

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2020.04.014

文章编号:2095-6002(2020)04-0111-08

引用格式:毛慧佳,刘月,闫舒,等.变性淀粉对汤圆耐煮性的影响[J].食品科学技术学报,2020,38(4):111-118.



MAO Huijia, LIU Yue, YAN Shu, et al. Effect of modified starch on boiling resistance of rice dumpling[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 38(4):111-118.

变性淀粉对汤圆耐煮性的影响

毛慧佳¹, 刘月¹, 闫舒¹, 雷宁宇¹, 张甲奇², 周兴伍³,
李洪岩^{1,*}, 王静¹

(1. 北京工商大学中加食品营养与健康联合实验室, 北京 100048; 2. 杭州普罗星淀粉有限公司, 浙江杭州 310018; 3. 河南黄国粮业股份有限公司, 河南信阳 465150)

摘要:为了解决速冻汤圆耐煮性较差的问题,研究选取不同种类的木薯基变性淀粉与糯米粉复配,以新鲜汤圆和速冻汤圆为研究对象,探究了变性淀粉种类和添加量对汤圆耐煮性的影响。将4种木薯基变性淀粉与糯米粉进行复配,通过测定汤圆粉的黏度及汤圆的硬度,比较变性淀粉对汤圆粉糊化性质及汤圆耐煮性的影响差异,确定适合添加的变性淀粉种类及添加量。结果显示,磷酸酯淀粉对汤圆耐煮性有提高作用,且羟丙基二淀粉磷酸酯(羟丙基质量分数为3.3%,中等交联度)作用效果更显著,而羟丙基淀粉(羟丙基质量分数为3.0%)有良好的抗回生效果。两种变性淀粉复合添加时既可以提高汤圆耐煮性,同时也能起到良好的抗回生效果。汤圆粉的较佳配方为羟丙基二淀粉磷酸酯(羟丙基质量分数为3.3%,中等交联度)、羟丙基淀粉(羟丙基质量分数为3.0%)、糯米粉的质量比为8:2:90,此条件下汤圆耐煮性得到明显的提高。该结论旨在为速冻汤圆的生产加工和变性淀粉在速冻食品中的应用提供一定的理论参考。

关键词:变性淀粉;速冻汤圆;糊化特性;硬度;耐煮性

中图分类号:TS236.9

文献标志码:A

汤圆是以糯米为主要原料的中国传统小吃,深受人们喜爱,历史非常久远。随着冷链和速冻技术的发展,速冻汤圆应运而生,无论是新鲜汤圆还是速冻汤圆,水煮均是常见的汤圆吃法,由于糯米粉的吸水性和保水性较差,缺少筋力,因此耐煮性是汤圆的重要蒸煮特性之一,影响汤圆的食用品质。目前,国内针对汤圆蒸煮品质的研究主要集中在糯米粉组分^[1]、加工条件^[2]和添加剂^[3]对汤圆蒸煮品质的影响方面。变性淀粉具有特殊的理化性质、分子结构以及独特的消化特性和口感^[4]。基于添加变性淀粉提高面制食品耐煮性的研究较多,蒋启巍^[5]通过

优化醋酸酯淀粉、羟丙基淀粉的添加量,改善了挂面的耐煮性;唐洪波等^[6]则通过优化交联淀粉用量和交联度对鲜粉丝的耐煮性进行了优化。将其添加至糯米粉中可以改善米粉团的品质及汤圆的耐煮性,李光磊等^[7]发现在糯米粉中加入磷酸单酯淀粉可以增强汤圆的耐煮性,邹键^[8]制备了羟丙基-酶解木薯淀粉,并验证其可以降低速冻汤圆煮制过程中的开裂程度,孙健等^[9]利用羟丙基淀粉改善汤圆面皮加工工艺,改善了速冻汤圆的煮后品质。

因此,本研究拟选取两种羟丙基二淀粉磷酸酯、羟丙基淀粉和醋酸酯淀粉4种不同变性淀粉,通过

收稿日期:2019-07-08

基金项目:“十三五”国家科技支撑计划项目(2018YFD0400600;2017YFD0401102-03);国家自然科学基金资助项目(31901729)。

第一作者:毛慧佳,女,博士研究生,研究方向为功能性淀粉配料的开发。

*通信作者:李洪岩,男,副教授,博士,主要从事淀粉的构效关系与利用方面的研究。

测定汤圆粉的快速黏度分析曲线(rapid visco analysis, RVA)及汤圆的硬度,研究其种类和添加量对汤圆粉糊化性质及汤圆耐煮性的影响,并对其进行复配得到较优的添加量,提高汤圆耐煮性及抗回生性。

