

糯米粉品种对湿法速冻汤圆品质的影响

黄忠民^{1,2}, 朱琬莹^{1,2}, 宋会玲⁴, 艾志录^{1,3}, 张波波^{1,2}, 范雯⁴, 潘治利^{1,2*}

¹ 河南农业大学食品科学技术学院 郑州 450002

² 国家速冻米面制品加工技术研发专业中心 郑州 450002

³ 农业农村部大宗粮食加工重点实验室 郑州 450002

⁴ 郑州思念食品有限公司 郑州 450002

摘要 为探究不同品种糯米原料的粉质特性对采用湿法工艺制得的速冻汤圆品质的影响,选取 8 种原料糯米,测定其基本组分、糊化特性、热力学特性,以及制得的湿法速冻汤圆的各项品质指标,采用主成分及相关性分析,研究糯米粉特性和湿法速冻汤圆品质的关系。结果表明,第一主成分反映糯米粉的糊化特性和汤圆的质构特性及水分分布,对糯米粉的评价与选择方面起重要作用。糊化温度和硬度呈显著正相关,糊化温度、最终黏度和回复性呈显著正相关。糯米粉中脂肪含量高于 0.8%,溶胀指数在 10.53~12.65 g/g 之间,水溶性指数在 16.33%~19.77%之间,糊化温度在 71.00~72.97 ℃之间,峰值黏度在 1 892.00~2 124.33 cp 之间,崩解值在 834.00~880.67 cp 之间,回生值在 240.33~248.67 cp 之间的糯米品种更适合制作湿法汤圆。结论:8 个糯米品种中,越糯碎 1 号制作的湿法速冻汤圆,具有更理想的口感,品质更加稳定。该结论可为湿法速冻汤圆生产中糯米的选择提供一定理论参考。

关键词 糯米粉; 粉质特性; 湿法速冻汤圆; 汤圆品质

文章编号 1009-7848(2024)07-0308-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.07.031

汤圆是中国的传统美食之一,作为庆祝元宵节的食品,已有 2 000 多年的历史,在日常生活中也广受消费者喜爱。糯米粉为汤圆的主要原料,其品质特性直接影响汤圆的口感和营养价值^[1]。目前,工业化生产的速冻汤圆主要采用糯米粉加水调粉,包馅、成型、速冻而成。糯米经清洗、浸泡、磨浆、压榨脱水、烘干工艺,制成糯米粉^[2]。在制作过程中,糯米需要浸泡 4~5 h 以上^[3],其间容易产生有害微生物,影响产品的最终质量^[4]。在压榨脱水环节,糯米中的蛋白质、可溶性维生素等营养成分及风味物质损失,进而影响汤圆的品质^[5-7]。为提升汤圆品质,肖乃勇^[1]对糯米进行发芽处理,提高了糯米粉中营养物质种类和含量。李真等^[8]确定加水量和变性淀粉的最佳配比,优化速冻汤圆工艺参数。张印等^[9]优化了低蛋白糯米粉和普通糯米粉的比例,改善了汤圆的品质。

本研究对速冻汤圆的工业化制作方法进行革新,采用“湿法”制作汤圆的新型工艺,将糯米经清

洗、浸泡、磨浆制成糯米粉浆,替代调粉用水,直接加入糯米粉中制作成汤圆粉团,再进行包馅、速冻。改进后的工艺大大减少了糯米粉的用量,从而减少了糯米粉制作过程中烘干、脱水造成的废水排放及营养流失,可更大限度地保留糯米的营养成分和风味物质,而且更加环保。

糯米原料粉质特性对汤圆品质至关重要,而不同品种糯米原料粉质特性对“湿法”速冻汤圆品质的影响未见相关报道。本研究选取 8 个品种的糯米,测定其基本成分、糊化特性以及热特性,对比不同品种糯米原料所制湿法汤圆的品质差异,筛选出适合制作“湿法”汤圆的糯米品种,对速冻汤圆的品质提升和可持续发展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料及试剂

8 个糯米品种:梗糯 99-25、皖垦糯 1116、太湖糯、越糯碎 1 号、泰国碎糯、东北糯、梗糯 2 号、缅甸糯,河南郑州思念食品有限公司。每个品种取 100 g,研磨过 100 目筛后,备用。糯米粉,河南郑州思念食品有限公司;预糊化淀粉,郑州昌秀贸易有限公司。

收稿日期: 2023-07-21

基金项目: 郑州市重大科技创新专项(2020CXZC0084)

第一作者: 黄忠民,男,本科,教授

通信作者: 潘治利 E-mail: ZL_pan@126.com

主要试剂:石油醚,天津市永大化学试剂有限公司;98%浓硫酸,烟台市双双化工有限公司。

1.2 仪器与设备

FOSS KJELTEC 2300 全自动凯氏定氮仪,丹麦福斯公司;TA.XA PLUS 质构仪,英国 Stable Micro Systems 公司;CR-400 色彩色差仪,日本美能达公司;RVA4500 快速黏度测试仪,瑞典波通仪器公司;X-DSC7000 差示扫描量热仪,德国耐驰公司;MicroMR 核磁共振分析仪,苏州纽迈分析仪器股份有限公司;DHG-9143BS-III 电热恒温鼓风干燥箱,上海新苗医疗器械制造有限公司;肖邦 CD.1 实验磨粉机,法国雷诺公司;HYP-314 华烨消化炉,上海纤检仪器有限公司;MDF-U5412 医用低温箱,三洋电机株式会社;美的破壁机,广东。

1.3 糯米组分测定

水分含量的测定采用恒重法^[10],糯米粉在 105 ℃下烘干,直至达到恒重。蛋白质含量用凯氏定氮法测定总氮含量,再用换算系数 5.95 计算蛋白质含量^[11]。脂肪含量用索氏抽提法测定,灰分含量用干法灰化法测定^[12]。粗淀粉含量的测定根据食品中淀粉的测定(GB/T 5009.9-2008)方法。直链淀粉含量用索莱宝直链淀粉含量检测试剂盒测定,支链淀粉含量用索莱宝支链淀粉含量检测试剂盒测定。

1.4 水合特性测定

糯米粉样品的吸水指数、水溶性指数和溶胀指数根据 Heo 等^[13]的方法测定,并稍作修改。将 0.1 g 糯米粉分散于 20 mL 去离子水中,并分别在 25 ℃和 100 ℃下搅拌 30 min。将分散体以 5 000 r/min 离心 30 min 后,将上清液在 105 ℃的热空气烘箱中干燥直至恒重。吸水指数、水溶性指数和溶胀指数通过以下公式计算。

$$\text{吸水指数}(\%) = \frac{\text{湿沉积物质量}}{\text{干样质量}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{水溶性指数}(\%) = \frac{\text{上清液烘干后质量}}{\text{干样质量}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{溶胀指数}(\%) = \frac{\text{湿沉积物质量}}{[(1 - \text{水溶性指数})] \times \text{干样质量}} \times 100 \quad (3)$$

1.5 糊化特性

参照 Cham 等^[14]的方法并稍作修改,采用 RVA 快速分析仪测定糯米粉的糊化性能。称量糯

米粉(3.0 g,水分基为 14%)和去离子水(25.0 g),加入铝罐中,按照 14%的校准水分计算水量。升温程序如下:以 9 ℃/min 的速率从 50 ℃升温至 95 ℃,保温 3 min,再以 15 ℃/min 的速率冷却至 50 ℃,保温 2 min,测量时搅拌机转速 160 r/min。

