

陈凤莲, 孙贵尧, 安然, 等. 不同品种和粒度对米粉糊化特性及米蛋糕品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(21): 75-82. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010023

CHEN Fenglian, SUN Guiyao, AN Ran, et al. Gelatinization Characteristics of Rice Flour with Different Varieties and Particle Sizes and Their Effects on the Quality of Rice Cakes[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(21): 75-82. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010023

· 研究与探讨 ·

不同品种和粒度对米粉糊化特性及米蛋糕品质的影响

陈凤莲, 孙贵尧, 安然, 刘琳琳, 贺殷媛, 范静, 杨杨, 吉语宁, 郭银梅, 张娜*
(哈尔滨商业大学食品工程学院/黑龙江省谷物食品与谷物资源综合加工重点实验室,
黑龙江哈尔滨 150076)

摘要:为研究不同品种和粒度米粉对米蛋糕品质的影响, 选取粳米、籼米、糯米三个品种, 分别制备 80、100、120、140 目的米粉。通过测定不同品种和粒度米粉的糊化特性、米蛋糕的质构特性和感官品质等, 采用定性方法分析得出不同品种和粒度米粉对米蛋糕品质的影响。结果表明: 随着目数的增加, 米粉小颗粒受到的机械损伤增大, 水分迅速蒸发, 米粉的水分含量逐渐减小; 小颗粒粉体更容易吸水膨胀, 糊化温度逐渐减小。而衰减值和回生值逐渐增大, 峰值黏度和最终黏度先增大后减小; 随米粉目数的增加, 米蛋糕的咀嚼性逐渐减小, 而硬度和弹性逐渐增大, 内聚性和感官评分先增大后减小; 不同品种米粉的糊化特性、老化特性以及蛋糕品质等均存在差异, 米粉粒度对蛋糕品质具有一定的影响。在过筛目数为 120 目时, 蛋糕的感官得分达到最高。当米粉过筛目数在 140 目粒径较小时, 质地过于松软, 食用时咀嚼性差, 口感欠佳, 蛋糕品质下降。相比于糯米粉而言, 粳米粉和籼米粉更适宜制作蛋糕, 由粳米粉为原料制作的蛋糕品质更好。综上所述, 过筛目数为 120 目的粳米粉更适合制作蛋糕。

关键词:米粉, 粒度, 糊化特性, 质构特性

中图分类号: TS213.23

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)21-0075-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010023



本文网刊:

Gelatinization Characteristics of Rice Flour with Different Varieties and Particle Sizes and Their Effects on the Quality of Rice Cakes

CHEN Fenglian, SUN Guiyao, AN Ran, LIU Linlin, HE Yinyuan, FAN Jing, YANG Yang, JI Yuning, GUO Yinmei, ZHANG Na*

(School of Food Engineering, Harbin University of Commerce/Heilongjiang Key Laboratory of Grain Food and Grain Resources Comprehensive Processing, Harbin 150076, China)

Abstract: In order to study the effect of different varieties and particle sizes of rice flour on the quality of rice cakes, three varieties of japonica rice, indica rice and glutinous rice were selected to prepare 80, 100, 120 and 140 mesh rice flour respectively. By measuring the gelatinization properties of rice flour, texture properties and sensory quality of rice cakes of different varieties and particle sizes, qualitative methods were used to analyze the influence of different varieties and particle sizes of rice flour on the quality of rice cakes. The results showed that: With the increase of mesh number, the mechanical damage of small rice flour particles increased, the water evaporated rapidly, and the moisture content of rice flour gradually decreased; Small particle powder was more likely to absorb water and expand, and the gelatinization

收稿日期: 2022-01-07

基金项目: 黑龙江省科技重大专项资助(2020ZX08B02); 国家自然科学基金面上项目(31871747); 国家重点研发计划(2021YFD2100902-3); 2021 中央支持地方高校改革发展资金人才培养项目-三减健康米制品品质调控与关键技术研究; 中央财政支持地方高校发展专项资金优秀青年人才支持计划项目。

作者简介: 陈凤莲(1975-), 女, 博士, 副教授, 主要从事谷物与大豆化学及加工原理方面的研究, E-mail: finesxm@163.com。

* **通信作者:** 张娜(1979-), 女, 博士, 教授, 主要从事谷物蛋白加工及粮食高值化利用方面的研究, E-mail: foodzhangna@163.com。

temperature gradually decreased. While the decay value and the regeneration value gradually increased, the peak viscosity and final viscosity first increased and then decreased; With the increase of rice flour mesh number, the chewiness of rice cakes gradually decreased, while the hardness and elasticity increased gradually, and the cohesion and sensory scores first increased and then decreased; There were differences in the gelatinization characteristics, aging characteristics and cake quality of different varieties of rice flour, and the particle size of rice flour had a certain influence on the cake quality. When the sieving mesh number was 120, the sensory score of the cake reached the highest. When the sieved mesh of rice flour was smaller than 140 mesh, the texture was too soft, the chewiness was poor when eating, the taste was not good, and the quality of the cake was reduced. Compared with glutinous rice flour, japonica rice flour and indica rice flour were more suitable for making cakes, and the quality of cakes made from japonica rice flour was better. To sum up, the 120-mesh japonica rice flour is more suitable for making cakes.