1 材料与方法

1.1 实验材料

糯米粉,河南黄国粮业股份有限公司;木薯基变性淀粉:羟丙基二淀粉磷酸酯(羟丙基质量分数为3.0%,低交联度)(简称“MS1”)、羟丙基二淀粉磷酸酯(羟丙基质量分数为3.3%,中等交联度)(简称“MS2”)、醋酸酯淀粉(乙酰基质量分数为0.5%)(简称“MS3”)、羟丙基淀粉(羟丙基质量分数为3.0%)(简称“MS4”),杭州普罗星淀粉有限公司。经测定,糯米粉及4种木薯基变性淀粉的水分质量分数均为12%。

1.2 仪器与设备

TecMaster型快速黏度分析仪,瑞典Perten公司;CT3 25K型质构仪,美国Brookfield公司;ME104型电子天平,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;电饭锅,广东美王电器有限公司;电磁炉,广东美的生活电器制造有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 汤圆粉糊化性质的测定

分别量取25 mL蒸馏水和2.000 g样品加入干燥洁净的RVA铝制容器中,快速搅拌样品使之混合均匀,将其放入夹层保温槽中,操作参数为50℃条件下保温1 min,以后以6℃/min的速率升温至95℃,保温5 min,再以6℃/min的速率降温至50℃,保温2 min,前10 s内搅拌速率为960 r/min,而后以160 r/min搅拌速率进行黏度测试,测定样品的黏度、回生值及糊化温度等指标,其中,峰值黏度为样品开始糊化到冷却前达到的最大黏度,本研究用峰值黏度代表其黏度。回生值为最终黏度与最低黏度的差值。糊化温度为加热后样品黏度开始增大时的温度。每个样品平行2次。

1.3.2 汤圆制作方法

取一定量的糯米粉或混合糯米粉,加入 $w = 80\%$ 蒸馏水,揉至粉团表面光滑,静置20 min使水分达到平衡。称取10 g粉团,搓成球形。包装好后放置在-20℃冷藏柜中冻藏,并定时取出进行耐煮性测定,新鲜汤圆于当天测定。

1.3.3 汤圆硬度的测定

汤圆耐煮性一般以汤圆熟化的时间进行评价,为简化实验,本实验固定蒸煮时间,以蒸煮相同时间后的汤圆硬度评价汤圆的耐煮性,即硬度越大,耐煮性越强。取500 mL蒸馏水于锅中煮沸,将6个汤放入锅后计时30 min,捞出。采用质构仪测定汤圆的硬度,操作参数:选用TA25-100柱形探头,测试速度为1.5 mm/s,触发力5.0 g,探头压缩至汤圆形变程度为50%。通过质构分析特征曲线,本研究选择探头第一次挤压样品到指定位置时所需最大的力为硬度参数。

1.3.4 变性淀粉种类的选择

将4种变性淀粉按照 $w = 10\%$ 的质量分数与糯米粉混合,作为汤圆复配粉。对4种复配粉和纯糯米粉进行RVA测定,考察变性淀粉种类对糯米粉糊化性质的影响。

用此复配粉制作汤圆,测定其硬度值,即表征汤圆的耐煮性。

1.3.5 变性淀粉添加量实验

将筛选出效果较好的2种变性淀粉:羟丙基二淀粉磷酸酯(MS2)和羟丙基淀粉(MS4)分别按照 $w = 0\%、2\%、4\%、6\%、8\%、10\%$ 的质量分数与糯米粉混合,对其进行RVA测定,考察变性淀粉添加量对糯米粉糊化性质的影响。

用此复配粉制作汤圆,取样测定其硬度值,考察变性淀粉添加量对新鲜汤圆耐煮性的影响。

1.3.6 速冻汤圆耐煮性实验

将筛选出效果较好的羟丙基二淀粉磷酸酯(MS2)和羟丙基淀粉(MS4)分别按照 $w = 10\%$ 的质量分数与糯米粉混合后,制作汤圆,并于-20℃条件下冻藏0、7、14 d,冻藏结束后测定汤圆的硬度值,考察变性淀粉对速冻汤圆耐煮性的影响。

1.3.7 变性淀粉复配比例的选择

为进一步了解两种变性淀粉对糯米粉糊化性质的影响,控制羟丙基二淀粉磷酸酯(MS2)和羟丙基淀粉(MS4)的总添加量为 $w = 10\%$,分别按照 $m(\text{MS2}):m(\text{MS4})$ 为0:10、2:8、4:6、6:4、8:2、10:0的添加水平与糯米粉混合,测定其对糯米粉糊化性质的影响,并优化最佳添加比例。

以最佳添加比例的两种变性淀粉与糯米粉混合后,制作新鲜汤圆和速冻汤圆(冷冻7 d),测定其硬度值,考察其耐煮性。此外,将新鲜和速冻汤圆于电磁炉沸水中分别煮制15、25 min后,测定其硬度值,

