

李真, 梁静静, 安阳, 等. 不同品种糯米的粉质特性分析及其冰点温度的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(15): 34–41. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090247

LI Zhen, LIANG Jingjing, AN Yang, et al. Characteristics Analysis of Different Glutinous Rice Flour and Its Influence on Freezing Point Temperature[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(15): 34–41. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090247

· 研究与探讨 ·

不同品种糯米的粉质特性分析及其冰点温度的影响

李 真^{1,2}, 梁静静¹, 安 阳¹, 黄忠民^{1,2}, 艾志录^{1,2,*}

(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 河南郑州 450002;

2. 农业农村部大宗粮食加工重点实验室, 河南郑州 450002)

摘 要: 为明确不同糯米的粉质特性对冰点温度的影响, 以实际应用中具有代表性的 25 种糯米粉为试验材料, 测定其理化特性, 通过相关性分析和主成分分析, 探讨糯米粉原料特性对冰点温度的影响。结果表明, 25 种糯米粉粉团的冰点温度分布在 $-1.35 \sim -2.65$ °C 之间; 脂肪含量与冰点温度成显著负相关 ($P < 0.05$), 而蛋白质、淀粉、灰分与冰点温度之间不存在明显的依存关系; 糯米粉热特性、吸水率、溶解度、胶稠度和平均粒径与冰点温度均呈极显著负相关 ($P < 0.01$)。主成分分析结果显示, 影响糯米粉冰点温度的关键特性为糯米粉的平均粒径、热特性(峰值温度、起始温度、终止温度)、最终粘度、粗脂肪含量和溶解度。研究结果可为冰点冷冻汤圆工业化生产时合理选择糯米粉提供理论依据, 实验范围内, 优糯 6211、黑糯米纯粉、预糊化糯米粉较为适合制作冰点冷冻汤圆。

关键词: 糯米粉, 组分, 理化指标, 冰点

中图分类号: TS211.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)15-0034-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090247

本文网刊:



Characteristics Analysis of Different Glutinous Rice Flour and Its Influence on Freezing Point Temperature

LI Zhen^{1,2}, LIANG Jingjing¹, AN Yang¹, HUANG Zhongmin^{1,2}, AI Zhilu^{1,2,*}

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Key Laboratory of Staple Grain Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to the main influence factors of glutinous rice farinographical properties on freezing point temperature, 25 representative glutinous rice flours in practical applications were used as test materials, and the physical and chemical properties of the glutinous rice flours were measured. Through correlation analysis and principal component analysis, the influence of the raw material characteristics of glutinous rice flour on the freezing point temperature was discussed. The results showed that the freezing point temperature of the 25 kinds of glutinous rice flour was between $-1.35 \sim -2.65$ °C. The fat content had a significant negative correlation with the freezing point temperature ($P < 0.05$), while there was no obvious dependence between protein, starch, ash and freezing point temperature. The thermal properties, water absorption, solubility, gel consistency and average particle size of glutinous rice flour were all significantly negatively correlated with the freezing point temperature ($P < 0.01$). Principal component analysis results showed that the key factors affecting the freezing point temperature of glutinous rice flour were mainly the average particle size of glutinous rice flour, the thermal characteristics of glutinous rice flour (peak temperature, starting temperature, ending temperature), final viscosity, crude fat content and solubility. The research results could provide a theoretical basis for the rational selection of raw materials for the industrial production of glutinous rice flour with freezing point frozen glutinous rice balls. Within the scope of the

收稿日期: 2021-09-23

基金项目: 河南省科技攻关项目 (192102110100); 十四五国家重点研发计划项目 (2021YFD2100204); 郑州市重大科技专项 (2020CXZX0084)。

作者简介: 李真 (1983-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 谷物加工及面粉制品品质控制研究, E-mail: zhuhelizhen@163.com。

* 通信作者: 艾志录 (1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏工程、速冻食品、主食工业化等, E-mail: zhilafood@sina.com。

experiment, Younuo 6211, pure black glutinous rice flour, and pre-gelatinized glutinous rice flour are more suitable for making freezing point frozen tangyuan.

Key words: glutinous rice flour; composition; physical and chemical index; freezing point

目前,城市化步伐的加快和人们消费习惯的改变,增加了消费者对方便食品的需求。汤圆是人们喜爱的传统糯米制品^[1],虽已被消费者广泛接受,但速冻汤圆加工过程中仍存在诸多问题,例如:汤圆速冻后易出现塌陷、扁平、偏馅、漏馅、形状不规则、色泽灰暗、无光泽等,经过一段时间的冻藏后,还易出现不同程度的龟裂甚至开裂现象^[2-4]。更需要注意的是,速冻食品冻结温度低、冻结时间长、贮藏温度较低,导致速冻食品生产和贮藏总体能耗较高。因此,有必要寻求一种既能保持速冻汤圆的优良品质又能节能降耗的新工艺来加工汤圆等面米制品。本团队前期研究结果表明(未发表),与速冻汤圆相比,冰点冷冻汤圆的整体品质与其差异不大,且由于冰点冷冻和冻结比传统汤圆冻结和贮藏温度均高很多,所以与传统速冻汤圆相比,冰点温度冻结的加工与贮藏过程中能耗降低,符合我国节能减排的政策措施要求,具有开发成为短保且节能减排的新型冻结食品的巨大潜力。

糯米粉是制作汤圆的主要原料之一。目前对于糯米粉的研究主要集中在糯米粉改良添加剂的研制^[5-6]、复合糯米粉的调制等方面^[7-8],以及不同品种糯米粉特性与速冻汤圆品质之间的关系等^[9],而目前对于糯米粉冰点温度及其与理化指标相关性的研究还未见报道。

因此,本文从不同糯米粉原料特性出发,以 25 种糯米粉为试验材料,对它们的基本成分、理化指标、热特性、冰点温度等进行测定,并与冰点温度进行相关性分析和主成分分析,确定影响糯米粉冰点温度的关键指标,为后期冰点温度冻结和贮藏技术在汤圆中的应用及实际生产中冰点温度冻结汤圆原料的选择提供理论依据,也为传统冷冻食品寻找既能保持产品品质又可达到节能降耗效果的新技术奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

糯优 2 号、优糯 6211、绍糯 9714、血糯、嘉糯 1 优 6 号、皖垦糯、武育糯 16 号、苏御糯、丹旱稻 53、连糯 1 号、南粳 46 由河南农业大学农学院赵全志老师提供;东北粳糯、江西籼糯、安徽粳糯、信阳籼糯、浙江籼糯、2014 越南籼糯、吉林粳糯、湖南水磨籼糯米粉、泰国水磨糯米粉、河北粳糯水磨粉、半干法黑糯米纯粉、黑糯米纯粉、半干法辊磨粳糯米、预糊化糯米粉由河南黄国粮业股份有限公司提供;硼酸、硫酸、乙醚、硫代硫酸钠、氢氧化钠、硫酸钾均为化学纯,国药集团化学试剂有限公司;碘化钾化学纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;乙醇化学纯,天津市富宇精细化工有限公司;盐酸优

