

L-抗坏血酸处理新糯米的工艺研究及应用

杨光¹, 陈远娇^{1,2}, 杨波¹, 岑涛², 王梅桂²

(1. 上海理工大学健康科学与工程学院, 上海 200093; 2. 丰益(上海)生物技术研发中心有限公司, 上海 200137)

摘要: 为了改善新糯米制粉品质不好的问题。以新鲜糯米为实验材料, 在单因素实验基础上, 采用响应面法优化 L-抗坏血酸处理糯米的工艺条件, 并对速冻汤圆的蒸煮及食味品质进行研究。结果表明, L-抗坏血酸处理糯米的最佳工艺条件为: 氧化剂质量分数 0.039%、氧化时间 48 h、温度 60 ℃, 在最优条件下, 糯米粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度和回生值均上升, 与原糯米粉相比, 峰值黏度增加 81.5%; 汤圆的硬度、黏弹性和咀嚼性增加, 感官评分上升, 浑汤率下降, 能够显著提升新糯米粉的峰值黏度和改善速冻汤圆的食味品质。

关键词: L-抗坏血酸; 糯米粉; 峰值黏度; 速冻汤圆; 食用品质

中图分类号: TS 213.3 文章编号: 1673-1689(2022)03-0103-09 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2022.03.014

Study on Technological Process and Application of L-ascorbic Acid in Fresh Glutinous Rice Treatment

YANG Guang¹, CHEN Yuanjiao^{1,2}, YANG Bo¹, CEN Tao², WANG Meigui²

(1. School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Fengyi (Shanghai) Biotechnology R&D Center Co., Ltd., Shanghai 200137, China)

Abstract: In order to improve the quality of fresh glutinous rice flour, fresh glutinous rice was treated with L-ascorbic acid and the optimum condition was studied by response surface methodology based on the single factor experiment. The effect of treated glutinous rice flour on the sensory qualities of cooked frozen glutinous rice dumplings was evaluated. The results showed that the optimal technological condition for L-ascorbic acid treatment of glutinous rice was 0.039% mass fraction of oxidant for 48 h at 60 ℃. Under the optimum condition, the peak viscosity, trough viscosity, final viscosity and retrogradation value of glutinous rice flour increased, and the peak viscosity increased by 81.5% compared with that of the original glutinous rice flour. The hardness, viscoelasticity, chewiness of rice dumplings and the sensory score increased, and the transmittance (%) of rice dumpling soup (expressed by paste turbidity) decreased, indicating that L-ascorbic acid treatment could significantly enhance the peak viscosity of fresh glutinous rice flour and improve the sensory quality of quick-frozen glutinous rice dumplings.

Keywords: L-ascorbic acid, glutinous rice flour, peak viscosity, quick-frozen dumplings, sensory quality

收稿日期: 2021-02-02

作者简介: 杨光(1965—), 男, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事食品生物技术方向研究。E-mail: luke_yang@126.com

汤圆作为深受我国人民喜爱的传统风味食品,是以糯米为原料,经粉碎、和面、成型、速冻制成的糯米制品^[1-2]。随着人们生活节奏的加快,速冻食品需求量增加,速冻汤圆以 30%~40% 的增长速度,成为我国第二大速冻食品^[3-4]。但新收获的糯米制粉后制成的汤圆食味品质不好,通常需要经过半年至一年的自然后熟,糯米粉的品质才会有所提升^[5]。由于自然后熟过程耗时过长,且占用大量的仓储面积,不能满足企业的实际生产需求。因此,研究加速糯米后熟的工艺,提升糯米的氧化速度,对于优化汤圆品质和满足工厂生产加工来说有重要意义。

L-抗坏血酸是一种氧化还原剂,具有无毒、无害、无副作用等优点,常作为面粉改良剂使用^[6],增加面粉的应用价值。李丽杰利用 L-抗坏血酸延缓面包的老化和提高面包品质^[7];因抗坏血酸可以抑制多酚氧化酶,有研究者将其用作水果和蔬菜的色泽保鲜剂,防止褐变^[8-9]。但目前关于将 L-抗坏血酸用于加速糯米后熟,使糯米发生适度氧化的研究,国内几乎为空白。

根据实际生产经验,汤圆的品质与糯米粉的糊化特性有关,且峰值黏度高的糯米粉制作的汤圆食味品质好,故作者主要研究了 L-抗坏血酸处理糯米的最佳工艺条件及其对汤圆品质的影响。利用 L-抗坏血酸对新收获糯米进行氧化处理,以糯米粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度和回生值为指标进行单因素实验,以峰值黏度为指标进行响应面优化,确定最佳工艺条件,并考察最佳工艺条件对汤圆品质的影响,以期为企业在糯米及糯米制品加工方面提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 材料

粳糯稻:购自粮食工厂;食品级 L-抗坏血酸:河南糖柜食品有限公司产品。

1.2 主要仪器设备

DHG-9240A 型电热鼓风干燥箱:上海一恒科学仪器有限公司产品;L531-1 离心机:湖南湘仪离心机有限公司产品;JFSD-100-II 粉碎机:上海嘉定粮油仪器有限公司产品;高速万能粉碎机:天津市泰斯特仪器有限公司产品;FR-400B 手压式塑料薄膜封口机:上海森合包装器材有限公司产品;LTJM-2099 精米机:浙江佰利恒公司产品;RVA-S4 快速