1.6 热特性

通过差示扫描量热仪测量热性能,参照 Wang 等^[15]的方法并稍作修改。称取 5 mg 糯米粉,加入去离子水,达到总质量为 15.0 mg,置于坩埚中密封。样品在 4 ℃下平衡 24 h,测试前回温 1 h。测量参数:升温速率 10 ℃/min,温度范围 20~100 ℃。

1.7 湿法速冻汤圆制作工艺

工艺流程:糯米经过清洗、浸泡、磨浆,在糯米浆中加入糯米粉,制作成汤圆粉团,包馅成型、速冻,制成速冻汤圆。

工艺要点:1)浸泡 3 h,打浆 4 min 后,糯米浆过 60 目筛网。2)制作比例是 200 g 糯米浆,加 90 g 糯米粉,加预糊化淀粉 3.5 g,揉成汤圆粉团。3)称取 15 g 粉团,搓圆后装盘,放于-30 ℃低温箱中冷冻 30 min,汤圆的中心温度迅速降至-18 ℃,用于后续研究。

1.8 汤汁透光率的测定

取速冻后的汤圆进行煮制,加入 1 000 mL 蒸馏水煮沸。5 个汤圆作为一组,煮制后的汤汁在室温下静置 20 min,转移至 1 000 mL 容量瓶中,蒸馏水定容,在波长 620 nm 处测定透光度^[16]。

1.9 白度

使用 CR-400 色彩色差仪测量各品种汤圆的 CIE L^* (亮度)、 a^* (红色,绿色)和 b^* (蓝色,黄色)^[17],并计算白度^[18]:

$$\text{白度} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{0.5} \quad (4)$$

1.10 核磁共振

采用 CPMG 序列对汤圆粉团的水分状态及迁移变化进行测定^[19]。取 2 g 汤圆粉团,在 25 ℃下解冻 1 h。参数设置如下:光谱仪频率(SF)=21 MHz,回波时间(TE)=0.13 ms,回波计数(NECH)=8 000,扫描次数(NS)=64。

1.11 质构特性

按照 Wang 等^[20]的方法,并稍作修改。使用 TA.XT Plus 纹理分析仪和 P50 探头,在 TPA 模式下确定汤圆的质构特性。参数:测前 2.0 mm/s,测中

表 1 汤圆的感官评价标准

Table 1 Evaluation standard of rice dumplings			
指标	定义	感官评价	分值
风味	香味	具有糯米粉特有的香味,正常	16~20
		糯米粉特有的气味,不明显	10~15
		有异味	0~9
外观	颜色、色泽和表面	煮熟的汤圆呈明亮的白色,无裂纹	15~20
		煮熟的汤圆呈白色或微黄色,稍裂纹	10~15
		煮熟的汤圆呈黄色或灰色,裂纹	0~9
黏性	咀嚼时粘在牙齿上的程度	清爽,不粘牙	15~20
		基本不粘牙	10~15
		粘牙,或无黏性	0~9
弹性	咀嚼后的恢复程度	汤圆有嚼劲	15~20
		汤圆稍有嚼劲	10~15
		汤圆无嚼劲	0~9
柔软性	咀嚼时受到的阻力	软硬适中	15~20
		感觉略硬或略软	10~15
		感觉很硬或很软	0~9

1.0 mm/s,测后 1.0 mm/s,5.0 g 触发力,压缩应变50%。

1.12 感官评价

感官评价基于 Breternitz 等^[21]和 Wang 等^[22]方法,并稍作修改。感官评价由 5 个要素组成,包括风味(20 分)、外观(20 分)、黏性(20 分)、弹性(20 分)和柔软性(20 分)。

1.13 数据分析

所有试验重复 3 次,使用 SPSS 21.0 软件进行 ANOVA 分析($P < 0.05$ 具有显著性差异)、主成分分析,结果采用“平均值±标准差”表示。相关性分析使用 TBtools 绘图。

2 结果与分析

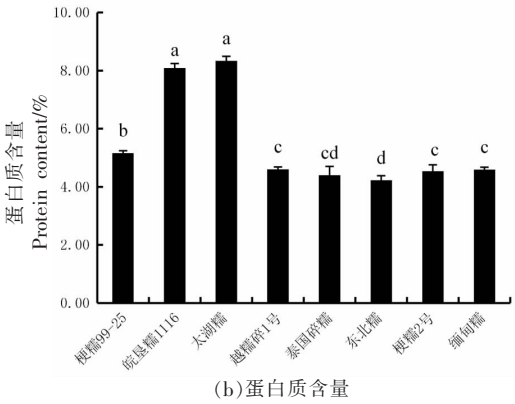
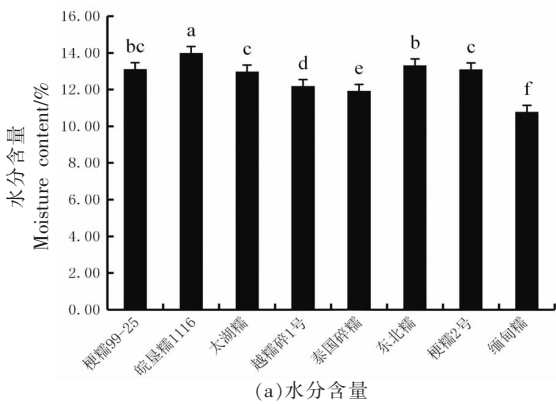
2.1 糯米粉组分