级纯,洛阳昊华化学试剂有限公司;硫酸铜化学纯,天津市凯通化学试剂有限公司。

SZF-06A 脂肪测定仪 乐清市精诚仪器仪表有限公司;KJELTEC 2300 全自动凯氏定氮仪 丹麦福斯公司;Y410020 破损淀粉测定仪 北京天翔飞域科技有限公司;RVA4500 快速黏度分析仪 瑞典波通仪器公司;DSC 214 Polyma 差示扫描量热仪 德国耐驰公司;Rise-2008 激光粒度分析仪 济南润之科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 水磨糯米粉的制备 将水稻脱壳后清水洗涤,浸泡 1 h,粉碎,胶体磨二次研磨制浆,4800 r/min 离心 10 min,弃去上清液,沉淀物 45 ℃ 干燥 24 h,研磨后过 100 目筛备用。

1.2.2 基本成分 糯米粉中水分、灰分、蛋白质、脂肪、淀粉等指标分别采用国标方法 GB 5009.3-2016、GB 5009.4-2016、GB 5009.5-2016、GB 5009.6-2016、GB 5009.9-2016 进行测定。

1.2.3 破损淀粉含量 使用损伤淀粉测定仪对糯米粉破损淀粉含量进行测定。在样品杯内加入 3.0 g 硼酸、3.0 g 碘化钾、120 g 蒸馏水,摇晃均匀,再加入 1 滴 0.1 mol/L 的硫代硫酸钠溶液,摇匀,将反应杯放进仪器卡槽内。称取 1 g 样品放入样品池中,开始测定,破损淀粉含量用碘吸收率(%)表示。

1.2.4 理化性质的测定

1.2.4.1 粒径 使用 Rise-2008 激光粒度分析仪对糯米粉粒径大小与分布进行检测。测验范围:0.01~3000 μm,使用仪器自带分析软件对数据进行分析。仪器会自动记录待测样品 D_{50} 、 D_{av} 等数据^[10]。

1.2.4.2 溶解度与吸水率 称取 1 g(干基)糯米粉样品于已知质量 P_1 的离心管中,加水定容至 50 mL,25 ℃ 水浴锅振荡 30 min,4800 r/min 离心 15 min,上清液倒入已恒重的铝盒内,105 ℃ 烘干至恒重,得到溶解的粉的质量 A 。称取此时离心管质量 P_2 ,根据公式确定糯米粉的溶解度和吸水率^[11]。

$$S = \frac{A}{W} \times 100$$

$$B = \frac{P_2 - P_1}{W(100 - S)} \times 100$$

式中: S 表示溶解度,%; B 表示吸水率,%; A 表示滤液烘干恒重后的质量,g; W 表示样品干基质量,g。

1.2.4.3 胶稠度 胶稠度按照 GB/T 22294-2008 进行测定。

1.2.4.4 膨胀能力 精确称量 0.25 g 糯米粉样品(干基)于烧杯内,倒入 25 mL 蒸馏水并不停搅拌,95 ℃

水浴锅中加热 30 min 后将淀粉溶液迅速倒入 25 mL 量筒中, 室温下放置 24 h, 读出糯米粉粒在量筒中沉降的体积^[12], 每克糯米粉的沉降颗粒所占的体积即为膨胀能力, 即:

$$E = \frac{V}{m}$$

式中: E 表示膨胀能力, mL/g; V 表示沉降颗粒所占的体积, mL; m 表示样品质量, g。

1.2.5 糊化特性 使用快速粘度分析仪进行糯米粉糊化特性测定^[13], 准确称取(2.50±0.01)g 糯米粉样品和(25.0±0.2)mL 蒸馏水于特制铝盒内, 充分搅拌后, 置于 RVA 样品槽内, 开始测试。测试程序如下: 初始搅拌速率 1000 r/min, 时间 5 s, 使溶液充分搅拌均匀, 起始温度 50 ℃, 以 12 ℃/min 由 50 ℃ 上升至 95 ℃, 并恒温 5 min, 以同样的速率由 95 ℃ 下降至 50 ℃, 全过程总计 13 min, 测试结束。

1.2.6 冰点温度 采用差示扫描量热仪法测定糯米粉冰点温度, 参考钟志友等^[14]的方法稍有改进。称取一定量的糯米粉于 10 mL 离心管中, 按照粉体: 水=1:3 的体积向离心管中加入蒸馏水, 使用涡旋振荡器振荡 15 s 使溶液混匀, 使用移液枪精确吸取 10 mg 糯米粉溶液于特制的铝制坩埚中, 用专用的压盖器将坩埚压盖紧, 置于差示扫描量热仪炉体内, 同

时放入空白坩埚作为对照, 温度程序设置: 以 5.0 ℃/min 速率降温至-30.0 ℃; 保持温度 5.0 min; 以 5.0 ℃/min 的速率升温至 25 ℃, 紧急复位温度为 30 ℃, 停止记录数据, 取升温曲线峰值相变起始温度(即将结晶刚刚开始熔化的温度)定为冰点温度。

1.2.7 热力学特性 样品制备与 1.2.6 相同。空白坩埚作为对照, 设置扫描温度为 25~135 ℃, 升温速率为 10 ℃/min, 根据 DSC 特性曲线分析峰的特征, 进行热焓值(ΔH)测定^[15-16]。

1.3 数据分析

每组试验均重复 3 次, 结果用 $\bar{X} \pm SD$ 表示。采用 SPSS 23 软件进行主成分分析($P < 0.05$ 代表显著性差异, $P < 0.01$ 代表极显著差异)。

2 结果与分析

2.1 不同糯米粉基本成分分析

如表 1 所示, 整体来看, 经过机器脱壳研磨过的糯米粉灰分含量集中在 0.16%~1.22%, 蛋白质含量分布在 5.38%~9.15% 之间, 淀粉含量主要在 83.31%~91.65% 之间, 脂肪含量为 0.59%~3.18%。蛋白质含量最高可达 9.15%(皖垦糯、丹早稻 53); 脂肪含量相对较低, 大部分集中在 1% 左右, 除血糯、半干法黑糯米纯粉、黑糯米纯粉以外其余糯米粉品种脂肪含量均不超过 2%, 灰分含量所占比例最低, 基本不超

