

# 汤圆粉团混料设计及抗冻性优化

## Study on mixing design and freezing resistance optimization of glutinous rice balls

陆益钡 杜童申 马骏骅 樊炯 杨华 杨留明

LU Yi-bei DU Tong-shen MA Jun-hua FAN Jiong YANG Hua YANG Liu-ming

(浙江万里学院生物与环境学院, 浙江 宁波 315100)

(College of Biological & Environmental Sciences, Zhejiang Wanli University, Ningbo, Zhejiang 315100, China)

**摘要:**目的:改善汤圆粉团在冷冻过程中品质下降的不良状况。方法:通过单因素试验得到红薯淀粉、小麦淀粉的合适添加量,进而设计通过以红薯淀粉、小麦淀粉、糯米粉为原料设计D-最优混料试验,以改善汤圆感官品质、质构特性等,并于混料配方基础上探究深海鱼抗冻蛋白添加量对汤圆粉团抗冻性的影响,得出最优添加量。结果:最优混料配方为红薯淀粉12%,小麦淀粉11%,糯米粉77%;深海鱼抗冻蛋白适宜添加量为5%(以粉重计)。结论:由混料配方及抗冻蛋白(5%)制作而成的汤圆粉团抗冻性得到明显提升,综合品质较好。

**关键词:**汤圆粉团;D-最优混料设计;抗冻蛋白;品质

**Abstract: Objective:** To improve the poor quality of glutinous rice balls during the freezing process. **Methods:** The appropriate addition amount of sweet potato starch and wheat starch was obtained through single factor experiment, and then the D-optimal mixture experiment was designed by using sweet potato starch, wheat starch and glutinous rice flour as raw materials to improve the sensory quality and texture characteristics of glutinous rice balls. On the basis of the mixture formula, the effect of deep-sea fish antifreeze protein addition on the frost resistance of glutinous rice balls was explored, and the optimal addition amount was obtained. **Results:** The optimal mixture formula was 12% sweet potato starch, 11% wheat starch and 77% glutinous rice flour; The suitable addition amount of deep-sea fish antifreeze protein was 5% (calculated by powder weight). **Conclusion:** The frost resistance of glutinous rice balls made from the mixture formula and antifreeze protein (5%) was obviously optimized, and the overall quality was improved.

**基金项目:**浙江省公益项目(编号:LGN22C200003);宁波市公益项目(编号:2019C10079,202002N3114)

**作者简介:**陆益钡,女,浙江万里学院在读硕士研究生。

**通信作者:**杨留明(1973—),男,浙江万里学院工程师,硕士。

E-mail: wanliyml@163.com

**收稿日期:**2021-12-10 **改回日期:**2022-08-22

**Keywords:** glutinous rice balls; D-optimal mixture design; antifreeze protein; quality

汤圆在冷冻过程中粉团极易开裂、坍塌,导致在食用、售卖过程中发生品质、口感劣变。原因是糯米粉作为速冻汤圆的主要制作原料,其延展性较差,其中淀粉吸水性低于蛋白质,导致糯米粉持水不均匀,和面过程中易出现干裂、松散、难成形等问题,影响冷冻后食品质量<sup>[1]</sup>。添加剂的合理使用能够改善此类情况,但随着绿色生活的普及,对原料进行复配、添加天然抗冻物质从而改善食品品质、增加营养价值逐渐成为食品研发的热点<sup>[2-3]</sup>。

小麦淀粉是一种天然的高分子多糖化合物,由直链淀粉和支链淀粉组成,在加工食品中还可用作增稠剂、稳定剂和脂肪替代品等<sup>[4]</sup>。红薯淀粉由营养丰富的红薯提取而来,其吸水性、增稠性较好。抗冻蛋白(Antifreeze proteins, AFPs)是一类具有提高生物抗冻能力的蛋白质类化合物的总称<sup>[5]</sup>,其对冷冻液中冰晶的生长有抑制作用,能抑制冰晶重结晶,阻止冰晶迁移,使小冰晶无法聚集成大冰晶,结构规则,分布均匀<sup>[6]</sup>。研究拟在无添加剂的情况下,通过加入小麦淀粉、红薯淀粉及天然抗冻蛋白来改善汤圆粉团的整体品质,以期速冻米面制品配方提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要材料

水磨糯米粉:宁波市江北五桥粮油有限责任公司;

红薯淀粉、小麦淀粉、娃哈哈纯净水:市售;

深海鱼抗冻蛋白(简称抗冻蛋白):河南亿勤生物科技技术有限公司。

### 1.2 主要仪器

TA-XT Plus 物性分析仪:TMS-PRO型,美国FTC公司;

电子天平:JE1002型,上海浦春计量仪器有限公司;

冷场高分辨扫描电镜:SEM7 型,日本电子株式会社。

### 1.3 试验方法

1.3.1 汤圆粉团的制作方法 将原料粉与纯净水混合,调制面团得到含水量为 45% 的面团。静置 5 min 平衡水分,称量分块,搓圆粉团(为了减少馅料对感官评价等主观指标的影响,因此不包制)<sup>[7]</sup>。将制作完成的汤圆装盘,-30℃ 冷冻 30 min 后于-20℃ 冷冻 24 h。

1.3.2 汤圆粉团的煮制方法 设置电磁炉功率为 1 600 W,将水煮沸后,取 5 个汤圆为一组放入 500 mL 沸水中煮制至汤圆浮起。

#### 1.3.3 汤圆粉团混料配方的确定

(1) 单因素试验:选用红薯淀粉、小麦淀粉,按比例等量替换糯米粉,各粉添加量均为 0.0%,2.5%,5.0%,7.5%,10.0%,12.5%,15.0%<sup>[8]</sup>。以此来探究原料粉与添加量对汤圆粉团品质的影响。