黏度分析仪:澳大利亚波通公司产品;TA.XT PLus 质构仪、UV1800 紫外分光光度计:日本岛津公司产品;C21-WK2102 美的多功能电磁炉:广东美的生活电器制造有限公司产品;SRF-1281ES 立式冷冻冰箱:松下冷链(大连)有限公司产品;BSA2202S 电子天平:赛多利斯科学仪器(北京)有限公司产品。

1.3 实验方法

1.3.1 糯米粉的制备 大米加工精度参照国标 GB/T 1354—2018《大米》^[10],称取 100 g 糯稻置于精米机中,碾磨 30 s(出米率 76%),制得新收获糯米。取 200 g 糯米置于高压蒸煮袋中,称取去离子水和 L-抗坏血酸,配制成不同质量浓度的 L-抗坏血酸溶液,均匀地喷洒于糯米表面,用封口机密封,置于烘箱中处理一段时间,取出后室温下冷却,利用胶体磨,将 L-抗坏血酸处理后的糯米水磨制粉,制粉工艺如下:L-抗坏血酸处理的糯米→浸泡→磨浆→离心→热风烘干→粉碎→过筛(100 目),即得到 L-抗坏血酸处理的糯米粉。

1.3.2 汤圆的制作 参照陈瑾的方法^[11],将 30 g 糯米粉用去离子水制成水分质量分数为 80% 的粉团,每个粉团称取 10 g,搓成球状,置于-20℃冰箱速冻 24 h,使其中心温度达到-18℃,以下简称速冻汤圆。

1.3.3 汤圆的煮制 量取 1 000 mL 去离子水,用电磁炉煮沸后,将 5 颗速冻汤圆置于沸水中,煮制 5 min 后,捞出汤圆,并盛汤没过汤圆,在室温下静置 5 min 后测其质构特性,同时,盛取一定量的汤汁,冷却至室温(25℃),用于测浑汤率。

1.3.4 L-抗坏血酸处理糯米工艺的单因素实验

1) L-抗坏血酸质量分数 根据大量预实验,设置 L-抗坏血酸质量分数分别为 0%、0.02%、0.04%、0.06%、0.08%,固定因素为温度 60℃,时间 48 h,以原糯米粉为空白对照,研究不同 L-抗坏血酸质量分数对糯米粉糊化特性的影响。

2) 氧化处理时间 根据大量预实验,设置氧化处理时间分别为 12、24、36、48、60 h,固定因素为 L-抗坏血酸质量分数 0.04%,温度 60℃,以原糯米粉为空白对照,研究不同氧化处理时间对糯米粉糊化特性的影响。

3) 氧化处理温度 根据大量预实验,设置氧化处理温度分别为 30、40、50、60、70℃,固定因素为 L-抗坏血酸质量分数 0.04%,时间 48 h,以原糯米粉为空白对照,研究不同氧化处理温度对糯米粉糊

化特性的影响。

1.3.5 *L*-抗坏血酸处理糯米工艺的响应面优化实验 基于单因素实验结果,以 *L*-抗坏血酸质量分数、温度、时间为自变量,糯米粉的峰值黏度为响应值,采用 BOX-Behnken 设计响应面优化实验,通过对响应面数据的处理分析确定 *L*-抗坏血酸处理糯米的最佳工艺参数。其分析因素与水平设计见表 1。

表 1 响应面设计因素的编码水平

Table 1 Factors and levels in response surface design

因素	编码水平		
	-1	0	1
质量分数/%	0.03	0.04	0.05
时间/h	43	48	53
温度/℃	55	60	65

1.3.6 水分含量的测定 按 GB5009.3—2016《食品中水分的测定》^[12]方法测定。

1.3.7 糯米粉糊化特性的测定 利用快速黏度分析仪(rapid viscoanalyser,RVA)测定糯米粉的糊化特性,以水分质量分数 14%为基准,根据样品实际的水分质量分数,计算糯米粉和去离子水的实际添加量,准确称量并放进配套的铝管中混合均匀,置于 RVA 测定仪上测定。测定程序^[13]为:RVA 初始温度为 50 ℃保温 1 min,以 12 ℃/min 匀速升温至 95 ℃,95 ℃保持 2.5 min,再以每分钟 12 ℃降至 50 ℃,50 ℃保持 2 min。

1.3.8 汤圆质构特性的测定 参照邓林爽的方法^[14],将糯米粉制成 10 g 的粉团,直径控制在 20 mm,记录探头 2 次下压汤圆所得的质构结果。选用 P/50 探头,设置探头的测前速度为 2 mm/s,测试速度为 1 mm/s,测后速度为 1 mm/s,压缩比为 60%,两次压缩之间停留时间为 5 s,触发力为 5 g,每个样品平行测定 5 次。

1.3.9 淀粉颗粒形貌观察 将糯米淀粉均匀涂在贴有导电胶的金属圆盘上,置于离子溅射仪喷金后,放入扫描电子显微镜腔内分别在 5 000 和 10 000 倍下进行观察,选择具有代表性的区域拍摄^[15]。

1.3.10 浑汤率的测定 以蒸馏水为空白,用 1 cm 比色皿在 600 nm 波长处测定汤圆汤的透光率,以透光率表示速冻汤圆汤的浑浊程度,浑汤率越小,即透光率越高,则沉淀物越少,浑浊度越低,品质越好^[16]。