表 1 不同糯米粉基本成分分析

Table 1 Analysis of the basic components of different glutinous rice flour

样品	水分(%)	灰分(%)	淀粉(%)	破损淀粉(%)	蛋白质(%)	脂肪(%)
糯优2号	11.2±0.11 ^h	0.23±0.01 ^m	86.49±0.37 ⁱ	3.52±0.01 ^u	5.89±0.08 ^o	0.71±0.01 ^{lm}
优糯6211	9.70±0.15 ⁱ	0.16±0.00 ^o	90.40±0.11 ^{cd}	4.24±0.03 ^p	5.62±0.06 ^p	0.61±0.03 ⁿ
绍糯9714	10.50±0.14 ^j	0.21±0.01 ⁿ	86.30±0.45 ⁱ	3.82±0.05 ^t	8.44±0.04 ^c	1.22±0.01 ^g
血糯	10.10±0.13 ^k	0.23±0.01 ^m	90.85±0.11 ^{bc}	5.22±0.01 ^m	6.54±0.06 ^{lm}	2.65±0.05 ^b
嘉糯1优6号	10.30±0.15 ^{jk}	0.33±0.01 ⁱ	91.13±0.13 ^{ab}	5.62±0.01 ^j	8.23±0.05 ^d	1.05±0.04 ^h
皖垦糯	8.60±0.20 ^a	0.23±0.00 ^m	88.29±0.11 ^g	5.76±0.04 ^g	9.15±0.06 ^a	0.84±0.01 ^k
武育糯16号	11.50±0.42 ^{efg}	0.17±0.01 ^o	85.15±0.17 ^{jk}	6.20±0.01 ^c	8.73±0.06 ^b	0.76±0.02 ^l
苏御糯	11.30±0.10 ^{gh}	0.53±0.01 ^e	83.46±0.41 ^m	6.06±0.03 ^e	7.48±0.04 ^g	0.68±0.01 ^m
丹早稻53	10.30±0.21 ^{jk}	0.17±0.01 ^o	91.49±0.31 ^a	4.91±0.04 ⁿ	9.15±0.08 ^a	0.73±0.06 ^{lm}
连糯1号	9.50±0.09 ^j	0.26±0.01 ^l	86.59±0.21 ⁱ	3.84±0.08 ^t	7.24±0.06 ^{hi}	0.60±0.01 ⁿ
南梗46	9.20±0.08 ^m	0.38±0.01 ^g	90.12±0.37 ^{de}	5.36±0.04 ^l	5.38±0.06 ^q	0.82±0.05 ^k
东北梗糯	11.60±0.01 ^{ef}	0.43±0.01 ^f	91.65±0.20 ^a	4.94±0.01 ⁿ	6.20±0.03 ⁿ	0.84±0.01 ^k
江西籼糯	11.20±0.02 ^h	0.23±0.01 ^m	88.88±0.19 ^f	5.74±0.02 ^{gh}	6.44±0.03 ^m	0.98±0.02 ⁱ
安徽梗糯	10.50±0.01 ^j	0.31±0.01 ^j	86.62±0.66 ⁱ	5.65±0.03 ^{ij}	6.57±0.08 ^l	1.76±0.03 ^d
信阳籼糯	10.90±0.01 ⁱ	0.56±0.01 ^d	87.40±0.17 ^b	6.10±0.03 ^{de}	6.74±0.11 ^k	0.84±0.02 ^k
浙江籼糯	11.40±0.01 ^{gh}	0.36±0.00 ^h	83.31±0.31 ⁿ	5.85±0.05 ^f	7.74±0.02 ^e	0.59±0.04 ⁿ
2014越南籼糯	12.40±0.02 ^b	0.26±0.01 ^l	84.77±0.31 ^{kl}	4.53±0.02 ^o	7.61±0.04 ^f	0.76±0.01 ^l
吉林梗糯	12.10±0.03 ^c	0.28±0.01 ^k	91.49±0.13 ^a	5.46±0.01 ^k	7.01±0.10 ^j	1.27±0.08 ^g
湖南水磨籼糯米粉	11.90±0.01 ^{cd}	0.29±0.01 ^k	88.40±0.07 ^{fg}	6.34±0.01 ^b	7.17±0.06 ⁱ	0.74±0.03 ^{lm}
泰国水磨糯米粉	12.60±0.01 ^b	0.28±0.01 ^k	85.47±0.10 ^j	6.51±0.02 ^a	7.32±0.09 ^h	1.54±0.06 ^e
河北梗糯米磨粉	12.90±0.02 ^a	0.58±0.01 ^c	91.24±0.60 ^{ab}	6.13±0.03 ^d	5.99±0.13 ^o	1.33±0.01 ^f
半干法黑糯米纯粉	11.70±0.03 ^{de}	1.14±0.01 ^b	89.54±0.54 ^e	4.04±0.01 ^r	8.67±0.06 ^b	2.07±0.03 ^c
黑糯米纯粉	10.30±0.05 ^{jk}	1.22±0.02 ^a	89.76±0.11 ^e	4.10±0.01 ^q	8.22±0.04 ^d	3.18±0.05 ^a
半干法辊磨梗糯米	11.60±0.08 ^{ef}	0.34±0.01 ⁱ	89.94±0.38 ^{de}	5.69±0.04 ^{hi}	8.27±0.05 ^d	0.92±0.01 ^j
预糊化糯米粉	7.80±0.08 ^o	0.22±0.01 ^{mm}	84.56±0.28 ^{lm}	3.92±0.01 ^s	5.65±0.10 ^p	1.72±0.02 ^d

注: 表中基本成分(除水分)的数据均为干基; 同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 表2~表4同。

过 1%。由表 1 可知,25 种糯米粉的破损淀粉含量分布在 3.52%~6.51% 区间。糯优 2 号、绍糯 9714、连糯 1 号、预糊化糯米粉这 4 种糯米粉的破损淀粉含量较低,均不到 4%,由这几种粉揉制而成的粉团加工特性会更好。而武育糯 16 号、苏御糯、信阳籼糯、湖南水磨籼糯米粉、泰国水磨糯米粉、河北梗糯水磨粉的破损淀粉含量较高,超出 6%。Lin 等^[17]通过分析破损淀粉对糯米粉性能和汤圆品质的影响发现,随着破损淀粉含量的增高,糯米粉制得的汤圆切面结构变得松散,水分流动性增强。因此,在糯米粉加工过程中,应当对糯米加工方法、研磨强度、温度、含水量等工艺参数进行优选,保护淀粉颗粒的完整性,降低破损淀粉含量,最终获得品质优质的糯米粉。

2.2 不同糯米粉理化性质分析

$(D_{90}-D_{10})/D_{50}$ 代表了糯米粉粒径的分布宽窄度,数值越小,说明糯米粉的颗粒体积较集中。由表 2 可知,湖南水磨籼糯米粉、2014 越南籼糯、半干法辊磨梗糯米的粒径分布较窄,颗粒体积大小较集中,安徽梗糯、东北梗糯、苏御糯的颗粒体积大小分布相对较散。本试验范围内选用的糯米粉平均粒径数值主要分为两大类,一类糯米粉的平均粒径较小,主要集中在 6.59~23.53 μm 之间,另一类糯米粉平均粒径较大,主要分布在 38.61~88.05 μm 之间。血糯的平均粒径最小为 6.59 μm ,而预糊化糯米粉平均粒径最大

为 88.05 μm ,制备工艺不同导致了不同品种糯米粉的平均粒径不同。

由表 2 可知,糯米粉的胶稠度分布较分散,河北梗糯水磨粉胶稠度达到 170.00 mm,优糯 6211 的胶稠度达 162.20 mm,而南梗 46、苏御糯、半干法辊磨梗糯米的胶稠度较低,仅有 72.90、85.00、89.40 mm;不同品种糯米粉的膨胀能力数值相差较大,糯优 2 号、优糯 6211、丹早稻 53 的膨胀度分别为 4.30、3.90、4.90 $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$,而血糯、皖垦糯、武育糯 16 号、连糯 1 号、安徽梗糯的膨胀度较大,均达到 30.00 $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$ 以上。不同糯米粉溶解度差异较大,预糊化糯米粉、黑糯米纯粉达到 2% 以上,而武育糯 16 号、连糯 1 号溶解度在 0.25% 左右。吸水率方面只有预糊化糯米粉较大,达到 6% 以上,其余品种糯米粉吸水率较集中在 2% 左右。主要可能是和预糊化糯米粉水分含量最低有关(仅 7.80%),宋莹莹^[18]通过相关性分析表明,糯米粉的吸水率与初始水分含量呈负相关。