(2) 混料试验设计:根据单因素试验结果,红薯淀粉与小麦淀粉的合理添加范围为 5%~15%,再采用 Design Expert(V.8.0.6)中的(D-optimal)设计。每个试验组红薯淀粉、小麦淀粉与糯米粉的总量为 100%,以汤圆粉团主观的感官品质及冻裂率、质构特性为指标,进行试验探究与回归方程分析。

1.3.4 抗冻蛋白添加量的确定 设计抗冻蛋白添加比例为 1%,2%,3%,4%,5%,6%,以混料粉重量为基准。在汤圆经过混料设计已改善质构、感官等情况下,探究抗冻蛋白添加量对汤圆冻裂率及外观评定的影响。

#### 1.3.5 汤圆粉团的品质测定方法

(1) 质构(TPA):参考朱津津<sup>[9]</sup>的方法并略作修改,将煮制后的汤圆放置于容器中,1 min 后用质构仪进行 TPA 测试。采用 P/25 探头,应变力为 0.1 N,测试速度为 60 mm/min,形变量为 60%,室温下完成测定。

(2) 感官品质:参考胡育铭<sup>[10]</sup>的方法并略作修改,总分 100 分,具体分类如表 1 所示。

(3) 冻裂率:冻裂率的测定分为两种。单因素试验及混料试验:将制作完整的汤圆-30℃ 冷冻 30 min,后转移至-20℃ 冷冻 24 h 进行冻裂率测定。抗冻试验:将添加了不同含量抗冻蛋白的最优混料汤圆粉团进行加速试验,具体方法为将制作完成的汤圆-30℃ 冷冻 30 min,后转移至-20℃ 冷冻 23 h,再置于室温解冻 1 h,将经过 4 次冻融的汤圆进行冻裂率测定。从直观上,汤圆冻裂情况可分为两种,且都有其不同的评价标准,根据汤圆表面冻裂的实际形貌与冻裂率的评定标准进行分类,若一个汤圆处于冻裂与未冻裂两者之间,可看作冻裂 0.5 个<sup>[11]36</sup>。具体分类如表 2 所示。

冻裂率计算:

$$\eta = \frac{n_1}{n_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

表 1 汤圆感官评价表

Table 1 Sensory evaluation table of glutinous rice balls

一级指标	二级指标	特征描述	分值	
色泽气味	光泽	有明显的光泽	4~5	
		稍有光泽	2~3	
	无光泽	0~1		
	气味	具有糯米粉特有气味,正常	4~5	
		糯米粉特有的气味,不明显	2~3	
外观结构	完整性	有异味	0~1	
		不浑汤,表面无起毛现象	16~25	
		稍浑汤,表面有起毛现象	8~15	
	弹性	浑汤,表面起毛现象严重,有气泡和溃烂现象	0~7	
		汤圆有嚼劲	16~20	
		汤圆稍有嚼劲	10~15	
	适口性	软硬度	汤圆无嚼劲	0~9
		软硬度	软硬适中	16~20
			感觉略硬或略软	10~15
		黏性	感觉很硬或很软	0~9
滑爽,不粘牙	16~20			
基本不粘牙	10~15			
滋味	滋味	粘牙,无黏弹性	0~9	
		咀嚼时,有正常的糯米粉滋味	4~5	
		咀嚼时,有酸味、较重苦味	0~3	

表 2 汤圆冻裂率评定标准

Table 2 Evaluation standard of glutinous rice balls freeze cracking rate

等级	评定标准
冻裂	表面有裂口,50%以上表面积有褶皱,且起伏比较明显
未冻裂	表面无裂口,无明显收缩褶皱,但允许结合部位出现细小纹路

$\eta$ ——冻裂率,%;

$n_1$ ——冻裂个数;

$n_2$ ——总个数。

(4) 外观评定:将经过 4 次冻融的汤圆进行外观评定。对于食品市场,外观是消费者在消费过程中会考虑的一个重要因素。参考王韵<sup>[12]</sup>的方法对冻融后的汤圆进行评价。具体分类如表 3 所示。

(5) 扫描电镜分析:在最优混料条件下,对比纯糯米粉组、混料组、混料+5% 抗冻蛋白组的微观结构。参考朱婵娟<sup>[11]39</sup>的方法并略作修改,对反复冻融后的汤圆进行冷冻干燥,后将表皮进行喷金处理,使用双面胶将其固

表3 汤圆外观评价标准

Table 3 Appearance evaluation criteria of glutinous rice balls

指标	特征描述	分值
皱褶	表面光滑,无褶皱	9~10
	较光滑,少数表面略显不平	6~8
	明显褶皱,褶皱面积超过表面积的50%	3~5
	严重褶皱,表面凹凸不平	0~2
细纹	表面完整,无细纹	9~10
	表面较完整,有细小针状细纹	6~8
	有明显细纹,裂纹覆盖面积大于50%	3~5
	严重细纹,甚至出现开裂	0~2
坍塌	表面完整,无变形	8~10
	坍塌不明显	4~7
	严重变形	0~3

定在样品台上,进行扫描电镜观察拍照。

1.3.6 数据处理 所有数据均取平均值( $n \geq 3$ ),采用 GraphPad 软件作图,SPSS Statistics 软件进行显著性分析。D-最优混料设计采用 Design Expert(V.8.0.6)中的 D-optimal 进行设计分析。

## 2 结果分析

### 2.1 淀粉添加量对汤圆质构特性的影响

2.1.1 硬度 由图 1(a)可知,硬度随小麦淀粉添加量的增大而减小,后趋于平缓。当添加量为 10%时,硬度值最小。据报道<sup>[13]</sup>,谷物淀粉会影响米制品糊化特性,经糊化后,淀粉分子中的直链淀粉渗透出来,以双螺旋的形式相互缠绕形成三维网状结构,将充分糊化的淀粉颗粒包裹其中,可推断小麦淀粉的加入导致汤圆粉团的崩解值上升,降低了回生程度,使汤圆硬度减小。