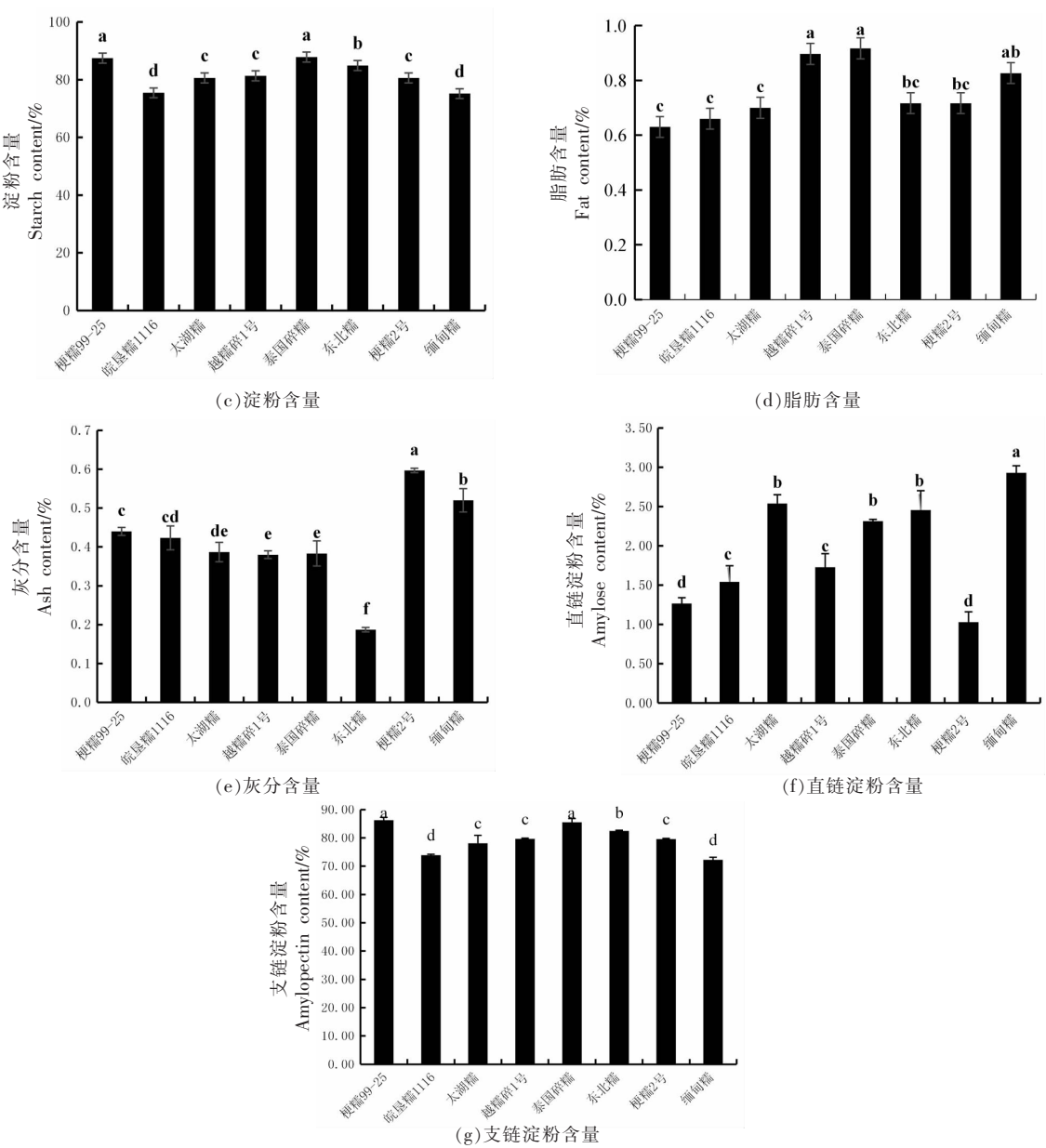
从图 1 可以看出,不同品种的糯米粉的基本

成分差异较大,8 种糯米粉的水分含量有显著性差异,范围在 10.79%~14.00%;8 种糯米粉的蛋白质含量均超过 4.00%,皖垦糯 1116 和太湖糯的蛋白质含量显著高于其它品种,且这 2 个品种没有差异。8 种糯米粉的淀粉含量范围为 75.17%~87.87%,含量最高的泰国碎糯与最低的缅甸糯相差了 12.60%。梗糯 2 号的灰分含量最高,东北糯的灰分含量最低,为 0.19%。越糯碎 1 号和泰国碎糯的脂肪含量最高,在 0.8%以上。梗糯 2 号的直链淀粉含量最低,为 1.03%;缅甸糯的直链淀粉含量最高,为 2.93%。8 种糯米粉的支链淀粉含量范围在 72.25%~86.22%。

2.2 糯米粉的水合特性

水合特性是糯米粉的重要质量属性,与淀粉颗粒的完整性和结晶度有关。溶胀指数反映了淀

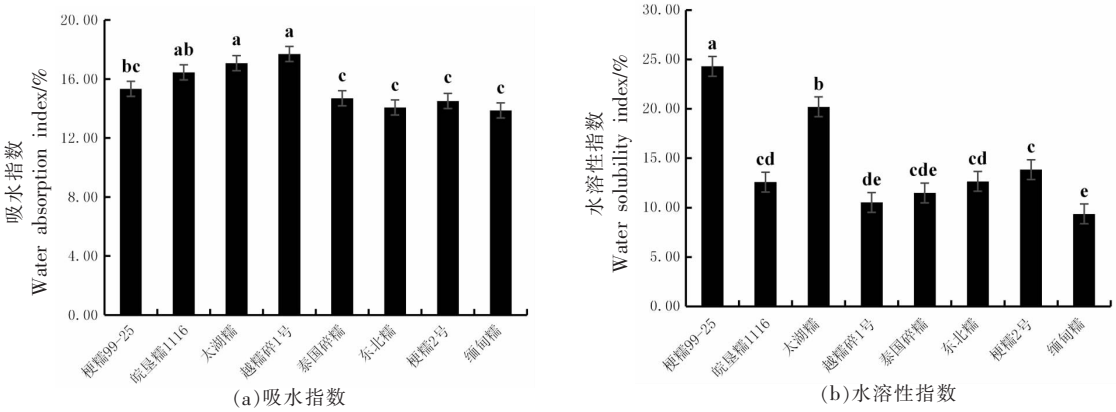




注:不同字母表示差异性显著, $P < 0.05$, 图 2、3、4 同。

图 1 不同品种糯米粉的基本组分

Fig.1 Basic components of glutinous rice flour with different samples



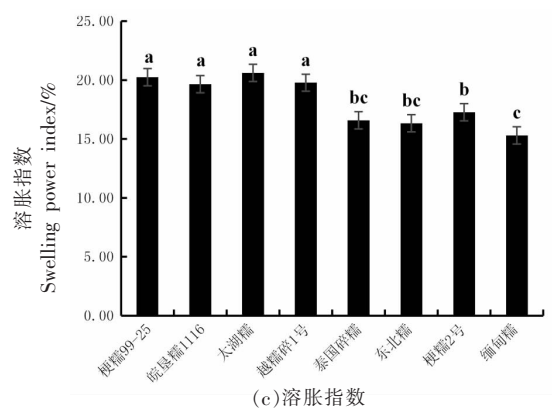


图2 不同品种糯米粉的水合特性

Fig.2 Hydration characteristics of glutinous rice flour with different samples

粉在糊化过程中的吸水性能，水溶性指数反映了淀粉糊化后,可溶于水的部分占全部干重的比值。如图2所示,皖垦糯1116、太湖糯和越糯碎1号的吸水指数最高。梗糯99-25的水溶性指数最高,缅甸糯的水溶性指数最低。梗糯99-25、皖垦糯1116、太湖糯、越糯碎1号的溶胀指数最高。

2.3 糯米粉的糊化特性

糯米粉的糊化特性对糯米粉的加工特性和最终产品的品质特性有重要影响，反映了淀粉颗粒在蒸煮或加工过程中的行为。从表2可以看出,8种糯米粉的糊化指标具有较大差异，与糯米粉中的淀粉含量和直/支链淀粉比例等因素有关。8种糯米粉的糊化温度范围为68.03~74.85℃,峰值黏度范围在1303.00~2502.00cp之间，崩解值在634~1154.67cp之间,回生值在127.67~458.67cp之间。其中,缅甸糯的糊化温度最高,表明其内部淀粉颗粒具有较高的抗膨胀和破裂能力^[23],梗糯