1.3.11 汤圆的感官评价 由 7 位专业人员组成汤

圆感官评定小组,采用双盲法进行检验,将汤圆盛至带汤的小碗中,随机编号。评定过程中,感官评定成员单独进行,互相不接触和交流,分别从气味、外观结构、适口性、滋味 4 个方面进行评价,每个样品评定前用清水漱口,评分结果取平均值。参照陈瑾的方法制定感官评价表^[11],见表 2。

表 2 速冻汤圆的感官评价表

Table 2 Sensory evaluation of quick-frozen glutinous rice dumplings

一级指标 分值	二级指标 分值	特性描述
气味 5 分	正常 5 分	具有糯米粉特有的气味,正常:4~5
		糯米粉特有的气味,不明显:2~3
		有异味:0~1
外观结构 30 分	色泽 5 分	色泽白亮:4~5
		白色或稍显黄色:2~3
		黄色或灰色:0~1
	完整性 25 分	无裂纹,表面无起毛现象:16~25
		有裂纹,表面有起毛现象:8~15
		裂纹,表面起毛现象严重:有起泡泡和溃烂现象:0~7
适口性 60 分	黏性 20 分	滑爽,不粘牙:16~20
		基本不粘牙:10~15
		粘牙或无黏性:0~9
	弹性 20 分	汤圆有嚼劲:16~20
		汤圆稍有嚼劲:10~15
		汤圆无嚼劲:0~9
	软硬度 20 分	软硬适中:16~20
		感觉略硬或略软:10~15
		感觉很硬或很软:0~9
滋味 5 分	正常 5 分	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

1.3.12 数据分析 每个实验平行测定 3 次,结果取平均值,采用 Design-expert8.0 和 SPSS17.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果与分析

2.1.1 *L*-抗坏血酸质量分数的确定 以糯米为原料,在温度为 60 ℃,处理时间为 48 h 的条件下,分别设定 *L*-抗坏血酸质量分数为 0、0.02%、0.04%、0.06%、0.08%并进行氧化处理,考察氧化剂质量分数对糯米粉糊化参数的影响,结果见图 1。随着 *L*-抗坏血酸质量分数的增加,糯米粉的谷值黏度、最

终黏度和回生值变化不大;峰值黏度呈先上升后下降的趋势。当质量分数在 0.04% 时,峰值黏度最高,为 4 039 MPa·s,原因在于质量分数适量的条件下,糯米粉中巯基(—SH)被氧化成二硫键(—S—S—),二硫键含量增加,蛋白质网络结构增强,使糯米淀粉被蛋白质包裹,对淀粉起到更好的保护作用^[17-18];当质量分数高于 0.04% 时,峰值黏度降低,推测是由于 L-抗坏血酸作为一种氧化还原剂,糯米在氧化处理过程中处于密封状态,氧气量不够充足,过量的 L-抗坏血酸处理起到了还原作用,使已经聚合的蛋白质产生部分裂解^[19]。因此, L-抗坏血酸的最佳质量分数为 0.04%。

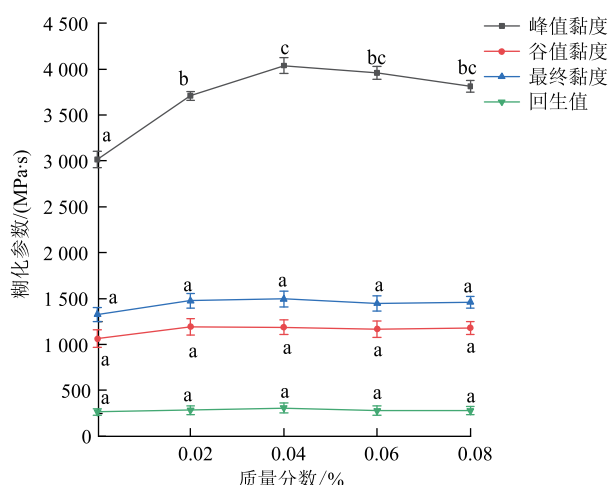


图 1 L-抗坏血酸质量分数对糯米粉糊化参数的影响

Fig. 1 Effect of L-ascorbic acid concentration on the gelatinization parameters of glutinous rice flour

2.1.2 氧化剂处理时间的确定 以糯米为原料,在温度为 60 ℃, L-抗坏血酸质量分数为 0.04% 的条件下,分别设定氧化处理时间为 12、24、36、48、60 h,考察氧化时间对糯米粉糊化参数的影响,结果见图 2。随着氧化处理时间的增加,糯米粉的峰值黏度呈逐渐上升趋势,最终黏度、谷值黏度和回生值变化不显著。当时间在 24~48 h 时,糯米粉的峰值黏度显著增加,推测是由于适度的氧化作用,使淀粉分子间交联作用增强,生成的羧基含量增加,淀粉颗粒在破裂前吸水力增加^[20];当超过 48 h 后,糯米粉的峰值黏度变化不显著。因此,氧化剂处理的最佳时间为 48 h。

2.1.3 氧化剂处理温度的确定 以糯米为原料,在时间为 48 h, L-抗坏血酸质量分数为 0.04% 的条件下,分别设定氧化处理温度为 30、40、50、60、70 ℃,