考察最终耐煮性。

1.3.8 数据处理及绘图

使用 Excel 进行绘图,使用 SPSS 17.0 进行统计学分析, $P < 0.05$ 有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 变性淀粉种类对汤圆粉糊化性质和新鲜汤圆耐煮性的影响

影响淀粉糊化的因素有很多,首先是淀粉颗粒的大小,淀粉颗粒会直接影响淀粉的糊化度,进而影响淀粉糊的峰值黏度,淀粉颗粒越小,相应的峰值黏度越高,在感官品质表现为更加细腻、有弹性且易熟^[10];此外支链淀粉和直链淀粉的比例、淀粉结构、

温度、水分活度等等都对淀粉糊化性质有较大影响^[11-12]。

研究了不同种类变性淀粉对糯米粉糊化特性的影响,见表1。添加了几种变性淀粉的汤圆复配粉回生值均较高,这是因为所添加的变性淀粉为木薯基变性淀粉,含大量的C型晶体,具有易回生等性质。相对回生度为回生值与峰值温度的比值,添加羟丙基淀粉后的相对回升度较低,具有较好抗回生性,且添加羟丙基淀粉的糯米粉的糊化温度较低,其良好的易糊化性质有利于其蒸煮,加快产品总体的煮熟速度。添加羟丙基二淀粉磷酸酯(MS2)的糯米粉具有较高的峰值黏度,说明此种变性淀粉的加入有利于提升糯米粉糊化的黏度。

表1 不同种类变性淀粉对汤圆粉糊化特性的影响

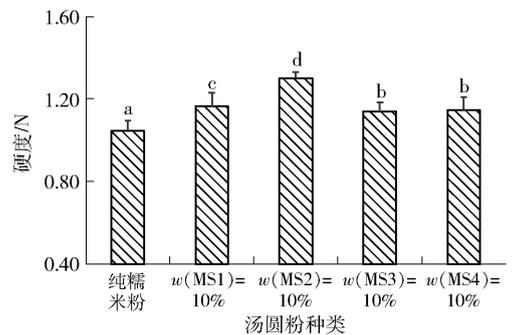
Tab.1 Effect of different modified starches on gelatinization properties of rice dumpling flour

淀粉种类	峰值黏度/(mPa·s)	回生值/(mPa·s)	相对回生度/%	糊化温度/°C
纯糯米粉	1 803.00 ± 1.00 ^a	226.50 ± 16.50 ^a	0.13 ± 0.01 ^a	71.80 ± 0.00 ^a
w(MS1) = 10%	1 894.50 ± 23.50 ^b	297.00 ± 1.00 ^b	0.16 ± 0.00 ^{ab}	71.43 ± 0.42 ^{abc}
w(MS2) = 10%	1 861.00 ± 25.00 ^b	268.50 ± 14.50 ^b	0.14 ± 0.01 ^{bc}	71.00 ± 0.00 ^{ab}
w(MS3) = 10%	1 780.00 ± 1.00 ^a	299.50 ± 0.50 ^b	0.17 ± 0.00 ^c	70.63 ± 0.42 ^{bc}
w(MS4) = 10%	1 796.50 ± 3.50 ^a	294.50 ± 1 150 ^b	0.16 ± 0.01 ^{bc}	70.20 ± 0.05 ^c

同列数据上标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

汤圆的耐煮性不仅要考虑到汤圆粉的糊化特性,还需考虑到汤圆煮制后的硬度等特性,测定新鲜煮制的汤圆的硬度是耐煮性最直接的评估方法。对添加不同种类变性淀粉的新鲜汤圆的硬度值进行测定,结果见图1。由图1可以看出,添加 $w = 10\%$ 羟丙基二淀粉磷酸酯(MS2)的汤圆硬度最大,即耐煮性最好;添加其他3种变性淀粉的硬度也都显著大于纯糯米粉的。

变性淀粉的主要性质影响了糯米粉的性质,其分子网络能够与粉团的分子网络形成相互交叉、相互贯穿的新网络,因而增加粉团的弹性^[13],从而影响汤圆质构。其中,羟丙基变性淀粉用作食品的增稠剂和稳定剂^[14],不易老化、回生且吸湿性、保水性强;在变性淀粉中,磷酸酯淀粉为淀粉阴离子衍生物,具有非常好的亲水性,与原始淀粉相比,黏度和透明度及稳定性更加,可提高汤圆的细腻度和耐煮性^[15];醋酸酯变性淀粉糊化温度较低、黏度高且存储稳定^[16]。变性淀粉与糯米粉的混合通过影响糯米粉中淀粉的直链淀粉和支链淀粉的比例、分子大小和结构进而影响其糊化特性及冻融稳定性。



不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图1 添加不同种类变性淀粉对新鲜汤圆煮后硬度的影响

Fig.1 Effect of adding different modified starch on hardness of fresh boiled rice dumplings