99-25和皖垦糯1116的糊化温度较低，易糊化。泰国碎糯的峰值黏度最高,样品黏滞性较强。梗糯99-25和梗糯2号具有较低的峰值黏度，可以满足消费者对汤圆可口性的需求^[24]。泰国碎糯的崩解值大,在加热过程中,抗剪切能力较差,热糊稳定性差,易发生破裂,导致淀粉颗粒分解,更易吸水糊化,该品种在制品加工时需注意控制水量。回生值反映了糊化淀粉冷却后重新聚合的能力,梗糯99-25和皖垦糯1116的回生值小,老化程度低。较低的崩解值反映了较好的热糊化稳定性及抗剪切能力^[25]。缅甸糯的崩解值最小,则淀粉溶胀后不易发生破裂,热糊化稳定性好。然而制成的汤圆更易老化,老化后氢键聚集在一起,凝胶强度增加。越糯碎1号、泰国碎糯、东北糯和缅甸糯的最终黏度和峰值黏度最高，表明它们比其它糯米粉具有更好的持水性和网络结构，有助于形成良好的汤圆结构^[26]。

表2 不同品种糯米的糊化特性

Table 2 Pasting properties of glutinous rice flour with different samples

品种	糊化温度/℃	峰值黏度/cp	最低黏度/cp	崩解值/cp	最终黏度/cp	回生值/cp
梗糯99-25	68.05±0.43 ^e	1303.00±4.36 ^g	456.00±2.65 ^h	847.00±4.00 ^d	583.67±5.51 ^h	127.67±3.06 ^e
皖垦糯1116	68.03±0.49 ^e	1445.33±14.01 ^f	545.67±1.53 ^g	899.67±13.43 ^b	687.67±3.21 ^g	142.00±1.73 ^e
太湖糯	69.95±0.48 ^d	1571.00±7.21 ^e	752.00±5.20 ^e	819.00±7.81 ^e	925.33±5.69 ^e	173.33±4.16 ^d
越糯碎1号	72.97±0.46 ^b	1892.00±39.04 ^d	1011.33±34.56 ^d	880.67±5.86 ^c	1260.00±40.00 ^d	248.67±5.86 ^c
泰国碎糯	72.58±0.08 ^b	2502.00±11.27 ^a	1347.33±15.50 ^b	1154.67±5.03 ^a	1709.67±5.51 ^b	362.33±20.21 ^b
东北糯	71.00±0.05 ^c	2124.33±14.98 ^c	1290.33±13.61 ^c	834.00±7.94 ^d	1530.67±4.04 ^c	240.33±10.12 ^c
梗糯2号	70.23±0.06 ^d	1311.67±19.30 ^g	648.67±6.81 ^f	663.00±12.49 ^f	811.33±7.23 ^f	162.67±2.08 ^d
缅甸糯	74.85±0.39 ^a	2238.00±20.78 ^b	1604.00±19.67 ^a	634.00±7.94 ^g	2062.67±15.70 ^a	458.67±4.93 ^a

注:同列不同字母表示差异性显著,P<0.05。

2.4 糯米粉的热特性

由表 3 可知,8 种糯米粉的糊化焓变为 2.19~3.09 J/g,起始糊化温度范围 58.63~64.8 ℃,峰值糊化温度范围 67.40~72.50 ℃,最终糊化温度范围 75.13~79.13 ℃。糊化焓最大的是缅甸糯,最小的是梗糯 2 号。在淀粉颗粒的结晶区内,淀粉分子在氢键作用下形成具有一定强度的微晶束,糊化焓是

破坏微晶束所需的能量^[27],说明在淀粉糊化过程中,缅甸糯保持淀粉颗粒结构完整的能力较强。越糯碎 1 号和缅甸糯的起始糊化温度较高,不易糊化。主要原因是淀粉结晶结构致密度高,导致糊化温度较高^[28],具有较高的热稳定性,与糊化特性的结果相符。

表 3 不同品种糯米的热特性

Table 3 Thermal properties of glutinous rice flour with different samples

品种	糊化焓/(J/g)	起始糊化温度/℃	峰值糊化温度/℃	最终糊化温度/℃
梗糯 99-25	3.00 ± 0.17 ^a	58.63 ± 0.32 ^e	67.73 ± 0.38 ^d	75.13 ± 3.16 ^b
皖垦糯 1116	2.61 ± 0.17 ^b	58.63 ± 0.45 ^e	67.40 ± 0.56 ^d	75.53 ± 1.16 ^b
太湖糯	2.43 ± 0.27 ^{bc}	61.43 ± 0.42 ^d	69.83 ± 0.51 ^e	77.50 ± 0.46 ^{ab}
越糯碎 1 号	2.23 ± 0.31 ^{bc}	64.10 ± 0.10 ^{ab}	72.50 ± 0.70 ^a	79.13 ± 0.97 ^a
泰国碎糯	2.48 ± 0.14 ^{bc}	62.53 ± 0.50 ^e	71.37 ± 0.21 ^b	77.73 ± 0.84 ^{ab}
东北糯	2.45 ± 0.04 ^{bc}	61.37 ± 0.40 ^d	69.27 ± 0.31 ^e	76.37 ± 1.87 ^{ab}
梗糯 2 号	2.19 ± 0.26 ^c	63.10 ± 1.22 ^{bc}	69.50 ± 0.46 ^c	77.27 ± 1.31 ^{ab}
缅甸糯	3.09 ± 0.14 ^a	64.80 ± 0.87 ^a	71.00 ± 0.26 ^b	77.17 ± 0.76 ^{ab}

注:同列不同字母表示差异性显著, $P<0.05$ 。

2.5 速冻汤圆的水分分布

利用 CPMG 序列进一步验证和探讨了汤圆中水的流动性和分布情况,在汤圆中观察到 3 种水,分别是强结合水、弱结合水和自由水。峰面积代表水分含量的多少,直接反映了粉团的持水性。强结合水与蛋白质等大分子紧密结合,弱结合水指结合于糖类、淀粉等大分子之间的水,自由水在冷冻过程中会形成冰晶,对汤圆粉团的品质造成影响^[29-30]。冰晶的大小,对最终产品的质量至关重

要^[31]。从表 4 可以看出,泰国碎糯汤圆的自由水含量较高,产生冰晶较大,粉团松散,容易出现开裂等现象。缅甸糯汤圆深层结合水含量最高,持水能力强。主要原因是当强结合水含量较高时,汤圆具有较低的水分流动性,冻结速度更快,产生的冰晶细小且均匀,不易出现开裂等现象^[32]。太湖糯、越糯碎 1 号和东北糯 3 个品种制作的湿法汤圆,在冷冻过程中形成的冰晶更小,品质更加稳定。

表 4 不同品种糯米制作成的汤圆的水分分布面积

Table 4 Water distribution area of rice dumplings made from different varieties of glutinous rice

品种	强结合水含量/%	弱结合水含量/%	自由水含量/%
梗糯 99-25	8.49 ± 0.14 ^e	91.16 ± 0.07 ^b	0.27 ± 0.06 ^c
皖垦糯 1116	8.83 ± 0.07 ^{de}	90.93 ± 0.14 ^b	0.13 ± 0.04 ^d
太湖糯	8.90 ± 0.07 ^{de}	91.03 ± 0.06 ^b	0.07 ± 0.01 ^e
越糯碎 1 号	9.14 ± 0.01 ^{cd}	90.74 ± 0.09 ^b	0.07 ± 0.01 ^e
泰国碎糯	9.64 ± 0.22 ^{bc}	89.89 ± 0.22 ^c	0.56 ± 0.04 ^a
东北糯	9.85 ± 0.23 ^b	89.96 ± 0.31 ^c	0.12 ± 0.01 ^{de}
梗糯 2 号	7.63 ± 0.20 ^f	92.03 ± 0.13 ^a	0.23 ± 0.04 ^c
缅甸糯	13.10 ± 0.76 ^a	86.58 ± 0.71 ^d	0.39 ± 0.03 ^b