考察处理温度对糯米粉糊化参数的影响,结果见图 3。随着处理温度的增加,糯米粉的谷值黏度、最终黏度和回生值整体变化不大,峰值黏度呈现上升趋势。当温度为 60 ℃ 时,糯米粉的峰值黏度显著上升。推测是由于受温度影响使部分淀粉酶活性降低,对淀粉颗粒的降解程度随之降低,生成还原糖的量减少;同时,热处理会破坏部分淀粉结构,促进其发生适当氧化,从而使得糯米粉的峰值黏度逐渐升高^[21-22];当高于 60 ℃ 时,糯米粉的峰值黏度变化不大。因此,选择最佳温度为 60 ℃。

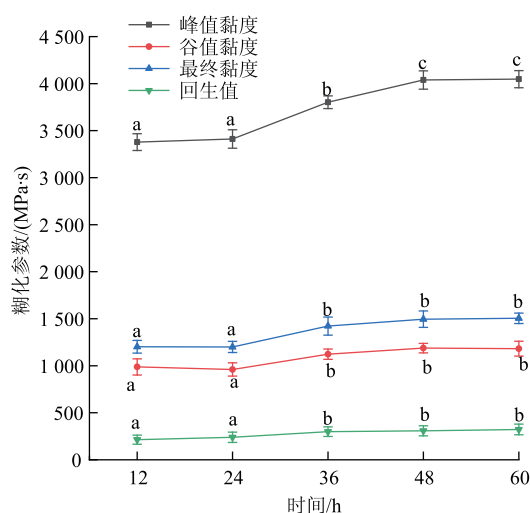


图 2 时间对糯米粉糊化参数的影响

Fig. 2 Effect of time on the gelatinization parameters of glutinous rice flour

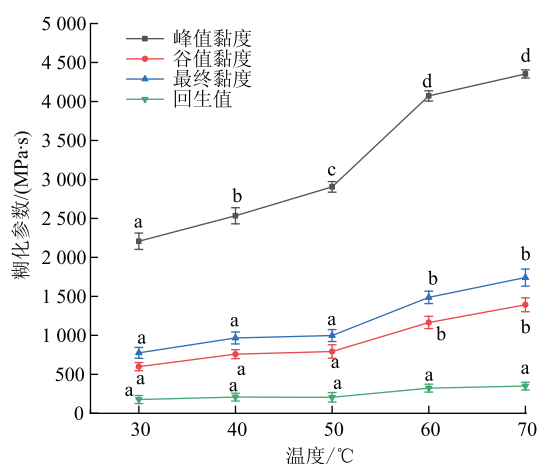


图 3 温度对糯米粉糊化参数的影响

Fig. 3 Effect of temperature on the gelatinization parameters of glutinous rice flour

2.2 响应面优化分析及回归方程的建立

2.2.1 优化实验设计及结果 由单因素实验的结

果可知,糯米粉的谷值黏度、最终黏度和回生值总体变化不大,峰值黏度随 L-抗坏血酸质量分数、时间及温度的变化而变化,且较为显著。有相关研究表明,速冻汤圆的食用品质与糯米粉的峰值黏度呈正相关^[20-21],故选择糯米粉的峰值黏度为指标,进行响应面优化,从而获得 L-抗坏血酸处理糯米的最佳条件。

选取 L-抗坏血酸质量分数(A)、时间(B)、温度(C)为自变量,糯米粉的峰值黏度(Y)为响应值,进行三因素三水平响应面实验,表3为响应面设计及结果。

2.2.2 数学模型的建立及其方差分析 利用 Design-Expert8 软件对表3的数据进行多元回归拟合,得到峰值黏度关于 A、B、C 的三元二次多项回归方程:

$$Y=4\,176.60-39.37A-19.12B+31.50C+143.00AB-93.75AC+180.25BC-221.30A^2-364.80B^2-317.55C^2$$

由表4方差分析结果看出,回归方程的 $P<0.01$,说明模型极显著; $F_{\text{失拟}}=0.184\,8>0.05$,差异不显著,说明残差由随机误差引起;模型确定系数 R^2 为 0.960 9,模型调整确定系数 R^2_{Adj} 为 0.910 7,说明建立的模型拟合程度较好,即实验数据与模型预测值基本相符,表明此模型能够反映响应值变化,可以用此模型对糯米粉的峰值黏度进行分析和预测。由表4回归模型系数的显著性检验结果可知,质量分数和时间的交互项及3个因素的二次项均差异

表3 响应面实验设计及结果

Table 3 Design and results of response surface experiment

编号	A	B	C	Y/MPa·s
1	-1	-1	0	3 858
2	1	-1	0	3 383
3	-1	1	0	3 512
4	1	1	0	3 609
5	-1	0	-1	3 544
6	1	0	-1	3 763
7	-1	0	1	3 700
8	1	0	1	3 544
9	0	-1	-1	3 604
10	0	1	-1	3 227
11	0	-1	1	3 401
12	0	1	1	3 745
13	0	0	0	4 293
14	0	0	0	4 139
15	0	0	0	4 105
16	0	0	0	4 201
17	0	0	0	4 145

显著($P<0.05$),表明各因素对响应值的影响不是简单的线性关系,而是呈二次关系。方程中各项系数绝对值大小反映各因素对响应值的影响程度,正负表示影响的方向^[23]。根据系数值可知各因素的主效应顺序为:质量分数>温度>时间。