2.2 变性淀粉添加量对汤圆粉糊化性质和新鲜汤圆耐煮性的影响

2.2.1 羟丙基二淀粉磷酸酯的影响

羟丙基二淀粉磷酸酯(MS2)能够提高汤圆耐煮性,羟丙基变性淀粉(MS4)可提高汤圆的稳定性,且抗回生效果较好,故选取羟丙基二淀粉磷酸酯(MS2)和羟丙基淀粉(MS4)进一步研究变性淀

粉添加量对汤圆粉糊化性质和新鲜汤圆耐煮性的影响。

通过 RVA 测定羟丙基二淀粉磷酸酯不同添加量的汤圆粉的糊化性质,结果见表 2。由表 2 中可以看出添加磷酸酯淀粉后,汤圆粉的峰值黏度随添

加量的增大而增大,但差异不显著;相对回生度随添加量的增加而增大,这主要是由于木薯淀粉中含有大量的直链淀粉,而直链淀粉易回生,其过程是淀粉分子与水分子之间的部分氢键被破坏,导致水合能力下降,水分子析出。

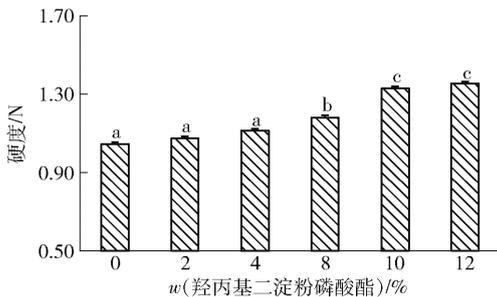
表 2 羟丙基二淀粉磷酸酯对汤圆粉糊化性质的影响

Tab. 2 Effect of hydroxypropyl distarch phosphate on gelatinization properties of rice dumpling flour

$w(\text{MS2})/\%$	峰值黏度/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	回生值/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	相对回生度/%	糊化温度/ $^{\circ}\text{C}$
0	1 839.50 ± 37.50 ^a	226.50 ± 16.50 ^a	0.12 ± 0.01 ^a	71.80 ± 0.00 ^a
2	1 828.00 ± 12.00 ^a	250.00 ± 1.00 ^{ab}	0.14 ± 0.00 ^{ab}	71.48 ± 0.43 ^a
4	1 873.50 ± 7.50 ^a	287.50 ± 32.50 ^{bc}	0.15 ± 0.02 ^{bc}	71.03 ± 0.02 ^a
6	1 875.00 ± 28.00 ^a	276.50 ± 0.50 ^{abc}	0.15 ± 0.00 ^{abc}	71.48 ± 0.43 ^a
8	1 889.00 ± 10.00 ^a	300.00 ± 5.00 ^{bc}	0.16 ± 0.00 ^{bc}	71.80 ± 0.05 ^a
10	1 930.50 ± 12.50 ^a	291.50 ± 6.50 ^{bc}	0.15 ± 0.00 ^{bc}	71.03 ± 0.02 ^a
12	1 932.00 ± 58.00 ^a	323.00 ± 14.00 ^c	0.17 ± 0.00 ^c	71.38 ± 0.47 ^a

同列数据上标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

羟丙基二淀粉磷酸酯(MS2)对汤圆硬度的影响结果见图 2,汤圆的硬度随着羟丙基二淀粉磷酸酯添加量的增大而增大,而且在添加量达到 10%、12%时汤圆硬度最优。



不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图 2 羟丙基二淀粉磷酸酯对新鲜汤圆煮后硬度的影响

Fig. 2 Effect of hydroxypropyl distarch phosphate on hardness of fresh boiled rice dumplings

2.2.2 羟丙基淀粉的影响

对添加不同质量分数羟丙基淀粉的汤圆粉的糊化性质进行测定,结果见表 3。由表 3 可以看出,添加羟丙基淀粉后,汤圆粉的峰值黏度随添加量的增大而降低,糊化温度随添加量的增加逐渐降低,相对回生度随添加量的增加而增大,羟丙基淀粉表现出的低抗回生性,主要是因为木薯淀粉易回生引起的。

羟丙基淀粉添加量对汤圆硬度值的影响如图 3

所示,羟丙基淀粉的添加一定程度上提高了汤圆硬度值,但整体上硬度值无显著性差异。且汤圆硬度随羟丙基变性淀粉的增多而降低。所以羟丙基的添加量在 2% ~ 10% 时,对汤圆硬度都有增强效果,2% 为较优添加量。

2.3 变性淀粉对冷冻汤圆耐煮性的影响

冷冻食品在冷冻、贮藏和解冻过程中由于各种因素的影响使其品质下降,例如冷冻面团在冷冻过程中面团中水分的迁移,造成水分损失。由于面团内部的自由水分结晶和重结晶而形成的冰晶会对面筋网络结构造成物理性的破坏,导致面团的流变学特性发生了变化,冷冻后的汤圆常出现冻裂或蒸煮时汤汁浑浊等现象^[17]。冻融稳定性是评价含淀粉物质经受冷冻和解冻过程时的抵抗能力的一个重要属性。