注:同列不同字母表示差异性显著, $P<0.05$ 。

2.6 湿法速冻汤圆的质构特性

从表 5 可以看出, 梗糯 2 号品种的汤圆黏附性最大, 主要由于粉团内部黏性较小, 结构松散, 容易附着在探头上, 表现为黏附性数值较大, 导致在加工时, 容易黏附在器壁上造成一定的损耗, 煮熟后, 汤圆也难以与牙齿分开^[33]。

缅甸糯汤圆的硬度和咀嚼性最大, 黏附性较小。粉团内部黏性较大, 结构紧密, 不容易附着在

探头上。梗糯 99-25 汤圆的硬度最小, 咀嚼性最小。越糯碎 1 号汤圆较为柔软且黏附性小, 不仅加工性能好, 而且有利于消费者吞咽和感官质量。

品质较好的汤圆需要有合适的口感, 而不是过黏或不黏, 过硬或过软的口感。因此, 由越糯碎 1 号、皖垦糯 1116、东北糯、泰国碎糯制成的具有中等质地特性的汤圆具有更理想的口感, 利于消费者食用。

表 5 不同品种糯米制作成的汤圆的质构特性

Table 5 Texture characteristics of rice dumplings made from different varieties of glutinous rice

品种	硬度/N	黏附性/(N/S)	弹性	凝聚性	胶黏性	咀嚼性/N	回复性
梗糯 99-25	139.46 ± 3.08 ^f	-169.74 ± 25.73 ^{ab}	0.77 ± 0.04 ^a	0.64 ± 0.03 ^c	89.05 ± 5.95 ^f	68.80 ± 7.42 ^f	0.28 ± 0.01 ^g
皖垦糯 1116	180.11 ± 7.74 ^{de}	-182.64 ± 16.86 ^{ab}	0.77 ± 0.02 ^a	0.65 ± 0.01 ^{bc}	117.20 ± 6.17 ^{de}	89.84 ± 2.24 ^{de}	0.29 ± 0.01 ^{df}
太湖糯	192.27 ± 5.23 ^{cd}	-161.60 ± 43.20 ^{ab}	0.78 ± 0.02 ^a	0.66 ± 0.02 ^{abc}	127.56 ± 5.72 ^{cd}	99.19 ± 4.66 ^{cd}	0.31 ± 0.01 ^{cd}
越糯碎 1 号	171.70 ± 4.14 ^c	-127.47 ± 43.22 ^a	0.77 ± 0.03 ^a	0.64 ± 0.02 ^{bc}	110.19 ± 4.36 ^c	85.17 ± 6.78 ^c	0.30 ± 0.01 ^{de}
泰国碎糯	197.14 ± 13.49 ^c	-171.58 ± 31.20 ^{ab}	0.78 ± 0.01 ^a	0.67 ± 0.01 ^{abc}	131.44 ± 7.19 ^c	102.58 ± 6.43 ^c	0.32 ± 0.01 ^c
东北糯	219.42 ± 9.99 ^b	-179.46 ± 3.83 ^{ab}	0.80 ± 0.02 ^a	0.69 ± 0.01 ^a	150.96 ± 7.56 ^b	120.71 ± 7.77 ^b	0.34 ± 0.01 ^b
梗糯 2 号	187.26 ± 2.98 ^{cd}	-211.40 ± 48.12 ^b	0.76 ± 0.05 ^a	0.67 ± 0.02 ^b	125.46 ± 1.65 ^{cd}	95.09 ± 6.65 ^{cde}	0.29 ± 0.01 ^f
缅甸糯	269.05 ± 10.69 ^a	-136.56 ± 44.34 ^a	0.80 ± 0.02 ^a	0.67 ± 0.01 ^{abc}	178.58 ± 8.95 ^a	143.68 ± 9.31 ^a	0.36 ± 0.01 ^a

注: 同列不同字母表示差异性显著, $P < 0.05$ 。

2.7 速冻汤圆的白度及感官评价

从风味、外观、黏性、弹性和柔软性评价 8 个品种汤圆, 如图 3a 所示。梗糯 2 号的分值明显低于其它 7 种, 与水分分布和质地特征的结果一致。越糯碎 1 号、缅甸糯、泰国碎糯、皖垦糯 1116 制成的汤圆最受欢迎, 在口中具有柔软且不黏的特点。说明在一定的范围内, 脂肪含量越高, 汤圆更具光

泽, 品质也更好。

经过色泽拟合, 8 种汤圆的颜色如图 3b 所示。与梗糯 99-25 的颜色对比显示, 越糯碎 1 号制作的汤圆颜色更亮。表明对比其它品种, 该品种在视觉上更能吸引消费者的注意, 与图 3a 中越糯碎 1 号的感官评价结果相对应。

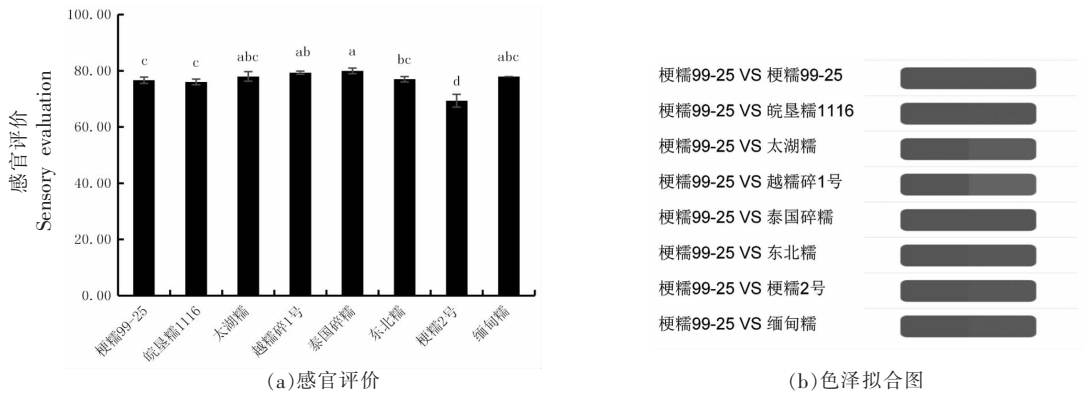


图 3 不同品种糯米制作成的汤圆的感官评价(a)和色泽拟合图(b)

Fig.3 Sensory evaluation (a) and color fit map (b) of rice dumplings made from different varieties of glutinous rice