2.2.3 因素交互作用分析 图4展示了3个因素

表4 拟合二次多项式模型的方差分析

Table 4 Analysis of variance for fitted quadratic polynomial model

方差来源	平方和	自由度	均方	F	Prob>F	显著性
模型	1 593 879.93	9	177 097.77	19.13	0.000 4	**
A	12 403.13	1	12 403.13	1.34	0.285 0	
B	2 926.12	1	2 926.12	0.32	0.591 5	
C	7 938.00	1	7 938.00	0.86	0.385 3	
AB	81 796.00	1	81 796.00	8.84	0.020 7	*
AC	35 156.25	1	35 156.25	3.80	0.092 3	
BC	129 960.25	1	129 960.25	14.04	0.007 2	**
A ²	206 205.01	1	206 205.01	22.28	0.002 2	**
B ²	560 332.80	1	560 332.80	60.53	0.000 1	**
C ²	424 581.06	1	424 581.06	45.87	0.000 3	**
残差	64 799.95	7	9 257.14			
失拟项	43 116.75	3	14 372.25	2.65	0.184 8	不显著
纯误差	21 683.20	4	5 420.80			
总和	1 658 679.88	16				

注:*表示因素或模型差异显著($P<0.05$);**表示因素或模型差异极显著($P<0.01$); $R^2=0.960\,9$, $R^2_{\text{Adj}}=0.910\,7$ 。

交互作用的响应面图和等高线分布情况。曲面的陡峭程度表示 2 个因素交互作用的显著程度,等高线的形状反映两者交互效应的强弱^[24]。从 3 张响应面 3D 图可以看出,质量分数与时间、时间和温度的响应面曲张程度较明显,表明这两组的交互作用相对于质量分数和温度的交互作用更为显著,该结果与表 4 的方差分析结果一致。

图 4(a)反映温度在 60 ℃时,质量分数和时间的交互作用对糯米粉峰值黏度的影响。*L*-抗坏血酸

质量分数在 0.03%~0.05%时,峰值黏度随质量分数的增加呈现先上升后下降的趋势;在固定质量分数时,糯米粉的峰值黏度随时间的增加也呈先增加后降低的趋势,等高线呈明显的椭圆状。图 4(b)表明了质量分数与温度的交互作用,质量分数对温度的变化相对平滑,说明质量分数对时间的变化比对温度的变化更为敏感。图 4(c)中,在质量分数为 0.04%时,时间在 43~53 h,温度在 55~65 ℃时,峰值黏度呈先上升后下降趋势,且曲面弯曲幅度较明显。

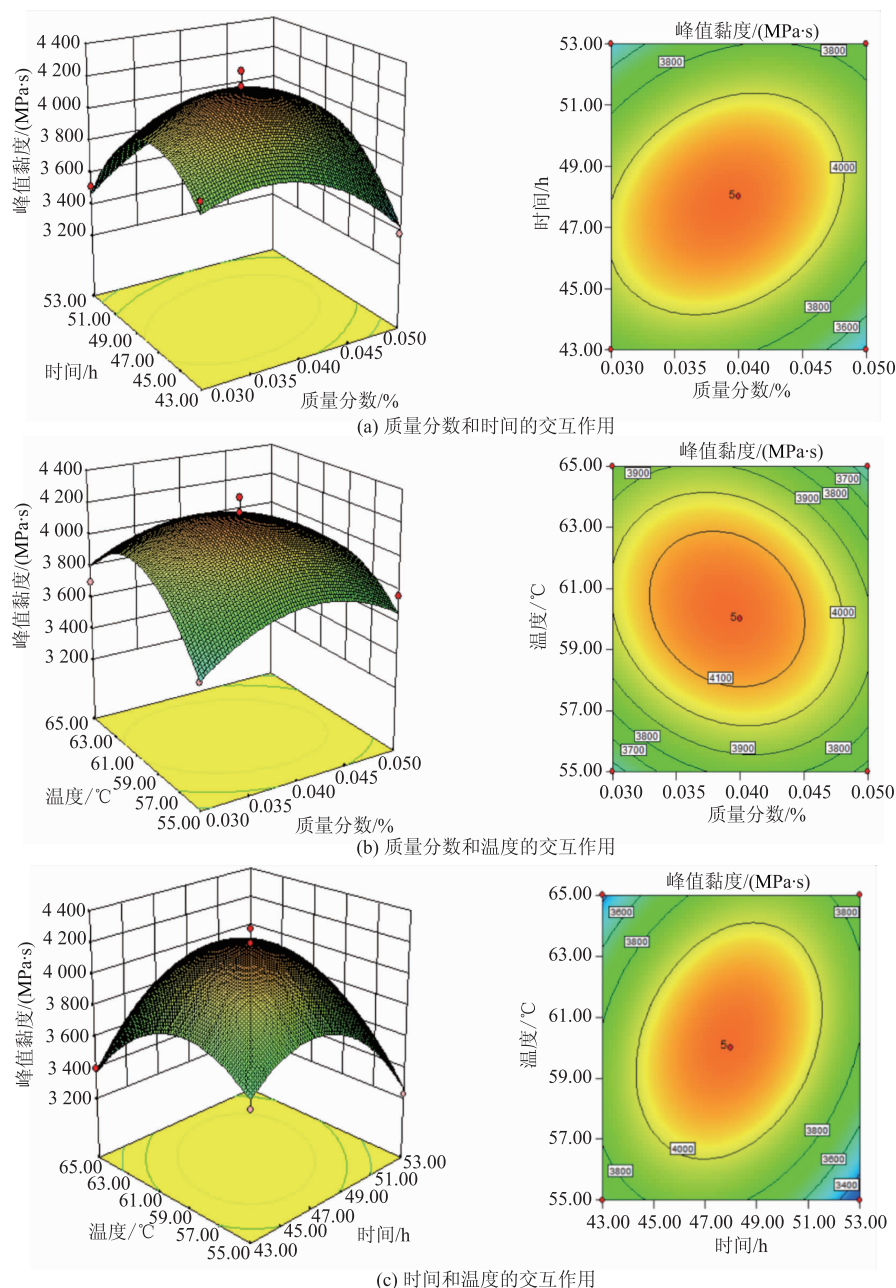


图 4 两因素的交互作用对糯米粉峰值黏度影响的响应面图

Fig. 4 Response surface diagram of the interaction of two factors on peak viscosity of glutinous rice flour