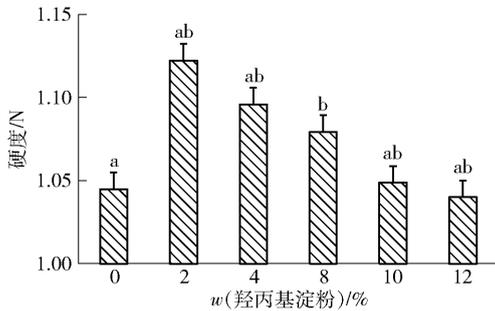
将分别添加两种变性淀粉的汤圆冷冻不同时间,对其硬度进行测定,两种变性淀粉对速冻汤圆耐煮性的影响结果,结果见图 4。由图 4 可知,随冷冻时间增加,蒸煮后汤圆硬度增大,即汤圆耐煮性随冷冻时间的增加而增大。此外,不论经不同时间的冷冻处理还是新鲜煮制,添加羟丙基二淀粉磷酸酯(MS2)和羟丙基淀粉的汤圆硬度均大于纯糯米粉所制的,其中磷酸酯淀粉耐煮性最佳,效果最好。

表3 羟丙基淀粉对汤圆粉糊化性质的影响

Tab. 3 Effect of hydroxypropyl starch on gelatinization properties of rice dumpling

$w(\text{MS4})/\%$	峰值黏度/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	回生值/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	相对回生度/ $\%$	糊化温度/ $^{\circ}\text{C}$
0	$1\ 839.50 \pm 37.50^{\text{ab}}$	$226.50 \pm 16.50^{\text{a}}$	$0.12 \pm 0.01^{\text{a}}$	$71.80 \pm 0.00^{\text{a}}$
2	$1\ 858.50 \pm 3.50^{\text{b}}$	$253.50 \pm 6.50^{\text{ab}}$	$0.14 \pm 0.00^{\text{ab}}$	$71.03 \pm 0.07^{\text{bc}}$
4	$1\ 840.00 \pm 14.00^{\text{ab}}$	$279.50 \pm 12.50^{\text{bc}}$	$0.15 \pm 0.01^{\text{bc}}$	$71.03 \pm 0.02^{\text{bc}}$
6	$1\ 831.50 \pm 4.50^{\text{abc}}$	$264.50 \pm 3.50^{\text{bc}}$	$0.14 \pm 0.00^{\text{b}}$	$71.40 \pm 0.40^{\text{ab}}$
8	$1\ 779.00 \pm 3.00^{\text{cd}}$	$287.00 \pm 7.00^{\text{bc}}$	$0.16 \pm 0.00^{\text{cd}}$	$70.58 \pm 0.38^{\text{cd}}$
10	$1\ 796.50 \pm 3.50^{\text{acd}}$	$294.50 \pm 11.50^{\text{c}}$	$0.16 \pm 0.01^{\text{cd}}$	$70.20 \pm 0.05^{\text{d}}$
12	$1\ 750.50 \pm 14.50^{\text{d}}$	$294.00 \pm 0.00^{\text{c}}$	$0.17 \pm 0.00^{\text{d}}$	$70.10 \pm 0.00^{\text{d}}$

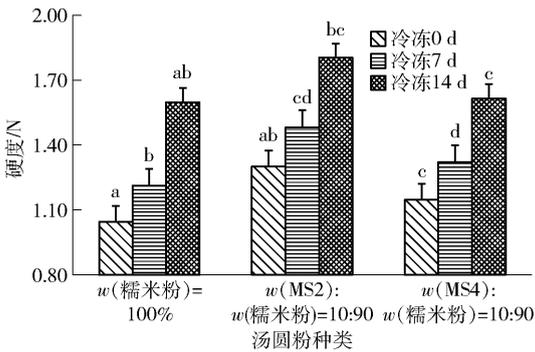
同列数据上标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。



不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图3 羟丙基淀粉对新鲜汤圆煮后硬度的影响

Fig. 3 Effect of hydroxypropyl starch on hardness of fresh boiled rice dumplings



不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图4 不同种类变性淀粉对冷冻汤圆煮后硬度的影响

Fig. 4 Effect of different modified starch on hardness of frozen rice dumplings

2.4 羟丙基二淀粉磷酸酯和羟丙基淀粉复配添加对汤圆粉糊化性质和汤圆耐煮性的影响

2.4.1 对汤圆粉糊化性质的影响

通过研究变性淀粉种类、添加量对汤圆粉糊化性质及汤圆耐煮性的影响,发现磷酸酯淀粉所带来的磷酸基团,具有非常好的增稠能力、吸水和持水能

力,而羟丙基具有良好糊化性和相对较好的抗回生性,因此将二者进行复配,希望在提高耐煮性的同时具有良好的抗回生效果。

复配添加不同比例的羟丙基二淀粉磷酸酯(MS2)和羟丙基淀粉的汤圆粉的糊化性质结果见表4。其中,当复配比例为 $m(\text{MS2}):m(\text{MS4}):m(\text{糯米粉})=8:2:90$ 时,汤圆粉的峰值黏度较高;同纯糯米粉相比较,添加复配的变性淀粉后糊化温度有所下降;在复合添加时,不同添加比例的混合糯米粉之间相对回生度没有显著性差异($P > 0.1$)。