2.8 速冻汤圆汤汁的透光率

汤汁的透光率是指汤圆在蒸煮过程中，糯米粉在水中溶解程度的大小，可反映汤圆的蒸煮品质。透光率越大，汤汁越清澈，汤圆品质越好。因汤圆在冷冻过程中，出现脱粉、形状塌陷现象，汤圆蒸煮后汤汁会变浑浊，透光率降低。如图 4 所示，越糯碎 1 号的透光率最高，表明该品种制作的汤圆在蒸煮过程中不易破损。梗糯 99-25 和太湖糯的透光率最低，这一现象可能与汤圆在冷冻过程中失水导致脱粉，以及蒸煮过程中的结构较不稳定有关。

2.9 主成分分析和相关性分析

不同品种的糯米制得的湿法速冻汤圆品质差异较大，找出对品质影响较大的因子非常重要^[33]。主成分分析将原始变量转变为主成分，消除了原始变量之间可能存在的共线性，用较少的指标反映较多的信息，使得评价结果具有客观性和可确定性。

对 8 种糯米加工成的湿法汤圆的各项品质指标进行主成分分析，如表 6 所示，第 1~7 主成分的初始特征值均大于 1，分别为 13.67, 6.475, 3.578, 2.939, 2.095, 1.244, 1.109，累计方差贡献率为 91.499%。

如表 7 所示，经过主成分分析，第一主成分的贡献率为 40.207%，主要由最终黏度、最低黏度、回生值、糊化温度、回复性、硬度、咀嚼性、胶黏性、峰值黏度、强结合水含量、弱结合水含量、水分构成，反映了糯米粉的糊化特性和汤圆的质构特性及水分分布。第二主成分的贡献率为 19.045%，主要由 a^* 、白度、 L 构成，与汤圆的亮度有关。第三主成分的贡献率为 10.523%，主要由自由水构成。第四主成分的贡献率为 8.643%，主要由淀粉构成。第五主成分的贡献率为 6.162%，主要由灰分构成。第六主成分的贡献率为 3.658%，主要由水溶性指数构成。第七主成分的贡献率为 3.262%，主要由弹性构成。综合以上分析，糯米粉的糊化特性和汤圆的质构特性及水分分布，是评价糯米粉和汤圆品质的主要指标。

从图 5 可知，糯米的部分基本成分和汤圆的品质指标相关性不显著($P>0.05$)。然而，糯米的脂肪含量与糊化特性和热特性呈显著性正相关，与

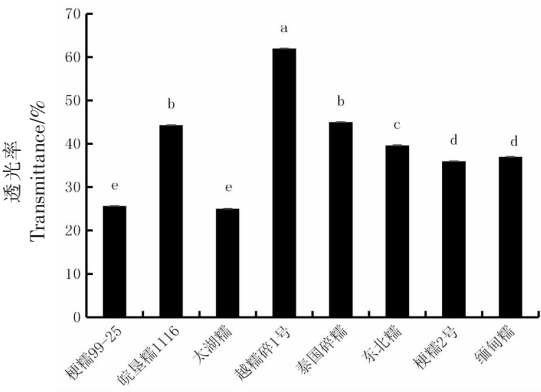


图 4 不同品种糯米制作成的汤圆的汤汁透光率
Fig.4 Transmittance of different varieties of rice dumplings made from different varieties of glutinous rice

表 6 主成分总方差贡献率
Table 6 Total variance explained of principal component analysis

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	13.67	40.207	40.207
2	6.475	19.045	59.252
3	3.578	10.523	69.775
4	2.939	8.643	78.418
5	2.095	6.162	84.58
6	1.244	3.658	88.237
7	1.109	3.262	91.499

峰值糊化温度呈极显著正相关。因此，在实际生产中选择脂肪含量相对较高的糯米品种，得到的速冻汤圆品质较好。直链淀粉含量与汤圆的硬度、咀嚼性、胶黏性和回复性呈显著正相关，与强结合水含量呈正相关。这是因为直链淀粉具有近似纤维的性能，可以维持粉团的组织结构，对汤圆最终品质的影响较大。

糊化温度和硬度呈显著正相关；糊化温度、峰值黏度、最终黏度和回复性呈显著正相关，其中最终黏度和回复性呈极显著正相关，相关系数小于 0.01。回生值、最低黏度、最终黏度和咀嚼性、胶黏性、硬度呈显著正相关。这表明糯米粉的糊化特性对汤圆的品质特性有显著影响，糊化温度越高，汤圆的硬度越大。而硬度太大时，咀嚼所做的功较

表 7 主成分载荷矩阵

Table 7 Component matrix of principal component analysis

指标	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
最终黏度	0.976	0.022	-0.111	-0.132	-0.001	0.012	-0.101
最低黏度	0.971	0.019	-0.108	-0.148	0.054	0.04	-0.096
回生值	0.945	0.033	-0.116	-0.066	-0.197	-0.089	-0.115
糊化温度	0.938	0.223	0.142	-0.003	-0.141	0.047	0.013
回复性	0.886	-0.158	-0.234	0.149	0.221	0.132	-0.006
硬度	0.874	-0.315	-0.066	0.302	0.119	-0.031	-0.062
咀嚼性	0.868	-0.353	-0.104	0.246	0.188	0.04	0.044
胶黏性	0.86	-0.357	-0.044	0.266	0.195	0.014	-0.076
峰值黏度	0.857	0.145	-0.195	-0.393	0.13	-0.067	-0.122
强结合水含量	0.838	-0.08	-0.41	0.241	-0.161	-0.068	-0.017
弱结合水含量	-0.82	0.443	0.051	-0.166	-0.272	0.021	-0.069
水分含量	-0.812	-0.187	0.031	-0.05	0.451	-0.1	0.104
溶胀指数	-0.77	0.497	-0.129	0.249	0.096	0.051	0.029
起始糊化温度	0.77	0.225	0.481	0.111	-0.17	0.14	-0.116
水溶性指数	-0.73	-0.058	-0.34	0.037	-0.185	0.512	-0.089
峰值糊化温度	0.678	0.579	0.318	-0.133	-0.138	0.087	-0.045
脂肪含量	0.665	0.469	0.216	-0.305	-0.113	-0.16	0.064
a^*	0.15	0.881	0.141	0.139	-0.046	0.193	-0.058
白度	0.138	0.785	0.292	0.375	0.187	0.224	-0.069
L	0.151	0.768	0.319	0.377	0.188	0.227	-0.067
吸水指数	-0.404	0.716	-0.005	0.313	0.236	-0.149	-0.034
感官评价	0.347	0.663	-0.59	-0.136	0.057	-0.055	-0.109
b^*	0.354	-0.656	0.601	-0.066	-0.001	0.016	0.103
透光率	0.328	0.565	0.348	-0.227	0.177	-0.482	0.098
最终糊化温度	0.373	0.481	0.347	0.003	-0.022	0.082	0.217
自由水含量	-0.221	-0.548	0.729	-0.217	-0.065	-0.027	0.053
糊化焓	0.123	-0.203	-0.64	0.175	-0.533	-0.074	-0.248
淀粉含量	-0.19	0.087	-0.111	-0.839	-0.077	0.442	0.01
崩解值	-0.107	0.366	-0.272	-0.732	0.229	-0.296	-0.095
蛋白质含量	-0.503	0.085	-0.321	0.527	0.304	-0.249	-0.024
灰分含量	-0.085	-0.238	0.403	0.372	-0.666	-0.217	0.028
凝聚性	0.36	-0.477	0.195	-0.026	0.585	0.219	-0.135
弹性	0.476	-0.158	-0.381	-0.03	0.121	0.157	0.694
黏附性	0.35	0.467	-0.306	0.11	-0.262	-0.002	0.58