由图 1(b)可知,红薯淀粉的添加使汤圆的硬度值显著减小( $P < 0.05$ )。添加量为 10.0%,12.5%时硬度值较

低且与其他组差异显著( $P < 0.05$ )。这可能是由于红薯淀粉的溶解度与膨胀度较高,使汤圆质量不变体积略微变大,硬度相对减小。添加量过大时,红薯淀粉凝胶强度增大,导致硬度上升,咀嚼性增加。对于汤圆而言,蛋白质含量、淀粉含量、含水量以及添加剂均能影响其硬度<sup>[14]</sup>。

2.1.2 胶黏性 由图 2(a)可知,小麦淀粉添加量增至 10%~15%时,胶黏性得到显著改善( $P < 0.05$ )。推断小麦淀粉与糯米粉复合经加热后发生一定程度凝胶化,提高了汤圆粉团的糊化峰值,使得汤圆胶黏性降低且更爽口。

由图 2(b)可知,红薯淀粉的添加对胶黏性有显著改善作用( $P < 0.05$ ),且随着添加量的增大而减小后趋于平缓。这可能是由于红薯淀粉自身凝胶性、成膜性较强,混入糯米粉后汤圆粉团整体结构黏合度增强,使得其表面更光滑且改善了粘牙的现象。

### 2.2 两种淀粉添加量对汤圆冻裂率的影响

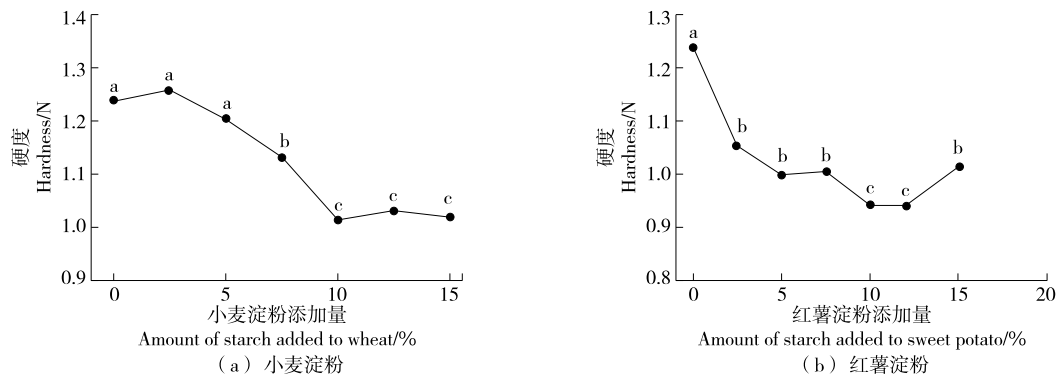
由图 3(a)可知,随着小麦淀粉添加量增大,冻裂率逐渐降低,当小麦淀粉添加量为 10%时,汤圆冻裂率最低,说明小麦淀粉对于汤圆抗裂改善有一定效果。这可能是由于小麦淀粉的增稠性比较强,添加小麦淀粉后使得粉质颗粒之间结构更加紧密,从而降低了汤圆粉团的冻裂率。当小麦淀粉添加量为 5%~15%时,冻裂率改善效果明显。

由图 3(b)可知,当红薯淀粉添加量在一定范围内时,汤圆粉团冻裂率下降显著,可能是由于红薯淀粉吸水性、保水性较好,淀粉颗粒形成弹性凝胶状网络结构,使得汤圆冷冻时粉团整体稳定性增强,表皮冻裂率降低。

### 2.3 两种淀粉添加量对汤圆感官评定的影响

由图 4(a)可知,随着小麦淀粉的添加,感官评分上升幅度较小。说明小麦淀粉的添加对汤圆粉团整体的感官影响较小,可能是由于其支链淀粉含量较高,糊化温度接近糯米粉,因此熟制后的汤圆食味性并未出现明显差异。

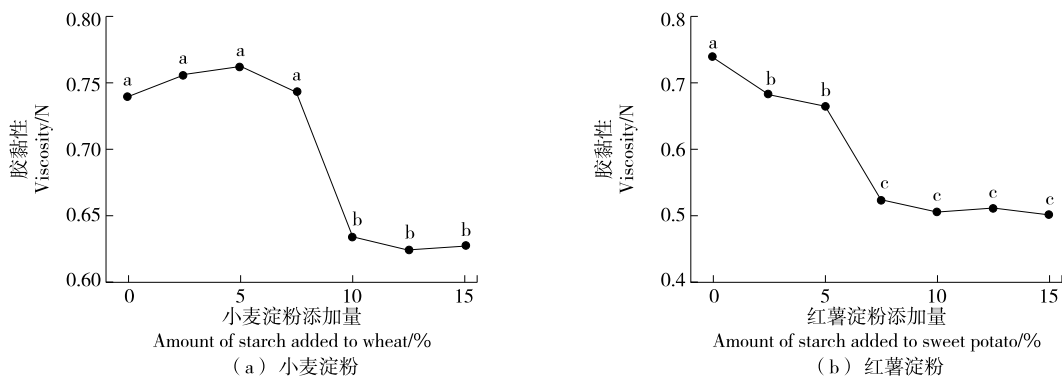
由图 4(b)可知,红薯淀粉添加量为 7.5%时,感官评分最高。添加红薯淀粉后的汤圆煮制完成后,颗粒较为



小写字母不同表示具有显著性差异( $P < 0.05$ )