2.2.4 最佳处理条件的选择及验证 通过 Design-Expert8 软件进行优化,得到 *L*-抗坏血酸处理糯米的最佳工艺参数为:*L*-抗坏血酸质量分数 0.038 8%,温度 60.28 ℃,时间 47.83 h,此时得到的糯米粉峰值黏度的理论值为 4 180.02 MPa·s,结合实际操作情况,将最佳工艺参数调整为:*L*-抗坏血酸质量分数 0.039%,温度 60 ℃,时间 48 h。为了验证模型的可靠性,采用最佳工艺参数进行 3 次平行实验,实验结果取平均值,得到糯米粉峰值黏度的实际值为 4 155 MPa·s,与模型预测值接近。因此,该模型能有效预测糯米粉的峰值黏度,具有参考价值。

2.3 *L*-抗坏血酸处理对糯米粉糊化特性的影响

糊化特性是反映淀粉品质的重要指标,RVA 特征值主要包括峰值黏度、谷值黏度、崩解值、最终黏度、回生值、峰值时间、糊化温度^[25]。从表 5 可以看

出,与原糯米粉相比,回生值显著增加说明易老化。峰值时间和糊化温度变化不大,说明 *L*-抗坏血酸处理对糯米粉内部淀粉分子主体结构影响不大,对糯米制品的蒸煮特性影响较小^[17,26]。如图 5 所示,*L*-抗坏血酸处理制得糯米粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度均显著上升,其中峰值黏度增加 81.5%,峰值黏度的高低与糯米粉中的淀粉酶活性有一定的相关性, α -淀粉酶活性越低,糯米粉的峰值黏度越高,推测 *L*-抗坏血酸处理使淀粉酶活性发生变化^[21]。另外有研究表明,糯米经氧化处理后,*L*-抗坏血酸将巯基氧化成二硫键,使蛋白质中的二硫键数目增多,蛋白质与淀粉的结合程度提升,糊化体系的刚性增强,从而使峰值黏度升高^[27]。糯米粉的食品品质与黏性呈正相关^[28],表明 *L*-抗坏血酸处理能增强糯米粉的食品品质。

表 5 原糯米粉与 *L*-抗坏血酸糯米粉的 RVA 糊化参数

Table 5 RVA gelatinization parameters of native and *L*-ascorbic acid treated glutinous rice flour

样品名	峰值黏度/(MPa·s)	谷值黏度/(MPa·s)	崩解值/(MPa·s)	最终黏度/(MPa·s)	回生值/(MPa·s)	峰值时间/min	糊化温度/℃
原糯米粉	2 289.0±2.8 ^a	731.5±7.8 ^a	1 558.0±9.9 ^a	94.0±9.9 ^a	213.0±2.8 ^a	2.9±0.0 ^a	64.6±0.0 ^a
<i>L</i> -抗坏血酸糯米粉	4 155.0±24.5 ^b	1 187.0±34.0 ^b	2 968.0±9.5 ^b	1 519.0±37.5 ^b	332.0±3.5 ^b	3.2±0.0 ^b	65.4±0.0 ^a

注:同行数据的不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

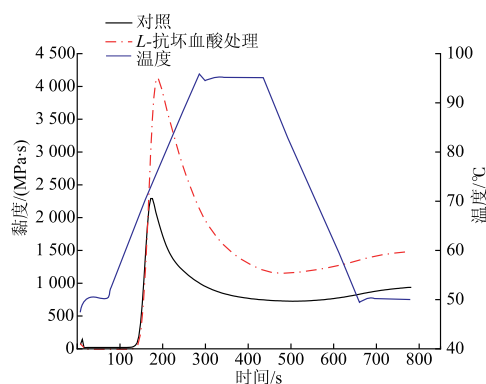


图 5 原糯米粉与 *L*-抗坏血酸糯米粉的黏度曲线

Fig. 5 Viscosity curves of native and *L*-ascorbic acid treated glutinous rice flour

2.4 *L*-抗坏血酸处理对糯米淀粉颗粒形貌的影响

利用扫描电镜观察原糯米淀粉和 *L*-抗坏血酸处理糯米淀粉的颗粒形貌,结果见图 6。原糯米淀粉和 *L*-抗坏血酸糯米淀粉的颗粒形貌基本相似,呈不规则且棱角分明的多面体^[29],说明 *L*-抗坏血酸对淀粉的颗粒形态和完整性影响不大。但图 6(b)和图 6(c)可以看出,淀粉颗粒表面出现一些凹陷和孔洞(如图中标注部分),推测是由于在 *L*-抗坏血酸处理

过程中,对淀粉造成部分损伤,引起部分分子降解,使水分子更易进入淀粉颗粒的无定形区,淀粉颗粒发生部分糊化。吴磊等在制备氧化玉米淀粉过程中,发现部分淀粉表面变的粗糙且出现凹陷^[30],该实验结果与相关报道结果一致。