多,影响汤圆品质。

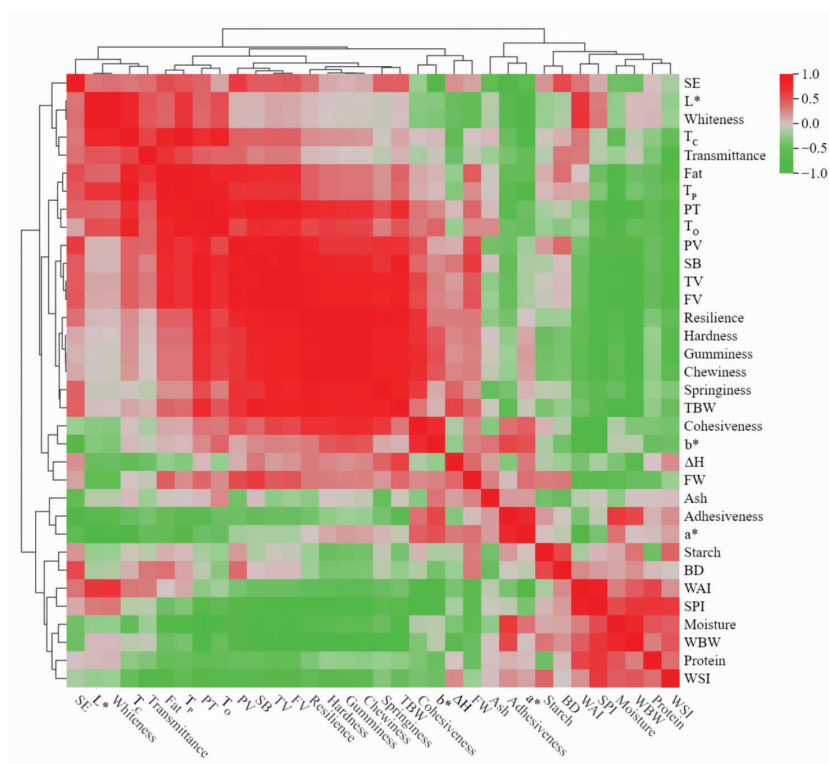
溶胀指数和回复性、咀嚼性、 b^* 、硬度、凝聚性、胶黏性呈显著负相关。糯米粉的溶胀指数对汤圆的质构特性影响较大,溶胀指数越大,汤圆的各项质构指标值越低。水溶性指数和澄清率呈显著负相关,水溶性指数越大,溶出的物质越多,汤汁的澄清率越低,汤液越浑浊,品质越差。

最终黏度、糊化温度、回生值和强结合水的含量呈显著正相关,水分含量和强结合水的含量呈

显著负相关。

3 结论

对 8 种糯米的基础成分、水合特性和糊化特性以及热特性进行研究,并且采用单因素分析、主成分分析、相关性分析对品质指标进行统计分析。单因素实验结果表明,不同品种的糯米粉各项指标差异较大,说明样品代表性较好。主成分分析表明,糯米粉的糊化特性和汤圆的质构特性及水分



注:水分含量(Moisture);蛋白质含量(Protein);淀粉含量(Starch);灰分含量(Ash);脂肪含量(Fat);吸水指数(WAI);水溶性指数(WSI);溶胀指数(SPI);糊化温度(PT);峰值黏度(PV);最终黏度(FV);最低黏度(TV);回生值(SB);崩解值(BD);糊化焓(ΔH);起始糊化温度(T_o);峰值糊化温度(T_p);最终糊化温度(T_c);强结合水含量(TBW);弱结合水含量(WBW);自由水含量(FW);硬度(Hardness);咀嚼性(Chewiness);胶黏性(Gumminess);凝聚性(Cohesiveness);弹性(Springiness);黏附性(Adhesiveness);回复性(Resilience);感官评价(SE);亮度(L);从红色至绿色的范围(a^*);从蓝色至黄色的范围(b^*);白度(Whiteness);透光率(Transmittance)。

图5 不同品种的糯米及汤圆指标的相关性分析

Fig.5 Correlation analysis of the indexes of different varieties of glutinous rice and rice dumplings

分布对糯米及汤圆的品质影响较大。相关性分析表明,糊化温度和硬度呈正相关,最终黏度和回复性呈极显著正相关。回生值、最低黏度、最终黏度和咀嚼性、胶黏性、硬度呈正相关。综合多因素与汤圆品质相关性分析结果,应选择脂肪含量高于0.8%,溶胀指数在10.53~12.65g/g之间,水溶性指数在16.33%~19.77%之间,糊化温度在71.00~72.97℃之间,峰值黏度在1892.00~2124.33cp之间,崩解值在834.00~880.67cp之间,回生值在240.33~248.67cp之间的糯米粉品种。本文8个品种中,由越糯碎1号制作的湿法汤圆,在冷冻过程中形成的冰晶更小,品质更加稳定。本研究结果通过测定糯米的结构和理化特性,可为预估制作的湿法速冻汤圆的品质提供参考。

参 考 文 献

- [1] 肖乃勇. 发芽对糙糯米淀粉特性的影响规律及其在汤圆制品中的应用[D]. 郑州: 郑州轻工业大学, 2020.
XIAO N Y. Effects of germination on characteristics of starch isolated from waxy brown rice and its application in glutinous dumplings[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University of Light Industry, 2020.
- [2] ZHANG H, WU F F, XU D, et al. Effects of milling methods on the properties of glutinous rice flour and sweet dumplings[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58(5): 1848-1857.
- [3] LI Y, DING G Q, WALLACE Y, et al. Characteristics of annealed glutinous rice flour and its formation of fast-frozen dumplings[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 79: 106-112.