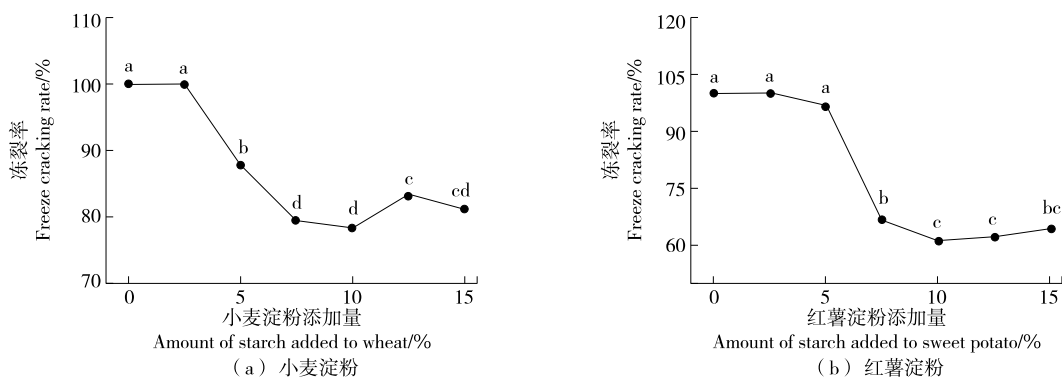
图1 两种淀粉添加量对汤圆硬度的影响

Figure 1 The effects of two kinds of starch on the hardness of glutinous rice balls



小写字母不同表示具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )  
图 2 两种淀粉添加量对汤圆胶黏性的影响

Figure 2 The effects of two kinds of starch addition on the viscosity of glutinous rice balls



小写字母不同表示具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )  
图 3 两种淀粉添加量对汤圆冻裂率的影响

Figure 3 The effects of two kinds of starch addition on the freeze cracking rate of glutinous rice balls

饱满,入口软糯。红薯淀粉与糯米粉混合后经糊化汤圆表皮凝胶性增强而黏度下降,在一定程度上改善了汤圆的粘牙现象,在冷冻过程中也能较好凝结淀粉颗粒,在整体上改善了汤圆粉团的感官品质。

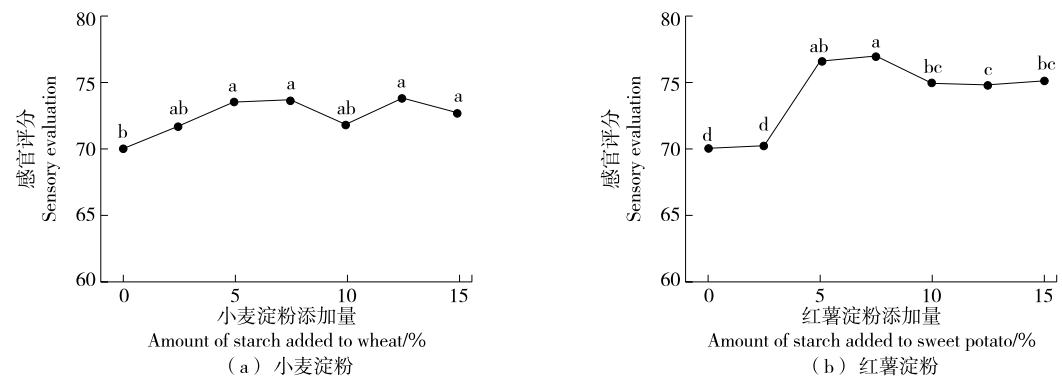
2.4 混料设计

D-最优混料设计方案及试验结果见表 4。

2.4.1 基于硬度的分析

(1) 回归方程的建立与方差分析:运用 Design Expert(V.8.0.6)软件对硬度的试验值进行回归拟合,得回归模型:

$$Y = 1.83A + 2.99B + 0.80C - 4.31AB - 0.80AC - 2.77BC - 3.01ABC. \quad (2)$$



小写字母不同表示具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )  
图 4 两种淀粉添加量对汤圆感官评价的影响

Figure 4 The effects of two kinds of starch addition on the sensory evaluation of glutinous rice balls

表 4 D-最优设计方案及试验结果

Table 4 D-optimal design scheme and test results

试验序号	A 红薯淀粉	B 小麦淀粉	C 糯米粉	硬度/N	感官评分	冻裂率/%
1	15.00	15.00	70.00	0.778	79.42	52.22
2	15.00	15.00	70.00	0.782	82.32	50.00
3	12.50	13.18	74.32	0.797	84.34	40.55
4	14.62	8.86	76.52	0.838	76.32	41.11
5	8.08	15.00	76.92	0.826	74.04	61.67
6	8.08	15.00	76.92	0.787	75.62	53.33
7	10.68	9.56	79.76	0.860	81.34	51.67
8	10.68	9.56	79.76	0.881	80.21	45.56
9	10.68	9.56	79.76	0.913	83.23	42.22
10	15.00	5.00	80.00	0.956	69.01	71.11
11	11.24	5.98	82.78	1.009	74.43	73.89
12	5.00	12.22	82.78	1.099	70.36	76.67
13	5.00	8.56	86.44	1.124	67.23	80.00
14	8.48	5.00	86.52	1.133	71.34	83.33
15	5.00	5.00	90.00	1.299	62.43	100.00
16	5.00	5.00	90.00	1.362	65.32	100.00

由表 5 可知,该模型  $P < 0.000 1$ ,说明该模型极显著,三因素之间交互作用显著。失拟项为 0.952 6 ( $> 0.05$ ),说明此模型对汤圆粉团硬度的优化有实际意义。方程相关系数为  $R^2 = 0.989 3$ ,校正后的相关系数  $R^2_{adj} = 0.982 2$ ,说明该模型与试验组拟合良好且能较好地考察指标与配方之间的关系。

(2) 原料比例变化对汤圆粉团硬度的影响:由图 5 可知,在合理添加范围内,随着糯米粉添加量的上升,硬度逐渐减小。随着小麦淀粉、红薯淀粉添加量的增大,硬度值先下降后上升。

2.4.2 基于感官评分的分析

(1) 回归方程的建立与方差分析:运用 Design

Expert(V.8.0.6)软件对感官评分的试验值进行回归拟合,得回归模型:

$$Y = 15.83A + 25.45B + 63.48C + 241.36AB + 113.62AC + 83.3BC - 25.07ABC. \quad (3)$$