2.3 糊化特性

由表 3 可知,泰国水磨糯米粉具有最大的峰值粘度为 4019 $\text{mP}\cdot\text{s}$,而丹早稻 53 与黑糯米纯粉峰值粘度最低分别为 576.5 与 573 $\text{mP}\cdot\text{s}$,可能与泰国水磨糯米粉具有较大膨胀程度(其膨胀能力为 28.40 $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$),而丹早稻 53 与黑糯米纯粉膨胀度较小有关,它们的膨胀能力分别为 4.90 和 9.70 $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$,但此两种糯米

表 2 糯米粉的理化性质
Table 2 The physicochemical properties of glutinous rice flour

样品	$(D_{90}-D_{10})/D_{50}$	$D_{av}(\mu\text{m})$	吸水率(%)	溶解度(%)	胶稠度(mm)	膨胀能力($\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$)
糯优2号	1.58±0.01 ^c	6.87±0.57 ^q	2.24±0.01 ^{efghij}	0.77±0.03 ⁱ	142.20±0.48 ⁱ	4.30±0.21 ⁱ
优糯6211	1.46±0.01 ^f	7.47±0.04 ^p	2.15±0.03 ^{ghijk}	1.25±0.02 ^e	162.20±0.27 ^e	3.90±0.19 ⁱ
绍糯9714	1.57±0.02 ^c	8.56±0.02 ^{mm}	2.15±0.01 ^{ghijk}	1.15±0.01 ^f	109.00±0.11 ^p	7.70±0.17 ^f
血糯	1.69±0.03 ^b	6.59±0.06 ^q	2.26±0.02 ^{efghi}	0.51±0.04 ^m	129.40±0.61 ⁱ	35.70±0.21 ^a
嘉糯1优6号	1.43±0.01 ^f	8.26±0.03 ⁿ	2.21±0.02 ^{efhij}	0.68±0.01 ^j	155.50±0.33 ^e	17.30±0.46 ^m
皖垦糯	1.43±0.01 ^f	7.77±0.01 ^{op}	2.08±0.01 ^{ijkl}	0.55±0.00 ^{kl}	116.40±0.20 ⁿ	32.70±0.29 ^d
武育糯16号	1.57±0.05 ^c	7.92±0.11 ^o	2.14±0.02 ^{hijk}	0.27±0.02 ^p	155.40±0.52 ^e	34.00±0.18 ^c
苏御糯	1.66±0.11 ^b	9.60±0.12 ^l	1.95±0.01 ^l	0.38±0.01 ^{no}	85.00±0.49 ^f	12.30±0.50 ^o
丹早稻53	1.45±0.02 ^f	8.86±0.03 ^m	2.09±0.01 ^{ijkl}	0.41±0.00 ⁿ	115.10±0.60 ^o	4.90±0.05 ^s
连糯1号	1.52±0.03 ^{de}	7.79±0.07 ^{op}	2.22±0.02 ^{efghij}	0.25±0.02 ^p	146.00±0.45 ^s	35.20±0.30 ^b
南梗46	1.50±0.00 ^e	8.26±0.03 ⁿ	2.00±0.01 ^{kl}	0.41±0.01 ⁿ	72.90±0.50 ^s	11.70±0.20 ^p
东北梗糯	1.70±0.01 ^b	6.62±0.02 ^q	2.34±0.01 ^{def}	0.87±0.02 ^h	108.60±0.38 ^p	9.90±0.18 ^q
江西籼糯	1.28±0.01 ^g	7.54±0.01 ^p	2.07±0.01 ^{ijkl}	0.52±0.04 ^{lm}	119.30±0.11 ^m	19.90±0.06 ^j
安徽梗糯	1.82±0.02 ^a	10.53±0.19 ^k	2.15±0.02 ^{ghijk}	0.56±0.01 ^k	132.70±0.16 ^k	35.50±0.04 ^{ab}
信阳籼糯	1.55±0.05 ^{cd}	8.44±0.27 ⁿ	2.27±0.00 ^{efgh}	0.85±0.02 ^h	143.80±0.06 ^h	20.40±0.22 ⁱ
浙江籼糯	1.29±0.06 ^g	60.47±0.14 ^c	2.44±0.01 ^d	1.07±0.01 ^g	155.60±0.29 ^e	25.10±0.47 ^g
2014越南籼糯	0.80±0.01 ^k	45.79±0.06 ^f	2.35±0.00 ^{def}	1.65±0.00 ^c	154.90±0.24 ^e	27.70±0.04 ^f
吉林梗糯	1.12±0.02 ^h	55.46±0.42 ^e	2.16±0.01 ^{ghijk}	0.37±0.02 ^o	142.80±0.26 ⁱ	13.90±0.02 ⁿ
湖南水磨籼糯米粉	0.86±0.00 ^j	39.13±0.02 ^g	2.22±0.04 ^{efghij}	0.40±0.01 ⁿ	162.10±0.30 ^e	19.10±0.17 ^k
泰国水磨糯米粉	0.92±0.02 ⁱ	38.61±0.04 ^h	2.38±0.01 ^{de}	0.67±0.01 ^j	151.40±0.45 ^f	28.40±0.31 ^e
河北梗糯水磨粉	1.15±0.01 ^h	57.67±0.22 ^d	2.32±0.01 ^{defg}	0.53±0.04 ^{klm}	170.00±0.78 ^a	25.50±0.21 ^g
半干法黑糯米纯粉	1.12±0.00 ^b	21.61±0.03 ^j	3.01±0.04 ^b	1.67±0.03 ^c	134.30±0.16 ^j	7.80±0.11 ^f
黑糯米纯粉	1.42±0.02 ^f	23.53±0.20 ⁱ	2.43±0.03 ^d	2.17±0.01 ^b	160.00±0.62 ^d	9.70±0.15 ^q
半干法辊磨梗糯米	0.89±0.01 ^{ij}	78.11±0.28 ^b	2.60±0.01 ^c	1.53±0.01 ^d	89.40±0.45 ^q	18.30±0.45 ^l
预糊化糯米粉	1.30±0.01 ^g	88.05±0.22 ^a	6.86±0.43 ^a	2.26±0.02 ^a	165.20±0.45 ^b	21.50±0.11 ^h