- [4] TONG L T, GAO X X, LIN L Z, et al. Effects of semidry flour milling on the quality attributes of rice flour and rice noodles in China[J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 62: 45–49.
- [5] XU B G, ESSODÉZAM S T, YAN W Q, et al. Recent development in high-quality drying of fruits and vegetables assisted by ultrasound: A review[J]. *Food Research International*, 2022, 152: 110744.
- [6] CHEN J J. Effect of milling methods on the physicochemical properties of waxy rice flour[J]. *Cereal Chem*, 1995, 76: 796–799.
- [7] JULIANO B, HICKS P. Rice functional properties and rice food products[J]. *Food Rev Int*, 1996, 12: 71–103.
- [8] 李真, 安阳, 艾志录, 等. 基于响应面法优化工艺参数改善速冻汤圆品质[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(8): 163–168.
- LI Z, AN Y, AI Z L, et al. Optimization of quick-frozen Tang-yuan processing by response surface methodology[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(8): 163–168.
- [9] 张印, 王凯, 连惠章, 等. 低蛋白糯米粉对速冻汤圆品质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(9): 3329–3333.
- ZHANG Y, WANG K, LIAN H Z, et al. Effects of low-protein glutinous rice flour on the quality of quick-frozen Tang-yuan[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2017, 8(9): 3329–3333.
- [10] LI L L, ZHANG M, BHANDARI B. Influence of drying methods on some physicochemical, functional, and pasting properties of Chinese yam flour[J]. *LWT*, 2019, 111: 182–189.
- [11] 马丹. 凯氏定氮法测定食品中蛋白质含量[J]. *计量与测试技术*, 2008(6): 57–58.
- MA D. Kjeldahl determination of protein content[J]. *Metrology & Measurement Technique*, 2008(6): 57–58.
- [12] 乔明武, 高向阳, 高适竹, 等. 小麦中粗灰分的快速测定方法研究[J]. *河南农业大学学报*, 2015, 49(4): 494–499.
- QIAO M W, GAO X Y, GAO X Z, et al. Study on rapid determination method of crude ash content in wheat flour[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2015, 49(4): 494–499.
- [13] HEO S, LEE S M, SHIM J H, et al. Effect of dry- and wet-milled rice flours on the quality attributes of gluten-free dough and noodles[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 116(1): 213–217.
- [14] CHAM S, SUWANNAPORN P. Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodles quality[J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 51(3): 284–291.
- [15] WANG L, YIN Z H, WU J, et al. A study on freeze-thaw characteristics and microstructure of Chinese water chestnut starch gels[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 88(2): 186–192.
- [16] 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.
- HUANG Z M, CHEN J, SONG H L, et al. Correlation between the characteristics of glutinous rice flour and quality of quick-frozen glutinous soup ball[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(4): 93–99.
- [17] LIN Z X, HUANG J R, KOJI K, et al. Effects of particle size of glutinous rice flour on the quality attributes of sweet dumplings[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2022(3): 46.
- [18] PATRICIA M, FIORELA P, LUIS B P, et al. Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region[J]. *Food Chemistry*: X, 2019, 2(C): 100030.
- [19] GHANBARZADEH B, ALMASI H, ENTEZAMI A A. Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2010, 11(4): 697–702.
- [20] WANG H W, XIAO N Y, WANG X T, 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.
- [21] BRETERNITZ N R, BOLINI H M A, HUBINGER M D. Sensory acceptance evaluation of a new food flavoring produced by microencapsulation of a mussel (*Perna perna*) protein hydrolysate[J]. *LWT – Food Science and Technology*, 2017, 83: 141–149.
- [22] WANG Y, LIU S J, YANG X J, et al. Effect of germination on nutritional properties and quality attributes of glutinous rice flour and dumplings[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2022,

- 108; 10440.
- [23] HAN J A, LIM S T, et al. Effect of presoaking on textural, thermal, and digestive properties of cooked brown rice[J]. *Cereal Chemistry*, 2009, 86(1): 100–105.
- [24] BASHIR K, SWER T L, PRAKASH K S, et al. Physico-chemical and functional properties of gamma irradiated whole wheat flour and starch[J]. *LWT – Food Science and Technology*, 2017, 76: 131–139.
- [25] LIAN X J, WANG C J, ZHANG K S, et al. The retrogradation properties of glutinous rice and buckwheat starches as observed with FT-IR, ¹³C NMR and DSC [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, 64: 288–293.
- [26] KIM M, OH I, JEONG S, et al. Particle size effect of rice flour in a rice–zein noodle system for gluten-free noodles slit from sheeted doughs[J]. *Journal of Cereal Science*, 2019, 86: 48–53.
- [27] HUBER K C, BEMILLER J N. Channels of maize and sorghum starch granules[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2000, 41(3): 269–276.
- [28] ASSIFAOU A, CHAMPION D, CHIOTELLI E, et al. Characterization of water mobility in biscuit dough using a low-field ¹H NMR technique[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2005, 64(2): 197–204.
- [29] ESSELINK E, AALST H V, MALIEPAARD M, et al. Impact of industrial dough processing on structure: A rheology, nuclear magnetic resonance, and electron microscopy study [J]. *Cereal Chemistry*, 2003, 80(4): 419–423.
- [30] KONO S, KON M, ARAKI T, et al. Effects of relationships among freezing rate, ice crystal size and color on surface color of frozen salmon fillet [J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 214: 158–165.
- [31] WANG H W, ZHANG J, WANG R, et al. Improving quality attributes of sweet dumplings by germination: Effect of glutinous rice flour microstructure and physicochemical properties[J]. *Food Bioscience*, 2021, 44(Pt.B): 101445.
- [32] MAU J L, LEE C C, CHEN Y P, et al. Physico-chemical, antioxidant and sensory characteristics of chiffon cake prepared with black rice as replacement for wheat flour[J]. *LWT – Food Science and Technology*, 2017, 75(1): 434–439.
- [33] CAMILA H T, BARBOSA R G, MAURISRAEL M R, et al. Comparison of grain protein profiles of Brazilian cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars based on principal component analysis[J]. *Food Production, Processing, and Nutrition*, 2022, 4(1): 16.

Effect of Varieties of Glutinous Rice Flour on the Quality of Wet Quick-frozen Rice Dumplings

Huang Zhongmin^{1,2}, Zhu Wanying^{1,2}, Song Huiling⁴, Ai Zhilu^{1,3}, Zhang Bobo^{1,2}, Fan Wen⁴, Pan Zhili^{1,2*}

⁽¹⁾College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002

⁽²⁾National R&D Center for Frozen Rice & Wheat Products Processing Technology, Zhengzhou 450002

⁽³⁾Key Laboratory of Staple Grain Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhengzhou 450002

⁽⁴⁾Si Nian Food Co., Zhengzhou 450002)

Abstract The characteristics of raw material glutinous rice are very important for the frozen rice dumpling's quality. To investigate the influence of the powder characteristics of different varieties of glutinous rice on the quality of frozen rice dumplings produced by a new wet process. In this paper, eight kinds of glutinous rice were selected and their basic components, pasting characteristics and thermodynamic properties were determined, and the quality indexes of the wet quick-frozen rice dumplings were also determined. The relationship between the characteristics of glutinous rice flour and the quality of wet quick-frozen rice dumplings was systematically studied using principal component and correlation analysis. The results showed that for the principal component analysis, the first principal component, which reflects the pasting characteristics of glutinous rice flour and the textural characteristics and moisture distribution of rice dumplings, plays an important role in the evaluation and selection of glutinous rice flour; for the correlation analysis, the pasting temperature and hardness were significantly and positively correlated, and the paste temperature, peak viscosity, final viscosity, and reversibility were significantly and positively correlated; glutinous rice flour containing more than 0.8% fat, the swelling power index is between 10.53 g/g and 12.65 g/g, the water solubility index is between 16.33% and 19.77%, and

the pasting temperature is between 71.00 °C and 72.97 °C. Glutinous rice varieties with peak viscosity between 1 892 cp and 2 124.33 cp, a breakdown value between 834.00 cp and 880.67 cp, and a setback value between 240.33 cp and 248.67 cp are more suitable for making wet dumplings. On the whole, among the eight varieties, the wet quick-frozen rice dumplings made from Vietnamese glutinous rice and the Northeast glutinous rice were more stable in quality and had a more desirable taste. The findings of the study can provide some theoretical reference for the selection of glutinous rice flour in the production of the new process of wet quick-frozen rice dumplings.

Keywords glutinous rice flour; powder characteristics; wet quick-frozen rice dumplings; rice dumpling quality