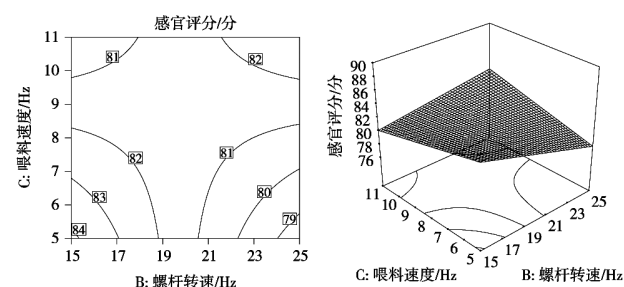


图2 螺杆转速和喂料速度对感官品质的影响

2.3 不同食品添加剂对米粒品质及抗坏血酸保留率的影响

在响应面优化试验得出的最优挤压工艺条件下,将海藻酸钠、改性大豆磷脂、瓜尔豆胶分别与抗坏血酸混合。测定结果如表8所示。

结果表明,3种食品添加剂对营养重组米中的抗坏血酸保留率均有提高的作用。其中,海藻酸钠作用

最明显,不加海藻酸钠的重组米抗坏血酸保留率为37.30%,加后的保留率为59.40%。添加瓜尔豆胶的重组米硬度最大,为12.08 N,其他添加剂也可起到增加重组米硬度的作用。海藻酸钠和改性大豆磷脂可提高重组米的吸水率,但瓜尔豆胶的添加降低重组米的吸水率。3种添加剂对重组米的溶出率有不同程度的降低,其中瓜尔豆胶的影响最大。

表8 不同食品添加剂对米粒品质及抗坏血酸保留率的影响

食品添加剂	硬度/N	保留率/%	吸水率/%	溶出率/%
VC	9.49 ± 1.27	37.30	4.54	144
VC+海藻酸钠	11.18 ± 0.66	59.40	5.07	117
VC+瓜尔豆胶	12.08 ± 1.98	55.50	4.12	82
VC+改性大豆磷脂	10.69 ± 1.82	56.00	4.59	122

3 结论

利用响应面优化试验对添加抗坏血酸的营养重组米挤压工艺进行优化,建立抗坏血酸营养重组米感官评价与螺杆转速、喂料速度和挤压温度的回归模型。由模型优化得到的抗坏血酸营养重组米的最优挤压工艺为:螺杆转速20 Hz,喂料速度9 Hz,挤压温度110℃。在该工艺条件下,添加海藻酸钠、瓜尔豆胶和改性大豆磷脂混合挤压,测定抗坏血酸营养重组米的品质及抗坏血酸保留率,发现添加食品添加剂后,重组米硬度有提高,水合性质无明显变化。同时,3种添加剂对提高抗坏血酸保留率都有明显作用,其中海藻酸钠作用最明显。

参考文献:

- [1] 王波,杨晓勇. 复配营养早餐粉的研制[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(3): 90-93.
- [2] 王会然. 挤压重组米品质特性研究[J]. 食品工业, 2015, 36(4): 92-95.
- [3] 左春桢,马成林,张守勤. 双螺杆挤压加工玉米面膨化食品的工艺和配方研究[J]. 农业工程学报, 2000(3): 91-93.
- [4] 孙于庆,冉旭,李建新. 挤压参数对荞麦方便面质量的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(2): 138-141.
- [5] HARPER J. Food extruders and their applications[J]. Extrusion Cooking, 1989(7): 357-362.
- [6] 沈宇光,肖志刚,柴媛,等. 工程重组米的研究进展[J]. 农产品加工, 2019(2): 63-65, 70.
- [7] 张颖,杨晓勇,王波,等. 营养重组米的研制[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(6): 36-39.
- [8] 刘菊芬,安红周,李盘欣. 不同添加剂对速煮重组米品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012(2): 358-361, 365.
- [9] 郭亚丽,程科,王辉,等. 重组米的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2018(9): 1-4.
- [10] 王肇慈. 粮油食品品质分析[M]. 2版. 北京: 中国轻工业出版社, 2000: 326-328.