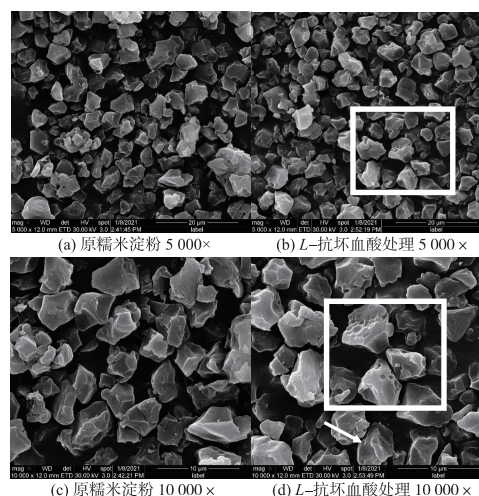


图 6 原糯米粉和 *L*-抗坏血酸糯米粉的扫描电镜图

Fig. 6 SEM of native and *L*-ascorbic acid treated glutinous rice flour

2.5 L-抗坏血酸处理对速冻汤圆质构特性的影响

从表 6 可知,糯米经 L-抗坏血酸处理前后,糯米粉制得汤圆的硬度、黏性、咀嚼性、黏合度均存在显著差异,弹性、内聚性和回复性差异不明显。硬度和咀嚼性在一定程度上可以反映速冻汤圆的品质,咀嚼性与硬度、内聚性和弹性有关,是三者的乘积^[31];经氧化处理后,速冻汤圆的内聚性和弹性变化不大,故咀嚼性和硬度有一定的相关性。从图 7 可

以看出,与对照相比,汤圆的硬度显著提升,说明汤圆发生形变和穿透汤圆所需的力增大^[32],咀嚼性也显著增加,表明 L-抗坏血酸处理能显著提升汤圆的咀嚼韧性和适口性。经氧化处理后,黏性提高了 46%,与前面糊化特性结果一致,峰值黏度大幅增加,说明 L-抗坏血酸的氧化作用能增强糯米粉的黏糯性,从而提升汤圆的品质。

表 6 L-抗坏血酸处理对速冻汤圆 TPA 的影响

Table 6 Effect of L-ascorbic acid treatment on TPA of quick-frozen rice dumplings

样品名	硬度	黏合度	弹性	内聚性	黏性	咀嚼性	回复性
原样	196.29±6.79 ^a	75.94±8.35 ^a	0.79±0.06 ^a	0.61±0.01 ^a	119.28±6.22 ^a	94.57±11.40 ^a	0.25±0.01 ^a
L-抗坏血酸处理样品	347.14±23.65 ^b	20.09±2.82 ^b	0.75±0.00 ^a	0.63±0.00 ^a	219.02±15.90 ^b	163.65±12.30 ^b	0.34±0.00 ^a

2.6 L-抗坏血酸处理汤圆的品质分析

速冻汤圆蒸煮后,浑汤率是评价汤圆品质的重要标准之一^[4]。浑汤率是指速冻汤圆粉团煮后汤的浑浊程度,汤圆经煮制后浑汤率低,汤水的吸光度下降,说明汤圆煮后汤较澄清,沉淀较少。由表 7 可知,糯米经 L-抗坏血酸处理后,汤圆的浑汤率下降,感官评分高。与原样相比,L-抗坏血酸处理后的汤圆有糯米特有的香味,汤圆表面无起毛现象,黏弹性好,不糊口,有嚼劲且软硬适中,更受人们喜爱。表明糯米经 L-抗坏血酸处理后,制得的汤圆食品品质好,与上述测定的质构特性结果一致,故该结果对实际生产有重要的指导意义。

表 7 L-抗坏血酸处理制得速冻汤圆的感官评分和浑汤率
Table 7 Sensory score and paste turbidity rate of quick-frozen rice dumplings prepared by L-ascorbic acid treatment

样品名	浑汤率/%	感官评分
原糯米粉制得汤圆	63.15±2.3 ^a	70 ^a
L-抗坏血酸糯米制得汤圆	15.75±3.5 ^b	87 ^b

3 结 语

L-抗坏血酸处理新糯米的最佳工艺条件为:氧化剂质量分数 0.039%、氧化时间 48 h、温度 60 ℃,在此工艺条件下,糯米粉的峰值黏度增加 81.5%。汤圆的硬度、黏性、咀嚼性增加,表面黏合度降低;感官评分增大,浑汤率下降;感官评价的结果与质构特性一致。表明 L-抗坏血酸处理能够显著提升新糯米粉的峰值黏度,改善速冻汤圆的食味品质。

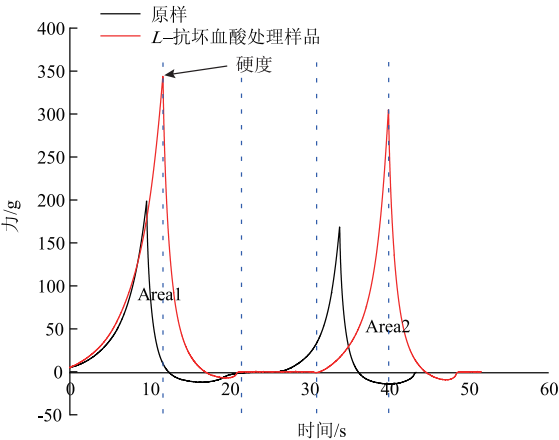


图 7 原糯米粉和 L-抗坏血酸糯米粉制得速冻汤圆的 TPA 分析

Fig. 7 TPA analysis of quick-frozen rice dumplings made from native and L-ascorbic acid treated glutinous rice flour