表 3 糯米粉糊化特性分析

Table 3 The pasting characteristics of the glutinous rice flour

样品	峰值粘度(mP·s)	谷值粘度(mP·s)	衰减值(mP·s)	最终粘度(mP·s)	回生值(mP·s)	糊化温度(℃)
糯优2号	1242.00±2.80 ^h	572.00±1.40 ^p	670.00±1.40 ^{hijk}	741.00±5.70 ^o	169.00±4.20 ^k	80.40±0.60 ^b
优糯6211	1449.00±9.90 ^{gh}	768.00±0.00 ^m	681.00±9.90 ^{hijk}	952.00±4.20 ^l	184.00±4.20 ^j	83.23±0.10 ^b
绍糯9714	616.00±7.10 ⁱ	205.50±3.50 ^r	410.50±3.50 ^{jk}	297.00±4.20 ^q	91.50±0.70 ^m	71.88±0.00 ^{cde}
血糯	1657.50±6.40 ^{efg}	666.00±0.00 ^o	991.50±6.40 ^{efghi}	836.00±2.80 ⁿ	170.00±2.80 ^k	69.83±0.60 ^{def}
嘉糯1优6号	1255.00±18.40 ^h	570.50±14.80 ^p	684.50±3.50 ^{hijk}	756.50±19.10 ^o	186.00±4.20 ^j	80.40±0.60 ^b
皖垦糯	1887.00±1.40 ^{def}	965.00±7.10 ^{ij}	922.00±5.70 ^{fghi}	1270.50±4.90 ^h	305.50±2.10 ^d	72.68±0.00 ^{cde}
武育糯16号	2198.50±6.40 ^d	1016.50±0.70 ^{gh}	1182.00±7.10 ^{defg}	1250.50±3.50 ^h	234.00±4.20 ^{gh}	69.85±0.60 ^{def}
苏御糯	2143.00±25.50 ^d	1335.00±1.40 ^e	808.00±240 ^{ghij}	1798.50±3.50 ^e	463.50±2.10 ^b	72.60±0.00 ^{cde}
丹早稻53	576.50±4.90 ⁱ	263.50±0.70 ^q	313.00±5.70 ^k	366.50±2.10 ^p	103.00±1.40 ^l	73.10±0.60 ^{cd}
连糯1号	1844.00±19.80 ^{defg}	856.00±4.20 ^l	988.00±24.00 ^{efghi}	1092.00±4.20 ^k	236.00±0.00 ^{gh}	70.25±0.00 ^{def}
南梗46	1573.50±0.70 ^{fgh}	855.00±33.90 ^l	718.50±33.20 ^{hijk}	1243.00±32.50 ^h	388.00±1.40 ^c	73.50±1.30 ^{cd}
东北梗糯	2238.00±1.40 ^d	948.50±0.70 ^{jk}	1289.50±2.10 ^{def}	1133.50±7.80 ^j	185.00±7.10 ^j	68.25±0.50 ^{ef}
江西籼糯	1719.00±9.90 ^{efg}	1000.00±0.00 ^h	719.00±9.90 ^{hijk}	1256.00±9.90 ^h	256.00±9.90 ^f	73.55±0.00 ^{cd}
安徽梗糯	1713.00±5.70 ^{efg}	715.00±7.10 ⁿ	998.00±12.70 ^{efghi}	912.50±2.10 ^m	197.50±4.90 ⁱ	69.90±0.70 ^{def}
信阳籼糯	1693.50±26.20 ^{efg}	1108.00±15.60 ^f	585.50±10.60 ^{ijk}	1346.50±7.80 ^g	238.50±7.80 ^{gh}	81.18±0.50 ^b
浙江籼糯	3458.00±8.50 ^b	1651.00±4.20 ^c	1807.00±4.20 ^b	1880.50±3.50 ^d	229.50±0.70 ^h	69.45±0.10 ^{def}
2014越南籼糯	3233.00±0.00 ^b	1811.00±5.70 ^b	1422.00±5.70 ^{cd}	2083.50±7.80 ^c	272.50±2.10 ^e	70.63±0.50 ^{def}
吉林梗糯	1649.50±4.90 ^{efg}	922.00±7.10 ^k	727.50±12.00 ^{hijk}	1127.00±12.70 ^j	205.00±5.70 ⁱ	72.28±0.70 ^{cde}
湖南水磨糯米粉	2215.50±19.10 ^d	986.00±2.80 ^{hi}	1229.50±16.30 ^{def}	1242.50±4.90 ^h	256.50±7.80 ^f	71.85±1.10 ^{cde}
泰国水磨糯米粉	4019.00±28.30 ^a	2302.50±2.10 ^a	1716.50±26.20 ^{bc}	2606.50±9.20 ^a	304.00±7.10 ^d	70.18±0.00 ^{def}
河北梗糯水磨粉	2723.50±6.40 ^c	1369.00±0.00 ^d	1354.50±6.40 ^{cde}	1612.50±3.50 ^f	243.50±3.50 ^g	66.075±0.00 ^f
半干法黑糯米纯粉	1624.00±15.60 ^{efgh}	1037.00±56.60 ^e	587.00±41.00 ^{ijk}	2213.00±55.20 ^b	1176.00±1.40 ^a	91.70±0.60 ^a
黑糯米纯粉	573.00±7.10 ⁱ	175.00±2.80 ^s	398.00±4.20 ^{jk}	251.50±3.50 ^r	76.50±0.70 ⁿ	71.025±0.00 ^{de}
半干法辊磨梗糯米	2001.50±9.20 ^{de}	933.50±6.40 ^k	1068.00±2.80 ^{defgh}	1208.50±3.50 ^j	275.00±9.90 ^e	68.10±0.60 ^{ef}
预糊化糯米粉	3096.50±862.00 ^b	565.00±5.70 ^p	2531.50±867.60 ^a	848.00±7.10 ⁿ	283.00±1.40 ^e	75.75±9.20 ^e

粉衰减最小,分别为 313.00、398.00 mP·s,说明其在热膨胀的过程中可以承受较大压力,不易破裂,具有更高强度,热糊稳定性好^[19],而预糊化糯米粉稳定性最差。半干法黑糯米纯粉的回生值最大,达到了 1176.00 mP·s,其次是苏御糯回生值为 463.50 mP·s,说明两种粉稳定性最好,不易老化,而黑糯米纯粉回生值只有 76.5 mP·s,说明其最容易老化,稳定性差。

2.4 糯米粉冰点温度与热特性分析

由图 1、表 4 可知,不同品种糯米粉的冰点温度范围在-1.35~-2.65 ℃ 之间,由于糯米粉品种不同,淀粉颗粒大小、形成的空间网状结构不同,内部水分结晶的快慢亦不同,所以冰点温度有细微差别。预糊

化糯米粉的冰点温度最低(-2.65 ℃),其次是优糯 6211 和黑糯米纯粉的冰点温度,均在-2.55 ℃。不同品种糯米粉的糊化起始温度大多集中于 60.00~70.00 ℃ 之间,优糯 6211 和信阳籼糯起始糊化温度最高分别为 74.60 和 74.55 ℃。峰值温度则集中在 65.00~80.00 ℃ 之间,半干法辊磨梗糯米峰值温度最高为 81.25 ℃。糊化焓 ΔH 大部分集中在 1.00~3.00 J/g 之间,最低的泰国水磨糯米粉只有 0.78 J/g,糊化焓值最大的糯米粉为糯优 2 号,达到 3.35 J/g。糯米粉中含有大量淀粉,而淀粉类食品的烹饪加工基本都是在高温条件下进行,测定糯米粉热特性尤其是对峰值温度、焓值的测定,有助于为食品的品质提升提供依据^[20-21]。有研究^[22-23]指出淀粉颗粒结构、淀粉-淀粉间的结构会影响到起始温度、峰值温度及终点温度,而直链淀粉含量则会影响糊化焓变^[24]。

2.5 冰点温度与指标的相关性分析

由表 5 可知,脂肪含量与冰点温度呈显著负相关($r=-0.30, P<0.05$),即脂肪含量越高,冰点温度越低。这可能是由于脂肪中含有磷酸基团,可以与淀粉中的酯类物质相结合形成磷酸基复合物,而这些复合物可以促进淀粉颗粒吸水溶胀,使得细胞内水分较多,冻结结晶速度较慢,冰点也就越低^[25]。也可能是由于脂肪与直链淀粉相结合形成聚合物,使得颗粒周围半固形区加速水解,水分可以更快进入淀粉颗粒内部,使得