Key words: rice flour; particle size; gelatinization properties; texture properties

随着人们生活水准的提高,对食品的需求不再仅是满足饱腹感,而对其有更高的要求,为了满足消费者的需求,烘焙行业开始在蛋糕的加工过程中添加其它具有营养价值的原料替代部分传统面粉,使蛋糕的营养价值更加丰富,多样化^[1]。米粉可用于各类加工食品,尤其是烘焙领域。烘焙食品是全球的主流食品^[2],其中蛋糕在烘焙领域有着举足轻重的地位。软绵的蛋糕是西方国家的传统糕点之一,由于其营养丰富,风味诱人,深受大众欢迎,传统的蛋糕是以低筋小麦粉为主,添加适量的食用油、绵白糖、水以及打发的鸡蛋等制成蛋糕糊,然后经过注模、烘烤而成的一种焙烤食品^[3]。

在历史发展过程中,糕点已经可用不同的谷物代替小麦粉,例如,通常由小麦粉制成的面包、蛋糕、面食等可通过加入一定比例的大米粉提高其风味^[4]。米蛋糕是一种具有特殊风味的食品,近年来烘焙产品发展迅速,越来越多的研究学者把注意力集中在了蛋糕原料的改进上,大米粉、小米粉、马铃薯粉等按照一定比例添加进小麦粉或直接代替小麦粉进行糕点制作。刘琳琳等^[5]用糯米粉替代小麦粉,对米蛋糕的配方及工艺进行改良,实验中以糯米粉的添加量、水的添加量和打蛋时间等作为自变量,得到所添加糯米粉 5%,水 22.03%,蛋糖搅打时间 10 min 时制成的米蛋糕品质特性最好。Varavinit 等^[6]研究改良后的米粉制作的蛋糕,质地等类似于小麦面粉制成的蛋糕。Itthivadhanapong 等^[7]研究了黑糯米粉代替普通小麦粉对面糊和蛋糕性能的影响,采用黑糯米粉代替 30%、50%、70% 和 100% 的小麦粉作为对照蛋糕配方。实验数据表明,所有黑糯米和混合面粉样品的糊化温度、峰值粘度、最终粘度、击穿和回退均小于 100% 小麦粉样品。Sandhu 等^[8]以低聚糖代替 50% 的蔗糖制备米粉海绵蛋糕。以异麦芽糖和果麦芽糖为低聚糖。研究了低聚糖对蛋糕物理结构和感官特性的影响。低聚糖增加了面糊粘度,降低了面糊比重和烘焙损失,用低聚糖代替 50% 的蔗糖,提高了蛋糕的含水量、比块体积和块体积指数。结果显示含有异麦芽糖的米粉海绵蛋糕的可接受性显著高于其他海绵蛋糕。

尽管研究学者普遍认为用大米粉代替小麦粉为

原料制作蛋糕产品有更好的产品特性,但对于米粉蛋糕的制作目前并没有统一的原料标准和适合的评价方法,从而使所制作的蛋糕质量差异较大。本实验选择了粳米、糯米和籼米三种种类的大米分别制备为 80、100、120 和 140 目的米粉,根据米粉过筛的程度,即米粉颗粒的大小,对不同品种和粒度米粉的水分进行测定,同时结合蛋糕成品的质构和感官评价,以此定性研究米粉品种及目数对成品蛋糕品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

粳米粉 宁波市江北五桥粮油有限责任公司;糯米粉 长春市鼎奇食品有限公司;籼米粉 芜湖凤喜食品有限公司;小麦粉 河南永丰面业股份有限公司;泡打粉 新乡市新良粮油加工有限责任公司;鸡蛋 市售;绵白糖 海伦南华糖业有限公司。