由表 6 可知,该模型  $P < 0.000 1$ ,说明该模型极显著,三因素之间交互作用显著。失拟项为 0.418 5 ( $> 0.05$ ),说明此模型对汤圆粉团感官评分的优化有实际意义。方程相关系数为  $R^2 = 0.959 1$ ,校正后的相关系数  $R^2_{adj} = 0.931 9$ ,说明该模型与试验组拟合良好且能较好地考察指标与配方之间的关系。

(2) 原料比例变化对汤圆粉团感官评分的影响:由图 6 可知,在合理添加范围内,随着糯米粉添加量的上

表 5 方差分析结果<sup>†</sup>

Table 5 Results of analysis of variance

变异源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.520	6	0.087	139.14	<0.000 1	***
线型混合模型	0.330	2	0.160	261.97	<0.000 1	***
AB	0.035	1	0.035	56.54	<0.000 1	***
AC	3.348E-003	1	3.348E-003	5.36	0.045 9	*
BC	0.057	1	0.057	90.45	<0.000 1	***
ABC	8.371E-003	1	8.371E-003	13.40	0.005 2	**
残差	5.623E-003	9	6.248E-004			
失拟项	6.196E-004	4	1.549E-004	0.15	0.952 6	
纯误差	5.004E-003	5	1.001E-003			
总变异	0.530	15				

<sup>†</sup> \*  $P < 0.05$  为显著差异, \*\*  $P < 0.01$  为极显著差异, \*\*\*  $P < 0.000 1$  为极其显著;  $R^2 = 0.989 3, R^2_{adj} = 0.982 2$ 。



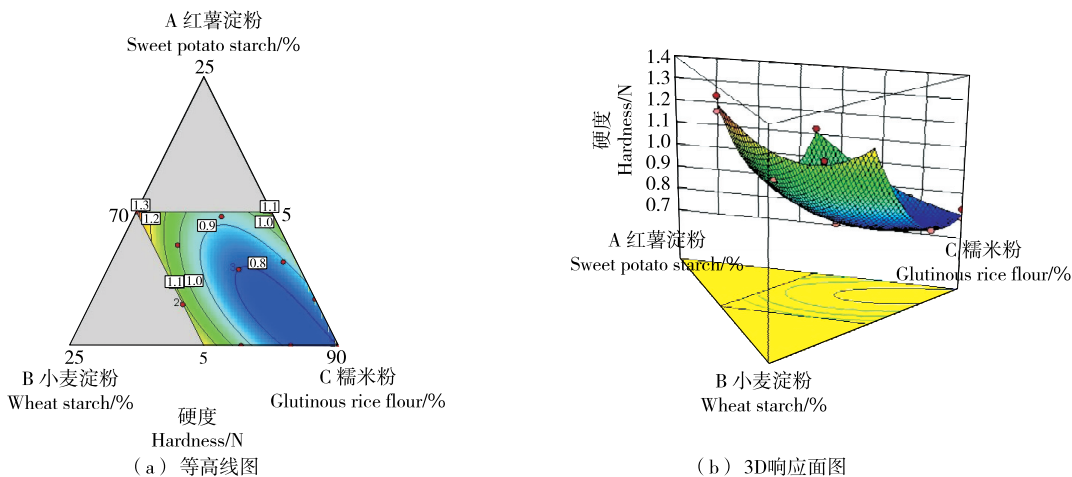


图 5 原料比例变化对汤圆粉团硬度影响的等高线图及 3D 响应面图

Figure 5 Contour plot and 3D response surface plot of the effect of raw material ratio changes on the hardness of glutinous rice balls

表 6 方差分析结果<sup>†</sup>

Table 6 Results of analysis of variance

变异源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	653.28	6	108.88	35.21	<0.000 1	* * *
线性混合模型	427.78	2	213.89	69.17	<0.000 1	* * *
AB	110.99	1	110.99	35.89	0.000 2	* *
AC	68.13	1	68.13	22.03	0.001 1	* *
BC	51.09	1	51.09	16.52	0.002 8	* *
ABC	0.58	1	0.58	0.19	0.674 6	
残差	27.83	9	3.09			
失拟项	13.54	4	3.39	1.19	0.418 5	
纯误差	14.29	5	2.86			
总变异	681.11	15				

<sup>†</sup> \* \* \*  $P < 0.01$  为极显著差异, \* \* \*  $P < 0.000 1$  为极其显著;  $R^2 = 0.959 1, R^2_{adj} = 0.931 9$ 。

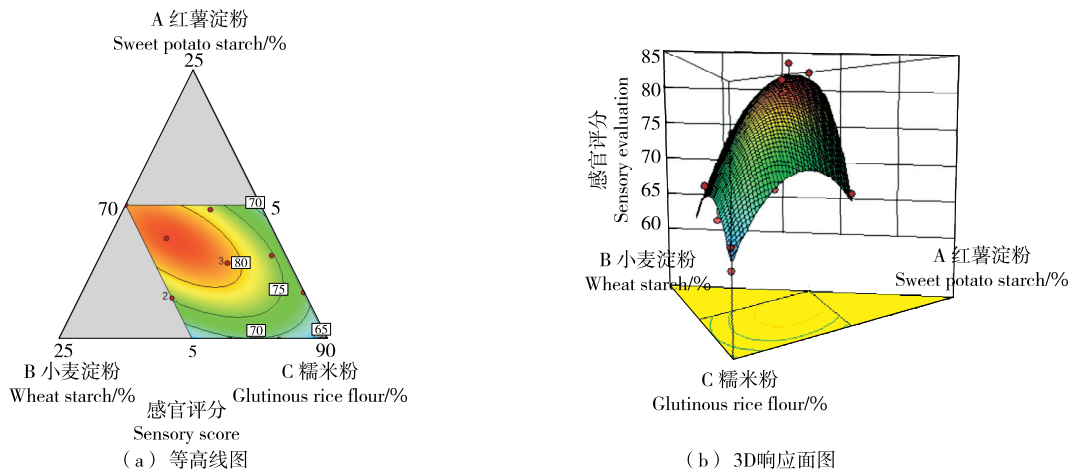


图 6 原料比例变化对汤圆粉团感官评分影响的等高线图及 3D 响应面图

Figure 6 Contour plot and 3D response surface plot of the influence of the ratio of raw materials on the sensory score of glutinous rice balls