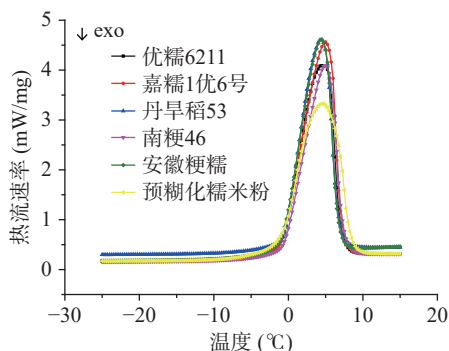


图 1 部分糯米粉冰点测定 DSC 曲线

Fig.1 Freezing point of part of glutinous rice flour DSC curve

表 4 糯米粉的冰点与热特性测定
Table 4 The freezing point and thermal properties of glutinous rice flour

样品	冰点温度(℃)	起始温度(℃)	峰值温度(℃)	终止温度(℃)	糊化焓ΔH(J·g ⁻¹)
糯优2号	-2.10±0.00 ^{hij}	74.40±0.28 ^a	78.15±0.07 ^c	83.75±0.21 ^c	3.35±0.00 ^a
优糯6211	-2.55±0.07 ⁱ	74.60±0.14 ^a	78.55±0.35 ^c	82.65±0.64 ^d	3.12±0.07 ^b
绍糯9714	-1.75±0.07 ^{ef}	60.25±0.07 ^{fg}	68.45±0.07 ^{fg}	73.65±0.21 ^{kl}	1.94±0.07 ^j
血糯	-1.85±0.07 ^{fg}	65.00±0.28 ^{cd}	66.75±0.35 ^{hi}	72.80±0.28 ^{lmn}	1.69±0.00 ^j
嘉糯1优6号	-2.05±0.07 ^{hij}	74.05±0.49 ^a	78.35±0.64 ^c	81.45±0.64 ^c	1.52±0.02 ^m
皖垦糯	-2.30±0.00 ^k	64.90±0.42 ^d	70.56±0.08 ^{de}	75.90±0.85 ^{gh}	2.07±0.08 ⁱ
武育糯16号	-2.20±0.14 ^{jk}	63.30±0.57 ^e	68.35±0.64 ^{fg}	72.75±0.49 ^{lmn}	1.81±0.02 ^k
苏御糯	-1.50±0.14 ^{bc}	59.90±0.14 ^{fg}	65.95±0.64 ⁱ	72.65±0.35 ^{mn}	1.72±0.00 ^l
丹早稻53	-1.35±0.07 ^a	64.60±0.85 ^d	70.35±0.64 ^{de}	75.25±0.35 ^{hi}	2.63±0.01 ^c
连糯1号	-1.97±0.06 ^{gh}	62.80±0.42 ^e	68.20±0.99 ^{fg}	73.30±0.57 ^{klm}	2.41±0.02 ^e
南梗46	-1.68±0.05 ^{de}	60.75±0.35 ^f	67.35±0.21 ^{gh}	72.55±0.64 ^{mn}	2.21±0.10 ^{gh}
东北梗糯	-1.40±0.14 ^{ab}	59.60±0.57 ^g	66.90±0.42 ^{hi}	72.45±0.49 ^{mn}	2.14±0.02 ^{hi}
江西籼糯	-2.05±0.07 ^{hij}	65.70±0.42 ^c	71.30±0.28 ^d	76.25±0.07 ^{fg}	1.53±0.07 ^m
安徽梗糯	-1.55±0.07 ^{cd}	59.45±0.78 ^g	65.75±0.78 ^{ji}	72.80±0.28 ^{lmn}	2.32±0.08 ^f
信阳籼糯	-2.10±0.14 ^{hij}	74.55±0.64 ^a	80.00±0.99 ^b	84.95±0.49 ^b	2.37±0.05 ^{ef}
浙江籼糯	-1.60±0.14 ^{cde}	59.80±0.85 ^{fg}	66.90±0.28 ^{hi}	72.00±0.85 ⁿ	2.50±0.09 ^d
2014越南籼糯	-2.00±0.00 ^{ghi}	62.40±0.28 ^e	68.70±0.28 ^f	74.60±0.28 ^{ji}	2.24±0.03 ^g
吉林梗糯	-2.05±0.07 ^{hij}	62.65±0.21 ^e	70.40±0.28 ^{de}	76.45±0.35 ^f	2.18±0.03 ^{gh}
湖南水磨籼糯米粉	-2.05±0.07 ^{hij}	64.50±0.85 ^d	70.15±0.64 ^{de}	75.35±0.78 ^{ghi}	2.50±0.01 ^d
泰国水磨糯米粉	-1.65±0.07 ^{cde}	62.90±1.27 ^e	69.90±0.99 ^e	73.90±0.42 ^{jk}	0.78±0.00 ^p
河北梗糯水磨粉	-2.15±0.07 ^{ijk}	54.35±0.78 ^h	64.10±0.85 ^k	69.30±0.57 ^o	1.93±0.06 ^j
半干法黑糯米纯粉	-1.85±0.07 ^{fg}	60.50±0.42 ^{fg}	64.70±1.70 ^{jk}	68.95±0.21 ^o	0.98±0.01 ^o
黑糯米纯粉	-2.55±0.07 ⁱ	62.40±0.42 ^e	68.65±0.64 ^f	75.55±0.49 ^{gh}	1.41±0.02 ⁿ
半干法银磨梗糯米	-2.15±0.07 ^{ijk}	72.35±0.64 ^b	81.25±0.21 ^a	86.10±0.85 ^a	1.35±0.02 ⁿ
预糊化糯米粉	-2.65±0.07 ^l	72.65±0.78 ^b	77.80±0.85 ^c	84.30±0.57 ^{bc}	1.96±0.02 ^j

表 5 糯米粉冰点温度与理化性质的相关性分析
Table 5 Correlation analysis between the freezing point and physicochemical properties of glutinous rice flour

指标	冰点温度	指标	冰点温度
蛋白质	0.12	膨胀能力	0.01
灰分	-0.11	胶稠度	-0.44**
脂肪	-0.30*	峰值粘度	0.05
淀粉	0.09	谷值粘度	0.22
峰值温度	-0.50**	衰减值	-0.12
起始温度	-0.52**	最终粘度	0.21
终止温度	-0.51**	回生值	0.08
糊化焓	-0.01	糊化温度	-0.25
吸水率	-0.41**	Dav	-0.31**
溶解度	-0.50**		

注: **表示在0.01水平上极显著相关; *表示在0.05水平上显著相关。

淀粉颗粒间自由水含量降低,从而导致结冰困难,从而冰点较低^[26-27]。

吸水率、溶解度与冰点温度呈极显著负相关($r=-0.41$ 、 $r=-0.50$, $P<0.01$),即吸水率、溶解度越大,冰点温度越低。吸水率与溶解度大的糯米粉品种,其内部淀粉分子结晶区域的氢键通常较弱,晶体结构易被破坏,外部游离水进入分子,吸水率变大,溶解度高,进入分子内部的水分越多,分子间自由水就越少,结冰也就越困难,从而导致冰点温度降低^[16]。有研究^[28-29]指出胶稠度与直链淀粉数量有关,且呈极显