综合来看,在相对回生度无显著差异的情况下,当复配比例为 $m(\text{MS2}):m(\text{MS4}):m(\text{糯米粉})=8:2:90$ 时汤圆粉有较高的糊化温度,即耐煮性较强,因此该比例配方为较优的组合比例。

2.4.2 对汤圆耐煮性的影响

确定合适的复配比例后进一步研究两种变性淀粉的复配对新鲜和速冻汤圆耐煮性的影响,结果见图5。如图5所示,新鲜汤圆中复配组的硬度显著高于纯糯组的;且经冷冻后,添加复配变性淀粉的汤圆硬度值显著增强,由此可以看出比例经优化后的复配变性淀粉对汤圆耐煮性有显著提高作用。

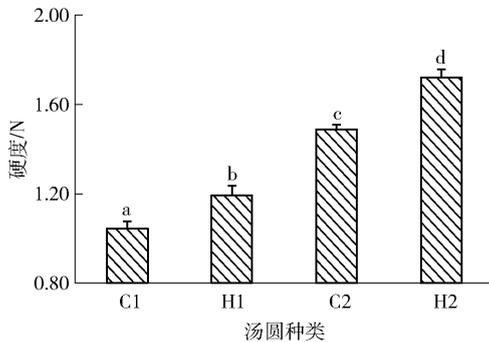
此外还分别对纯糯米粉的汤圆和复配粉制得的汤圆水煮不同时间,进行耐煮性综合实验,结果见图6。可以看出,复配粉汤圆延长煮制时间至25 min后的硬度值与纯糯米汤圆煮制15 min后的硬度值相同。对于实际上煮制25 min的冷冻复配组比煮制15 min的新鲜纯糯粉组硬度值稍大,且差异显著,说明可以再增加煮制时间,使二者硬度值相同。这一结果可以说明在复配及冷冻后,汤圆的硬度值增加,蒸煮时间延长10 min,相应的表明其耐煮性提高了67%。

表4 不同复配比例的变性淀粉对汤圆粉糊化性质的影响

Tab.4 Effect of different ratio of modified starch on gelatinization properties of rice dumpling flour

配方	峰值黏度/(mPa·s)	回生值/(mPa·s)	相对回生度/%	糊化温度/℃
w (纯糯米粉) = 100%	1 839.50 ± 37.50 ^{ab}	226.50 ± 16.50 ^a	0.12 ± 0.01 ^a	71.80 ± 0.00 ^a
m (MS4): m (糯米粉) = 10:90	1 796.50 ± 3.50 ^a	294.50 ± 11.50 ^b	0.16 ± 0.01 ^b	70.20 ± 0.05 ^b
m (MS2): m (MS4): m (糯米粉) = 2:8:90	1 817.00 ± 20.00 ^a	297.50 ± 25.50 ^b	0.16 ± 0.02 ^b	70.98 ± 0.02 ^c
m (MS2): m (MS4): m (糯米粉) = 4:6:90	1 858.50 ± 25.50 ^{ab}	288.50 ± 6.50 ^b	0.16 ± 0.01 ^b	71.00 ± 0.00 ^c
m (MS2): m (MS4): m (糯米粉) = 6:4:90	1 894.50 ± 23.50 ^{abc}	308.00 ± 15.00 ^b	0.16 ± 0.01 ^b	70.58 ± 0.42 ^{bc}
m (MS2): m (MS4): m (糯米粉) = 8:2:90	1 984.00 ± 55.00 ^c	302.00 ± 6.00 ^b	0.15 ± 0.01 ^{ab}	70.98 ± 0.02 ^c
m (MS2): m (糯米粉) = 10:90	1 930.50 ± 12.50 ^{bc}	291.50 ± 6.50 ^b	0.15 ± 0.00 ^{ab}	71.03 ± 0.02 ^c

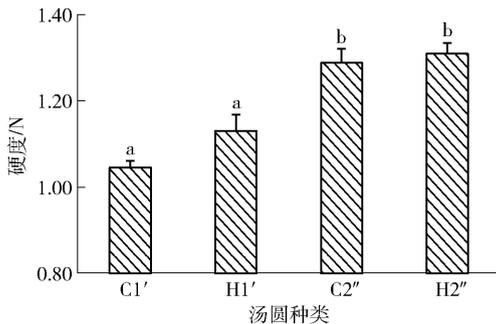
同列数据上标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。