升,感官评分逐渐降低,且下降幅度较大。随着小麦淀粉、红薯淀粉添加量的增大,感官评分先上升后下降。

2.4.3 基于冻裂率的分析

(1) 回归方程的建立与方差分析:运用 Design Expert(V.8.0.6)软件对冻裂率的试验值进行回归拟合,得回归模型:

$$Y = 72.30A + 156.80B + 99.28C - 253.45AB - 54.92AC - 192.97BC - 385.52ABC \quad (4)$$

由表 7 可知,该模型  $P < 0.000 1$ ,说明该模型极显著,三因素之间交互作用显著。失拟项为 0.662 5 ( $> 0.05$ ),说明此模型对汤圆粉团冻裂率的优化有实际意义。方程相关系数为  $R^2 = 0.979 2$ ,校正后的相关系数  $R^2_{adj} = 0.965 4$ ,说明该模型与试验组拟合良好且能较好地考察指标与配方之间的关系。

(2) 原料比例变化对汤圆粉团冻裂率的影响:由图 7 可知,在合理添加范围内,随着糯米粉添加量的上升,冻裂率逐渐上升,且上升幅度较大。随着红薯淀粉添加量

的增大,冻裂率逐渐下降,小麦淀粉在合理添加范围内能有效降低冻裂率,超出一定范围则反之。

2.5 配方优化

经 Design Expert(V.8.0.6)软件优化得到模拟米制品的最佳配方为:红薯淀粉 11.687%、小麦淀粉 10.704%、糯米粉 77.609%,预测值硬度为 0.846 N,感官为 82.300 分,冻裂率为 40.588%。考虑到试验的可行性,调整最优工艺条件为红薯淀粉 12%、小麦淀粉 11%、糯米粉 77%,并进行验证实验( $n=3$ ),得到实际硬度为 0.874 N,感官为 84.500 分,冻裂率为 42.220%。与预测值无明显差异,所以该模型可靠。因此,D-混料设计结果为红薯淀粉 12%、小麦淀粉 11%、糯米粉 77%。

2.6 抗冻蛋白添加量对加速试验后的混料汤圆粉团冻裂率、外观评分的影响

由图 8 可知,抗冻蛋白对汤圆粉团冻裂率有显著改善效果。当添加量为 5%及以上时,冻裂率接近于 0。说明抗冻蛋白的添加对汤圆粉团起到了抗冻的效果。这得

表 7 方差分析结果<sup>†</sup>

Table 7 Results of analysis of variance

变异源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	5 899.75	6	983.29	70.74	<0.000 1	***
线型混合模型	4 216.80	2	2 108.40	151.69	<0.000 1	***
AB	122.39	1	122.39	8.81	0.015 8	*
AC	15.92	1	15.92	1.15	0.312 4	
BC	274.18	1	274.18	19.73	0.001 6	**
ABC	137.63	1	137.63	9.90	0.011 8	*
残差	125.09	9	13.90			
失拟项	41.92	4	10.48	0.63	0.662 5	
纯误差	83.17	5	16.63			
总变异	6 024.85	15				

† \*  $P < 0.05$  为显著差异, \*\*  $P < 0.01$  为极显著差异, \*\*\*  $P < 0.000 1$  为极其显著;  $R^2 = 0.979 2, R^2_{adj} = 0.965 4$ 。

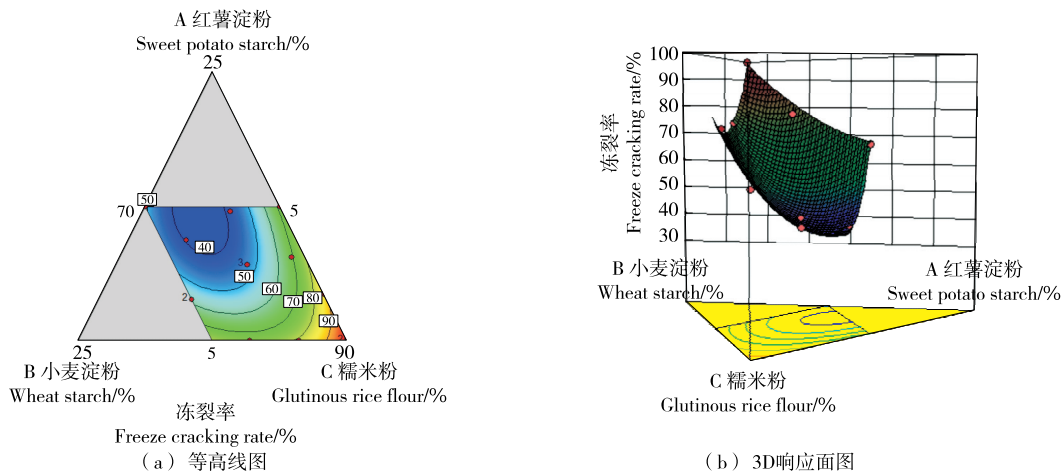
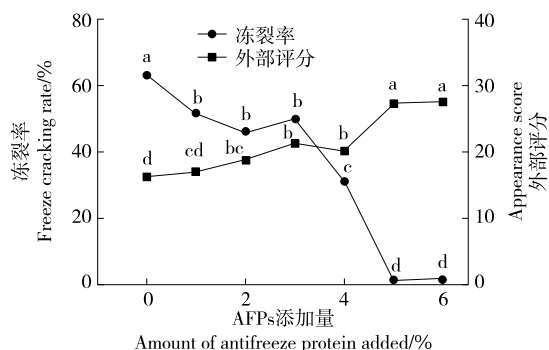