参考文献:

- [1] 党允卓,周坚,吕庆云,等.速冻汤圆专用糯米核心指标的探究[J].食品科技,2020,45(1):251-256.
- [2] 朱津津.速冻汤圆的质构特性研究[D].郑州:河南农业大学,2012.
- [3] 黄忠民,陈瑾,宋会玲,等.糯米粉特性与速冻汤圆品质相关性分析[J].食品工业科技,2019,40(4):93-99.
- [4] 庄坤,张挽挽,代钰,等.糯米粉不同碾磨方式对汤圆蒸煮及食味品质的影响[J].食品科技,2020,45(1):245-250.
- [5] 项晓月,赵金成,吴建永,等.微波加速陈化过程中大米理化性质和组织结构的变化[J].中国食品学报,2020,20(4):87-92.
- [6] 张磊. L-抗坏血酸对面团特性的影响[J].现代面粉工业,2015,29(1):23-25.
- [7] 李丽杰. L-抗坏血酸对面包的抗老化作用研究[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2013,34(2):100-103.
- [8] 王清章,刘怀超,孙颖.莲藕贮藏中褐变度及多酚氧化酶活性的初步研究[J].中国蔬菜,1997(3):6-8.
- [9] 李正文,廖孙启,方小健.一些物质对芒果多酚氧化酶活性的影响[J].广西农业大学学报,1998(1):24-26.
- [10] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.大米:GB1354-2018[J].北京:中国标准出版社,2018.
- [11] 陈瑾.速冻汤圆品质与糯米粉品质相关性研究[D].郑州:河南农业大学,2019.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品中水分的测定:GB5009.3-2016[J].北京:中国标准出版社,2016.
- [13] 王晓培,陈正行,李娟,等.湿热处理对大米淀粉理化性质及其米线品质的影响[J].食品与机械,2017,33(5):182-187,210.
- [14] 邓林爽.不同糊化度糯米粉理化特性研究[D].武汉:武汉轻工大学,2019.
- [15] 查春月.氧化淀粉对小麦面团特性及面包品质的影响研究[D].南宁:广西大学,2012.
- [16] 代钰.影响汤圆用糯米粉品质因素的研究[D].武汉:武汉工业学院,2011.
- [17] 魏晓明,郭晓娜,朱科学,等.抗坏血酸对荞麦面条品质的影响[J].中国粮油学报,2017,32(9):49-55.
- [18] CHARLOTTE B, BRAM P, KRISTOF B, et al. The impact of the protein network on the pasting and cooking properties of dry pasta products[J]. **Food Chemistry**, 2009, 120(2):371-378.
- [19] MAFORIMBO E, SKURRAY G R, NGUYEN M. Evaluation of L-ascorbic acid oxidation on SH concentration in soy-wheat composite dough during resting period[J]. **LWT – Food Science and Technology**, 2005, 40(2):338-343.
- [20] HU J W, LI X P, JING Y C, et al. Effect of gaseous ozone treatment on the microbial and physicochemical properties of buckwheat-based composite flour and shelf-life extension of fresh noodles[J]. **Journal of Cereal Science**, 2020, 95:1-9.
- [21] 刘成龙,丁文平,庄坤,等.臭氧处理对糯米糊化特性和淀粉酶活性影响的研究[J].粮食与饲料工业,2015(3):24-27.
- [22] KURDZIEL M, LABANOWSKA M, PIETRZYK S, et al. Changes in the physicochemical properties of barley and oat starches upon the use of environmentally friendly oxidation methods[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2019, 210:1-11.
- [23] 廖卢艳,吴卫国.湿热处理改善红薯粉条品质的优化工艺研究[J].中国粮油学报,2016,31(10):114-119,130.
- [24] 李云婷,陈炼红,王琳琳,等.响应面法优化紫兰草紫色素提取工艺及其稳定性研究[J].中国食品添加剂,2020,31(5):87-94.
- [25] RATNAJOTHI H, THAVARATNAM V. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume, and tuber starches[J]. **Carbohydrate Research**, 1994, 252:33-53.
- [26] HARKANWAL P S, FRANK A M, SENAY S. Ozone gas affects physical and chemical properties of wheat (*Triticum aestivum* L.) starch[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2012, 87(2):1261-1268.
- [27] 王丽,熊柳,孙庆杰. VC 氧化对糯米粉特性影响的研究[J].粮油食品科技,2013,21(1):4-6.
- [28] 张国治.糯米粉的品质分析及速冻汤圆品质改良[J].冷饮与速冻食品工业,2006(2):39-42.
- [29] WATCHARATEWINKUL Y, PUTTANLEK C, RUNGSARDTHONG V. Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2009, 75(3):505-511.
- [30] 吴磊,张二娟,张淑芬,等.氧化玉米多孔淀粉的制备及其性质研究[J].河南化工,2019,36(12):22-27.
- [31] 骆洋翔.速冻汤圆贮藏及流通过程中品质变化及货架期预测研究[D].郑州:河南农业大学,2019.
- [32] 王云.糯米粉储藏特性的研究[D].武汉:武汉轻工大学,2014.