C1 为新鲜汤圆(w (糯米粉) = 100%), H1 为新鲜汤圆(m (MS2): m (MS4): m (糯米粉) = 8:2:90), C2 为冷冻汤圆(w (糯米粉) = 100%), H2 为冷冻汤圆(m (MS2): m (MS4): m (糯米粉) = 8:2:90);不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图5 复配变性淀粉对新鲜和冷冻汤圆煮后硬度的影响

Fig.5 Effect of compound modified starch on hardness of fresh and frozen rice dumplings



C1'为新鲜汤圆(w (糯米粉) = 100%)、水煮 15 min, H1'为新鲜汤圆(m (MS2): m (MS4): m (糯米粉) = 8:2:90)、水煮 25 min, C2''为冷冻汤圆(w (糯米粉) = 100%)、水煮 15 min, H2''为冷冻汤圆(m (MS2): m (MS4): m (糯米粉) = 8:2:90)、水煮 25 min;不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图6 复配变性淀粉对新鲜和冷冻汤圆水煮时长的影响

Fig.6 Effect of compound modified starch on boiling time of fresh and frozen rice dumplings

3 结论

变性淀粉具有特殊的理化性质和分子结构,有独特的营养价值、消化特性和口感^[18]。汤圆是由糯米制成的中国传统食品,糯米粉中加入变性淀粉可以提高糯米皮的黏结性,减少其经冷冻后的开裂现象,影响糯米粉的糊化特性及汤圆的耐煮性质,含较多直链淀粉的变性淀粉通过与高含量直链淀粉混合后,利于淀粉颗粒上弹性凝胶网状结构的形成^[19],能够降低糯米粉糊化温度,提高糊化黏度。

比较4种木薯基变性淀粉本身的性质,羟丙基二淀粉磷酸酯(MS2)与羟丙基变性淀粉对糯米粉的糊化特性显著影响,使其峰值黏度升高,糊化温度降低,羟丙基淀粉表现出良好的抗回生性;在TPA测定时,添加羟丙基二淀粉磷酸酯(MS2)的硬度值与未添加变性淀粉情况下制作的汤圆,耐煮性明显提高。

通过将羟丙基二淀粉磷酸酯(MS2)与羟丙基淀粉(MS4)两种变性淀粉进行复合添加,并对汤圆粉的糊化性质、汤圆煮后的硬度进行测定后,确定最佳复配比为 m (MS2): m (MS4): m (糯米粉) = 8:2:90;并通过延长10 min的蒸煮时间使汤圆达到相同硬度值,进一步证明了此复配比能显著提高汤圆耐煮性及抗回生性。

参考文献:

[1] 周显青,王娟,张玉荣,等.糯米粉组分对速冻汤圆团蒸煮特性的影响[J].粮食与饲料工业,2015,12(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, 12(10): 21–26.
- [2] 周显青, 徐启恩, 胡育铭, 等. 加工条件对汤圆蒸煮特性的影响及水分迁移分析 [J]. *粮油食品科技*, 2015, 23(4): 1–6.
- ZHOU X Q, XU Q E, HU Y M, et al. Effect of processing conditions on the cooking characteristics of dumpling and moisture migration analysis [J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2015, 23(4): 1–6.
- [3] 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 effects on cooking quality [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2014(4): 30–33, 37.
- [4] 史晓云, 梁艳, 檀琮萍, 等. 变性淀粉应用于粉丝中的研究进展 [J]. *山东食品发酵*, 2015(1): 23–27.
- SHI X Y, LIANG Y, TAN Z P, et al. Research progress on the modified starch is applied to the vermicelli [J]. *Shandong Food Ferment*, 2015(1): 23–27.
- [5] 蒋启巍. 耐煮型配方挂面的品质评价研究 [J]. *食品工业科技*, 2016, 37(23): 257–261, 271.
- JIANG Q W. Study on quality evaluation of boiling resistant noodle [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(23): 257–261, 271.
- [6] 唐洪波, 李艳平, 董四清. 交联淀粉性能与鲜粉丝耐煮性关系 [J]. *粮油加工*, 2014(1): 69–71, 79.
- TANG H B, LI Y P, DONG S Q. Relationship between properties of cross-linking starch and boiling resistance of fresh vermicelli [J]. *Cereals and Oils Processing*, 2014(1): 69–71, 79.
- [7] 李光磊, 庞玲玲, 曾洁, 等. 磷酸单酯淀粉在汤圆中的应用研究 [J]. *食品工业*, 2010, 31(5): 77–79.
- LI G L, PANG L L, ZENG J, et al. Research on the application of phosphate monoester starch in sweet dumplings [J]. *Food Industry*, 2010, 31(5): 77–79.
- [8] 邹建. 羟丙基-酶解木薯淀粉性质及其在速冻汤圆中的应用研究 [J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(3): 196–199.
- ZOU J. Studies on properties of hydroxypropyl-enzyme tapioca starch and application in quick-frozen dumpling [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43(3): 196–199.
- [9] 孙健, 田志宏, 徐焱春, 等. 羟丙基淀粉在速冻汤圆中的应用研究 [J]. *食品安全导刊*, 2016(18): 129–130.
- SUN J, TIAN Z H, XU Y C, et al. Application of hydroxypropyl starch in quick-frozen rice dumpling [J]. *China Food Safety Magazine*, 2016(18): 129–130.
- [10] SAJILATA M G, SINGHAL R S. Specialty starches for snack foods [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2005, 59(2): 131–151.
- [11] ZHU F. Structures, properties, modifications, and uses of oat starch [J]. *Food Chemistry*, 2017, 229: 329–340.
- [12] ZELEZNAK K J, HOSENEY R C. Characterization of starch from bread aged at different temperatures [J]. *Starch-Starke*, 1987, 39(7): 231–233.
- [13] 顾玲. 速冻汤圆粉团品质改良的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2015.
- GU L. Study on the improvement of quality of quick-frozen rice balls [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015.
- [14] WANG W, SUN Z, SHI Y C. An improved method to determine the hydroxypropyl content in modified starches by ¹H NMR [J]. *Food Chemistry*, 2019, 295: 556–562.
- [15] 侯丹. 变性淀粉对速冻米面制品的影响 [J]. *食品安全导刊*, 2017(27): 126.
- HOU D. Influence of modified starch on the quick-frozen rice and flour products [J]. *China Food Safety Magazine*, 2017(27): 126.
- [16] 李丽, 李刚凤, 谭沙, 等. 醋酸酯变性淀粉对荞麦挂面烹煮、质构特性的影响 [J]. *食品工业科技*, 2018, 39(3): 48–51.
- LI L, LI G F, TAN S, et al. Effect of acetate starch on cooking stability and texture characteristics of buckwheat noodle [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(3): 48–51.
- [17] ZHU Z, ZHOU Q, SUN D W. Measuring and controlling ice crystallization in frozen foods: a review of recent developments [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 90: 13–25.
- [18] WLODARCZYK-STASIAK M, MAZUREK A, JAMROZ J, et al. Physicochemical properties and structure of hydrothermally modified starches [J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 95: 88–97.
- [19] WANG H, XIAO N, WANG X, et al. Effect of pregelatinized starch on the characteristics, microstructures, and quality attributes of glutinous rice flour and dumplings [J]. *Food Chemistry*, 2019, 283: 248–256.

Effect of Modified Starch on Boiling Resistance of Rice Dumpling

MAO Huijia¹, LIU Yue¹, YAN Shu¹, LEI Ningyu¹, ZHANG Jiaqi², ZHOU Xingwu³,
LI Hongyan^{1,*}, WANG Jing¹

(1. *China-Canada Joint Lab of Food Nutrition and Health (Beijing)*, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 2. *Starpro Starch Co Ltd*, Hangzhou 310018, China; 3. *Henan Huangguo Grain Co Ltd*, Xinyang 465150, China)

Abstract: In order to solve the problem of poor cooking resistance of quick-frozen rice dumpling, different types of cassava-based modified starch were blended with glutinous rice flour, and fresh rice dumpling and quick-frozen rice dumpling were taken as research objects to explore the effect of modified starch on the cooking resistance of rice dumplings. Four kinds of cassava modified starch were added to glutinous rice flour. The influence of modified starch on the gelatinization properties and boiling resistance of rice dumpling were compared to determine the type and addition amounts of modified starch by measuring the viscosity of rice dumpling powder and the hardness of rice dumpling. The results showed that the phosphate ester starch could improve the boiling resistance of the rice dumpling, and the hydroxypropyl distarch phosphate (3.3% hydroxypropyl content, medium degree of crosslinking) had more significant effect, while the hydroxypropyl starch (3.0% hydroxypropyl content) had better anti-retrogradation effect. When the two modified starches were added in combination, the round cooking resistance of rice dumplings can be improved, and at the same time, the anti-rejuvenation effect could be achieved. In the best formula, the mass ratio of hydroxypropyl distarch phosphate (3.3% hydroxypropyl content, medium degree of crosslinking), hydroxypropyl starch (3.0% hydroxypropyl content), glutinous rice flour was 8:2:90. Under these conditions, the resistance of rice dumplings was obviously improved. This conclusion not only provided a certain theoretical reference for the production and processing of quick-frozen rice dumpling, but also provided a basis for the application of modified starch in quick-frozen foods.

Keywords: modified starch; quick-frozen rice dumpling; gelatinization characteristics; hardness; boiling resistance

(责任编辑:李 宁)