图 7 原料比例变化对汤圆粉团冻裂率的等高线图及 3D 响应面图

Figure 7 Contour plots and 3D response surface plots of the ratio of raw materials to the freeze cracking rate of glutinous rice noodles



小写字母表示具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )  
 图 8 抗冻蛋白添加量对混料汤圆粉团冻裂率及外部评分的影响

Figure 8 Effects of antifreeze protein addition on the freezing cracking rate and external score of mixed glutinous rice balls

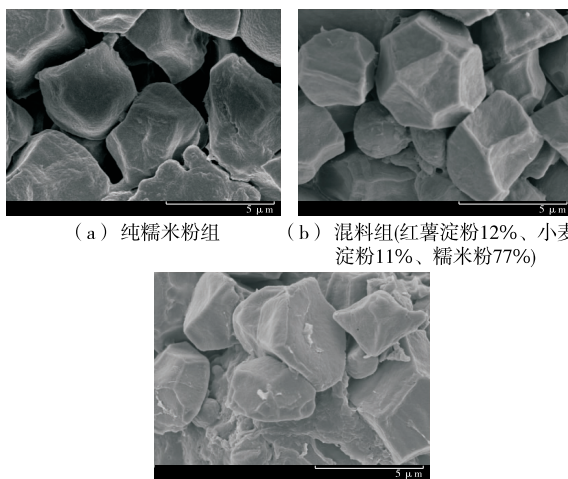
益于抗冻蛋白在食品冷冻过程中能抑制冰晶的再结晶作用,其阻止了冰晶迁移,使小冰晶无法聚集成大冰晶,结构规则,分布均匀,减少了汤圆表皮的开裂。有研究<sup>[15]</sup>报道,将抗冻蛋白应用于冰淇淋中,可有效抑制生成大冰晶,提高冰淇淋的口感。程毛等<sup>[16]</sup>将胡萝卜抗冻蛋白添加于冷冻面团中,减少了游离水含量,抑制了冰晶的再结晶作用,降低了面团在冷冻中发酵力的损耗。而外观评分随着添加量的上升而上升,后趋于平缓。当添加量超过 5% 以后,外观评分已达高分。因此从抗冻蛋白成本考虑,抗冻蛋白最适宜添加量为 5%。在外观上较好地保证了汤圆的品质,使其在售卖时以完整、光滑的形态展示给消费者。Kong 等<sup>[17]</sup>使用 3 种基于天然防冻肽的合成物对经过冻融试验的胡萝卜进行抗冻性试验,研究发现经过处理的胡萝卜色泽、质地、汁液流失都得到了一定的改善,与试验结论相符。

### 2.7 不同种类汤圆粉团的微观结构对比

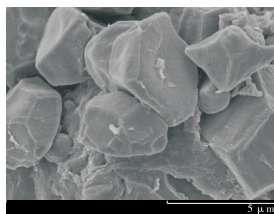
由图 9 可知,纯糯米粉组内部结构松散,淀粉颗粒较容易破损,在煮制过程中,吸收较大的热量,结晶胶束区中弱的氢键易被破坏,淀粉颗粒吸水膨胀而破裂,溶于水导致汤汁浑浊度上升<sup>[18]</sup>;混料组由于小麦淀粉与红薯淀粉的保水性、黏结性强,提升了产品的流变性能,优化了组织结构,经过冻融后部分淀粉依旧相互粘连,结构较为致密,发生冻裂的概率低于纯糯米粉组;混料+抗冻蛋白(5%)组经过反复冻融后抗冻蛋白仍粘连于淀粉颗粒,使得汤圆内部结构十分紧密,游离水减少,生成大冰晶破坏汤圆结构的概率降低,能在一定程度上保证其货架期上的低冻裂率。

## 3 结论

试验优化得出汤圆最优配方为:红薯淀粉 12%、小麦淀粉 11%、糯米粉 77%、抗冻蛋白 5%。此配方下的汤圆



(a) 纯糯米粉组 (b) 混料组(红薯淀粉12%、小麦淀粉11%、糯米粉77%)



(c) 混料+抗冻蛋白(5%)组

图 9 不同种类汤圆粉团的微观结构对比

Figure 9 Comparison of the microstructure of different types of glutinous rice balls

粉团(不含添加剂)经过冷冻处理后品质相对于纯糯米粉团有较大提升。而抗冻蛋白在米制品中也表现出优异的抗冻效果,其在冷冻食品中有较大的发展前景。由于试验技术原因,经分离纯化后得到的天然抗冻蛋白量较少,若添加于汤圆粉团中,其成本较高,若后续分离技术得到提升则将能更好、更广泛地应用于速冻食品中。

## 参考文献

- [1] 廖劲松, 张华. 速冻汤圆水饺品质改良的技术创新[J]. 中外食品, 2010(5): 52-53.  
LIAO J S, ZHANG H. Technological innovation for quality improvement of quick-frozen glutinous rice dumplings[J]. Global Food Industry, 2010(5): 52-53.
- [2] 周显青, 王娟, 张玉荣, 等. 糯米粉组分对速冻汤圆粉团蒸煮特性的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2015(10): 21-26.  
ZHOU X Q, WANG X, ZHANG Y R, et al. Effects of glutinous rice flour components on the cooking characteristics of quick-frozen rice dumpling dough[J]. Cereal & Feed Industry, 2015(10): 21-26.
- [3] ZHANG Y J, ZHANG H, DING X L, et al. Purification and identification of antifreeze protein from cold-acclimated oat (*Avena Sativa* L.) and the cryoprotective activities in ice cream[J]. Food & Bioprocess Technology, 2016, 9(10): 1-10.
- [4] FUNAMI T, NAKAUMA M, NODA S, et al. Effects of some anionic polysaccharides on the gelatinization and retrogradation behaviors of wheat starch: Soybean-soluble polysaccharide and gum arabic[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(8): 1 528-1 540.
- [5] QU M, DONG Z T, CHEN F L, et al. Extraction of alfalfa ice structuring proteins and their effect on frozen dough[J]. Food Science, 2014, 35(24): 57-62.
- [6] USTUN N S, TURHAN S. Antifreeze proteins: Characteristics, function, mechanism of action, sources and application to foods[J].