著负相关,当胶稠度越大时,直链淀粉数量较少。而由表 5 得知,胶稠度与冰点温度呈极显著负相关($r=-0.44$, $P<0.01$),即糯米粉胶稠度越大,冰点温度越低,这可能是由于糯米粉中的直链淀粉数量较少,支链淀粉含量较多,所形成的空间网状结构较疏松,水分流动受到的阻力较小流动较快,冻结成冰晶的速度较久,冰点温度较低。糯米粉平均粒径与冰点温度呈极显著负相关($r=-0.31$, $P<0.01$),即糯米粉颗粒粒径越大,则冰点温度越低。曹松等^[30]研究表明由于磨粉过程中粒度较大的淀粉颗粒比粒度小的淀粉颗粒有更好的保水性。而保水性强,抗冻性也是相对来说比较好,因此糯米粉颗粒粒径越大时使冻结较为困难,冰点温度降低。

由表 5 可知,冰点温度与峰值温度、起始温度、终止温度均呈极显著负相关($r=-0.50$ 、 $r=-0.52$ 、 $r=-0.51$, $P<0.01$),峰值温度、起始温度、终止温度越高,冰点温度越低。余世锋等^[31]研究表明,糯米粉的热特性温度与淀粉颗粒的网状结构、聚合度,以及淀粉分子结构有关,淀粉颗粒之间空隙越小,网状结构越紧密,聚合度越大,则糊化需要的热量越高,峰值温度、起始温度及终止温度就越高。而淀粉颗粒间的空隙小、结构紧密,大分子物质以空间网状结构存在,游离水较少,不易流动水较多,冰晶形成会受到阻碍,冰点温度就会降低^[32-33]。

2.6 影响糯米粉冰点温度的指标主成分分析

对不同品种糯米粉的基本成分、理化指标、热特性数据进行主成分分析,结果如表6。

表6 影响糯米粉冰点温度的指标主成分分析

Table 6 Principal component analysis of indicators that affect the freezing point of glutinous rice flour

项目	1	2	3	4	5	6
特征根	6.54	5.04	3.28	2.07	1.52	1.23
贡献率(%)	27.23	21.01	13.66	8.63	6.34	5.12
累计贡献率(%)	27.23	48.24	61.90	70.53	76.87	81.99

由表6可知,6个主成分的累计方差贡献率达到了81.99%,即涵盖了大部分信息,表明前6个主成分能够代表所有原始指标来分析影响糯米粉冰点温度的因素。

表7为原始载荷矩阵经正交旋转法得到的数据结果。在因子1上载荷较大的为糯米粉平均粒径 D_{av} 数据,其对冰点温度影响较大,主要反映的是糯米粉粒度对冰点温度的影响;因子2上载荷较大的有峰值温度、起始温度、终止温度,主要反映的是糯米粉热特性对冰点温度的影响;因子3上载荷较大的是谷值粘度与最终粘度,主要反映的是糯米粉糊化特性对冰点温度的影响;因子4上载荷较大的是膨胀能力、衰减值;因子5上载荷较大的是脂肪含量、溶解度;因子6上载荷较大的是蛋白质含量。对各指标的总贡献率进行分析,得到影响糯米粉冰点温度的主要因素为糯米粉的平均粒径 D_{av} 、峰值温度、起始温度、终止温度、最终粘度、膨胀能力、粗脂肪含量、溶解度。

表7 影响冰点温度的指标正交旋转因子载荷

Table 7 The orthogonal rotation factor load of the index that affects the freezing temperature

	1	2	3	4	5	6	共同度
$D_{av}(\mu\text{m})$	0.98	0.05	0.09	0.06	0.08	0.01	0.98
粗蛋白(%)	-0.06	0.00	-0.02	-0.02	0.03	0.84	0.72
粗灰分(%)	-0.00	-0.28	0.20	-0.43	0.66	0.21	0.79
粗脂肪(%)	0.06	-0.23	-0.24	0.01	0.84	0.20	0.86
粗淀粉(%)	-0.22	0.00	0.00	-0.09	0.00	-0.06	0.81
吸水率(%)	0.54	0.31	-0.04	0.17	0.50	-0.31	0.84
溶解度(%)	0.48	0.25	-0.02	-0.23	0.63	-0.01	0.73
膨胀能力($\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$)	0.04	-0.15	0.08	0.89	-0.02	0.21	0.87
胶稠度(mm)	0.21	0.22	0.05	0.38	0.41	-0.14	0.59
峰值粘度($\text{mP}\cdot\text{s}$)	0.53	-0.09	0.59	0.54	-0.09	-0.14	0.96
谷值粘度($\text{mP}\cdot\text{s}$)	0.28	-0.18	0.80	0.33	-0.24	0.06	0.95
衰减值($\text{mP}\cdot\text{s}$)	0.63	0.01	0.25	0.60	0.09	-0.29	0.90
最终粘度($\text{mP}\cdot\text{s}$)	0.21	-0.20	0.93	0.18	-0.08	0.08	0.99
回生值($\text{mP}\cdot\text{s}$)	-0.07	-0.12	0.72	-0.27	0.35	0.08	0.91
糊化温度($^{\circ}\text{C}$)	-0.35	0.51	0.39	-0.41	0.39	-0.16	0.91
峰值温度($^{\circ}\text{C}$)	0.15	0.95	-0.12	-0.12	-0.11	-0.01	0.96
起始温度($^{\circ}\text{C}$)	-0.03	0.97	-0.10	-0.07	0.00	-0.06	0.97
终止温度($^{\circ}\text{C}$)	0.20	0.92	-0.20	-0.12	-0.08	-0.06	0.94
糊化焓 $\Delta H(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	-0.15	0.21	-0.28	-0.07	-0.42	-0.63	0.73

3 结论

不同糯米粉冰点温度分布在 $-1.35\sim-2.65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,主要集中在 $-1.5\sim-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内,并在不同理化指标的测定结果基础上,基于相关性分析和主成分分析分析,影响糯米粉冰点温度的关键因素主要为糯米粉的糯米粉平均粒径、糯米粉的热特性(峰值温度、起始温度、终止温度)、最终粘度、粗脂肪含量和溶解度,而这些指标均与糯米粉团的冰点温度呈负相关。因此,实际应用冰点温度冻结和贮藏技术时,若想降低糯米粉团的冰点温度,可考虑减小糯米粉的平均粒径,增加糯米粉里的脂肪含量及其溶解度,亦可通过提高糯米粉的峰值温度、起始温度和终止温度来实现。若要提高其冰点温度,则相反。实验范围内,优糯6211、黑糯米纯粉、预糊化糯米粉较为适合制作冰点冷冻汤圆。