- Journal of Food Processing & Preservation, 2015, 39(6): 3 189.
- [7] 陈瑾. 速冻汤圆品质与糯米粉粉质相关性及其糯米粉配粉研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2019: 9.  
CHEN J. Study on the correlation between the quality of quick-frozen dumplings and the quality of glutinous rice flour and the powdering of glutinous rice flour[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2019: 9.
- [8] 顾玲. 速冻汤圆粉团品质改良的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 21.  
GU L. Study on quality improvement of quick frozen tangyuan dumplings[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015: 21.
- [9] 朱津津. 速冻汤圆的质构特性研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2012: 24-25.  
ZHU J J. The research of quick-frozen dumpling quality and structure characteristics[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2012: 24-25.
- [10] 胡育铭. 影响速冻汤圆粉团蒸煮特性的因素研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014: 13.  
HU Y M. Study on the factors influenced the steaming property of the quick-frozen glutinous dumpling dough[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2014: 13.
- [11] 朱婵婵. 羟丙基糯米淀粉制备及其在速冻汤圆中的应用研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2011.  
ZHU C C. Study on preparation hydroxypropylated waxy rice starch and its application in quick-frozen tang-yuan[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2011.
- [12] 王韵. 速冻汤圆品质改良的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 10.  
WANG Y. Study on the improvement in the quality of quick-frozen dumpling[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009: 10.
- [13] 孙宇, 徐文, 余平, 等. 加工精度对大米理化特性、糊化特性以及食用品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(8): 29-33.  
SUN Y, XU W, YU P, et al. Effect of degree of milling on the physicochemical characterization, pasting properties and edible quality of rice[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(8): 29-33.
- [14] 朱津津, 潘治利, 谢新华, 等. 汤圆 TPA 质构特性测试条件的优化[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 171-174.  
ZHU J J, PAN Z L, XIE X H, et al. Optimization of testing conditions for TPA analysis of rice dumplings[J]. Food Science, 2013, 34(6): 171-174.
- [15] ADAPA S, SCHMIDT K A, JEON I J. Mechanisms of ice crystallization and recrystallization in ice cream: A review[J]. Food Reviews International, 2000, 16(3): 259-271.
- [16] 程毛, 刘清枫, 李兴霞. 胡萝卜抗冻蛋白对冷冻面团及其馒头品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(1): 51-54.  
CHENG M, LIU Q F, LI X X. Effect of carrot antifreeze protein on the quality of frozen dough and steamed bread[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(1): 51-54.
- [17] KONG C, HAMID N, LIU T, et al. Effect of antifreeze peptide pretreatment on ice crystal size, drip loss, texture, and volatile compounds of frozen carrots[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2016, 64(21): 4 327-4 335.
- [18] 周显青, 胡育铭, 张玉荣, 等. 汤圆粉团制作方法比较及其对蒸煮品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2014(4): 30-33, 37.  
ZHOU X Q, HU Y M, ZHANG Y R, et al. Comparison of sweet dumplings dough production methods and its effect on cooking quality[J]. Cereal & Feed Industry, 2014(4): 30-33, 37.
- [19] 徐为, 王学喜, 王学喜, 等. 不同贮藏温度对‘红香酥’梨果实品质和生理指标的影响[J]. 中国果树, 2020(5): 13-19.  
XU W, WANG X H, WANG X X, et al. Effects of different storage temperature on fruit quality and related physiological indexes of 'Hongxiangsu' pear[J]. China Fruits, 2020(5): 13-19.
- [20] 姜云斌, 佟伟, 王志华, 等. 1-MCP 处理对明珠、贵妃梨货架期间品质的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(21): 67-70.  
JIANG Y B, TONG W, WANG Z H, et al. Effects of 1-MCP treatment on shelf-life quality of Mingzhu pear and Guifei pear[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(21): 67-70.
- [21] 王俊英, 张新华, 宋百成, 等. 1-甲基环丙烷对新高梨贮藏品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(17): 3 812-3 815.  
WANG J Y, ZHANG X H, SONG B C, et al. Effect of 1-methylcyclopropane on the cold storage quality of Niikata pear (Pyrus pyrifolia Nakai) [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(17): 3 812-3 815.
- [22] 杜林笑, 赵晓敏, 李丹, 等. 1-MCP 处理保持库尔勒香梨常温贮藏抗氧化酶活性与品质的关系[J]. 现代食品科技, 2018, 34(11): 95-102.  
DU L X, ZHAO X M, LI D, et al. Relationship between 1-MCP treatment and antioxidant enzyme activities and quality of Korla fragrant pear during room-temperature storage[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(11): 95-102.
- [23] 吴小华, 顾敏华, 王学喜, 等. 1-MCP 对不同采收期黄冠梨褐心病及贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 110-113.  
WU X H, XIE M H, WANG X X, et al. Effects of 1-MCP treatment on browning heart and storage quality of Huangguan pears with different harvest[J]. Food & Machinery, 2016, 32(1): 110-113.
- [24] 张靖国, 陈启亮, 杨晓平, 等. 1-MCP 处理对翠冠梨货架期品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(21): 121-123.  
ZHANG J G, CHEN Q L, YANG X P, et al. Effects of 1-MCP treatment on shelf life quality of Cuiguan pear[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2020, 59(21): 121-123.
- [25] 王志华, 高剑利, 王文辉, 等. 不同贮藏温度对‘红香酥’梨果实品质和生理指标的影响[J]. 中国果树, 2020(5): 13-19.  
WANG Z H, GAO J L, WANG W H, et al. Effects of different storage temperature on fruit quality and related physiological inde-

(上接第 133 页)