参考文献

- [1] LI Y, DING G, YOKOYAMA W, et al. Characteristics of annealed glutinous rice flour and its formation of fast-frozen dumplings[J]. *Journal of Cereal Science*, 2018, 79: 106-112.
- [2] 夏露, 张超, 王立, 等. 冬小麦抗冻蛋白制备及其在汤圆中的应用研究[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(11): 241-243, 310. [XIA L, ZHANG C, WANG L, et al. Preparation and application of anti-freeze proteins extracted from winter wheat bran[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2009, 30(11): 241-243, 310.]
- [3] 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, 12(2): 39-42. [ZHANG G Z. Property analysis of flour of glutinous rice and quality of deep-frozen glutinous rice dough[J]. *Beverage & Fast Frozen Food Industry*, 2006, 12(2): 39-42.]
- [4] 周显青, 胡育铭, 张玉荣, 等. 我国速冻汤圆加工及其质量控制技术现状与展望[J]. *粮油食品科技*, 2014, 22(2): 6-11. [ZHOU X Q, HU Y M, ZHANG Y R, et al. Status and prospects of processing and quality control for the frozen rice dumplings in China[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2014, 22(2): 6-11.]
- [5] 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 method[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(8): 163-168.]
- [6] CAI J W, CHIANG J H, TAN M, et al. Physicochemical properties of hydrothermally treated glutinous rice flour and xanthan gum mixture and its application in gluten-free noodles[J]. *Journal of Food Engineering*, 2016, 186(10): 1-9.
- [7] LI Z N, WANG L, CHEN Z X, et al. Impact of protein content on processing and texture properties of waxy rice flour and glutinous dumpling[J]. *Journal of Cereal Science*, 2018(81): 30-36.
- [8] 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. [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] 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[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(4): 93-99.]
- [10] 孙威, 陈轩, 庄坤, 等. 调质温度和时间对黑糯米半干法制粉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(5): 17-22, 30. [SUN W, CHEN X, ZHUANG K, et al. Effect of tempering temperature and time on the quality of semi-dry black glutinous rice flour[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(5): 17-22, 30.]
- [11] CJAM K, TVANV, WALSTRA P. Gelation and retrogradation of concentrated starch systems: 2. Retrogradation[J]. *Food Hydrocolloids*, 1996, 10(3): 355-362.
- [12] 付一帆, 甘淑珍, 赵思明. 几种淀粉的糊化特性及力学稳定性[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 255-257. [FU Y F, GAN S Z, ZHAO S M. Gelatinization characteristics and mechanical stability of various starch sources[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(10): 255-257.]
- [13] 顾玲, 张燕萍. 杂粮粉对糯米粉理化性质的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(2): 186-190. [GU L, ZHANG Y P. Impact of grains powder on the physicochemical properties of glutinous rice flour[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(2): 186-190.]
- [14] 钟志友, 张敏, 杨乐, 等. 果蔬冰点与其生理生化指标关系的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(2): 76-78. [ZHONG Z Y, ZHANG M, YANG L, et al. Study on relation between freezing and physiological and biochemical indexes of fruits and vegetable[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(2): 76-78.]
- [15] ISM Z, ABSAR N, KIM S J, et al. Dsc study of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, cassava, and yam starches[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 86(1): 68-73.
- [16] CHANVRIER H, UTHAYAKUMARAN S, APPELQVIST I A M, et al. Influence of storage conditions on the structure, thermal behavior, and formation of enzyme-resistant starch in extruded starches[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2007, 55(24): 90-98, 83.
- [17] LIN Z, GENG D H, QIN W, et al. Effects of damaged starch on glutinous rice flour properties and sweet dumpling qualities[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 181: 390-397.
- [18] 宋莹莹. 糯米粉吸水率影响因素的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2013. [SONG Y Y. Study on the impacting factors of water absorption of waxy rice flour[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2013.]
- [19] ZHANG H, WU 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 Mysore*, 2020, 58(5): 1848-1857.
- [20] ERCOLINI D. Pcr-dgge fingerprinting: Novel strategies for detection of microbes in food[J]. *Journal of Microbiological Methods*, 2004, 56(3): 297-314.
- [21] 田斌强, 邓乾春, 谢笔钧. 发芽燕麦淀粉的热特性[J]. 现代食品科技, 2014, 30(5): 98-103. [TIAN B Q, DENG Q C, XIE B J. Thermal properties of the starch from germinated oat[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(5): 98-103.]
- [22] KOZLOV I I, SIA S. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of thai rice[J]. *Starch-Stärke*, 2003, 55(9): 410-415.
- [23] PARK I M, IBANEZ A M, ZHONG F, et al. Gelatinization and pasting properties of waxy and non-waxy rice starches[J]. *Starch-Stärke*, 2007, 59(8): 388-396.
- [24] 余世锋, 张永春, 林佳楠, 等. 玉米淀粉、绿豆淀粉和皱皮豌豆淀粉热特性及回生性质的比较[J]. 食品科技, 2013, 38(9): 136-140. [YU S F, ZHANG Y C, LIN J N, et al. Comparing the thermal and retrogradation properties of corn starch and mung bean starch and wrinkled pea starch[J]. *Food Science and Technology*, 2013, 38(9): 136-140.]
- [25] REDDY C K, CHOI S M, LEE D J, et al. Complex formation between starch and stearic acid: Effect of enzymatic debranching for starch[J]. *Food Chemistry*, 2018, 244: 136.
- [26] 刘延奇, 秦令祥, 吴史博, 等. 淀粉-脂质复合物的相互作用及研究进展[J]. 食品科技, 2009, 34(7): 209-213. [LIU Y Q, QIN L X, WU S B, et al. Interaction and progress of starch-lipid complex[J]. *Food Science and Technology*, 2009, 34(7): 209-213.]
- [27] 胡烨, 何建东, 王朋, 等. 养殖大黄鱼冰点调节剂研制[J]. 中国食品学报, 2013, 13(1): 51-60. [HU Y, HE J D, WANG P, et al. Development of freezing-point regulator for cultured large yellow croaker[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2013, 13(1): 51-60.]
- [28] ABBAS T, LAVADIYA D N, KIRAN R. Exploring the use of polyols, corn, and beet juice for decreasing the freezing point of brine solution for deicing of pavements[J]. *Sustainability*, 2021, 13(11): 5765.
- [29] 李贤勇, 王元凯, 王楚桃. 稻米蒸煮品质与营养品质的相关性分析[J]. 西南农业学报, 2001, 14(3): 21-24. [LI X Y, WANG Y K, WANG C T. Analysis of correlation between quality characters of cooking and nutrition[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2001, 14(3): 21-24.]
- [30] 曹松, 周洲, 董明, 等. 不同实验室干法制备工艺对糯米粉品质特性的影响[J]. 现代食品, 2021(17): 60-63, 69. [CAO S, ZHOU Z, DONG M, et al. Effects of dry preparation processes in different laboratories on the quality characteristics of glutinous rice flour[J]. *Modern Food*, 2021(17): 60-63, 69.]
- [31] 余世锋, 杨秀春, MENAGER L, 等. 直链淀粉、蛋白质及脂类对大米粉热特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(4): 38-42. [YU S F, YANG X C, MENAGER L, et al. Effects of amylose, protein and lipid on the thermal properties of rice flour[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2009, 35(4): 38-42.]
- [32] 应月, 李保国, 董梅, 等. 冰温技术在食品贮藏中的研究进展[J]. 制冷技术, 2009, 29(2): 12-15. [YING Y, LI B G, DONG M, et al. Advances in ice-temperature technique for food storage[J]. *Refrigeration Technology*, 2009, 29(2): 12-15.]
- [33] 赵凯, 张守文, 方桂珍, 等. 湿热处理对玉米淀粉颗粒结构及热焐特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(10): 17-20. [ZHAO K, ZHANG S W, FANG G Z, et al. Effects of HMT on the granule and crystalline property of maize starch[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2004, 30(10): 17-20.]