CO-750A 电烤箱 中山卡士电器有限公司;KFS-C 凯丰牌电子数字秤 凯丰集团有限公司;标准分样筛 安平鑫兴筛具总厂;SD-38 打蛋器 永康市康尔牛工贸有限公司;TAnew plus 质构仪 美国 TA 仪器公司;S/N2194617-TMB 快速黏度分析仪 PerkinElmer 公司;101-0AB 电热鼓风干燥箱 天津市泰斯特仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 不同粒度米粉的制备 选取籼米粉、糯米粉、粳米粉分别过 80 目(177 μm)、100 目(147 μm)、120 目(125 μm)、140 目(105 μm)筛,并收集相应粉体。

1.2.2 米粉成分测定 水分含量:根据 GB 5009.3-2016 规定的方法采用直接干燥法测定;蛋白质含量:根据 GB 5009.5-2016 规定的方法采用凯氏定氮法测定;直链淀粉含量:根据 GB/T 15683-2008 规定的方法测定。

1.2.3 RVA 糊化特性的测定 样品的糊化特性按照《GB/T 24852-2010 大米及米粉糊化特性测定快速黏度仪法》的规定采用快速黏度仪进行测定。依据 14% 的校准水分计算加米粉量和加水量,准确称取米粉和水分,并将该悬浮试样转移到样品筒中,放入搅拌器,上下快速搅动至试样完全分散,连接仪器。

选择程序标准 1, 运行温度控制软件, 使该测试过程在规定的测试程序下运行。升温至 50 °C 开始计时, 50 °C 保持 1 min, 再升温至 95 °C, 保温 2.5 min, 然后降温至 50 °C, 保温至 16 min^[9]。根据计算机显示的黏度变化曲线即可确定其糊化温度、峰值黏度、峰值时间、最低黏度、最终黏度、衰减值、回生值, 并记录原始数据。

1.2.4 米蛋糕的制作 米蛋糕的基本配方^[10]以米粉的质量 100% 为基准(烘焙百分比), 粉: 100%; 鸡蛋(以全蛋液计): 80%; 绵白糖: 80%; 水: 45%; 泡打粉: 1%。

准确称量米粉、鸡蛋(全蛋)、绵白糖、水、泡打粉, 将称量好的全蛋液与绵白糖混匀, 用打蛋器搅拌打, 过程中分两次加入水, 搅打至蛋液气泡细密稳定后停止。将米粉和泡打粉混匀后加入打发好的全蛋液中, 采用翻拌手法进行米粉调糊, 将调制好的蛋糕糊注入模具中, 蛋糕糊的量不应超过模具的三分之二, 为防止蛋糕糊消泡, 注模成功后应立即放入烤箱中。烤箱温度设定为上火 150 °C, 下火 160 °C; 烘焙 15 min 左右。

1.2.5 质构特性的测定 米粉蛋糕制作完成后, 在室温下放置 20 min, 待其冷却稳定后, 用 TAnew plus 质构仪对米粉蛋糕进行 TPA 测定^[11]。在规定的测定条件下, 待测样品取自米粉蛋糕均匀致密的中心部位, 切成 2 cm×2 cm×2 cm 的小块, 采用直径 35 mm 的平底柱形探头 P/35 进行测试。测试的机械条件(测试参数)调整如下: 接触点类型: 力; 接触点: 5; 在全质构分析(TPA)测试中, 样品经历了两个连续的循环过程。在此过程中硬度、弹性、内聚性以及咀嚼性是最常见的、能够综合反应样品对咀嚼的持续抵抗能力、对蛋糕的食用性能有很大的影响的蛋糕参数, 因此把它们作为主要的研究参数^[12-13]。

1.2.6 感官评定 根据蛋糕的用量标准制作好米粉蛋糕后, 在室温下放置一段时间, 脱模, 选取合适的感官评价标准并邀请 10 名同学进行感官评价, 以米粉蛋糕的形态、色泽、组织、滋味与口感、杂质等五个方面进行评价, 评价标准如表 1 所示, 满分 100 分^[14]。

1.3 数据处理

上述实验均设置三次平行。采用 IBM SPSS Statistics 25、EXCEL 2016 等软件将数据进行方差分析以及相关统计学分析, 试验结果以平均值±标准差的形式表示; 运用 Origin Pro2021 软件将归纳处理后的数据进行图像化的处理。

2 结果与分析

2.1 米粉水分含量

粳米粉的水分含量在 12.08%~13.92% 之间, 籼米粉的水分含量在 10.17%~12.56% 之间, 糯米粉的水分含量在 11.03%~12.96% 之间(表 2)。不同品种不同粒度米粉之间的含水量具有显著性差异($P<0.05$), 同一品种的米粉随着粒度的减小, 水分含

表 1 蛋糕感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria of cake

项目	评分标准	感官评分(分)
形态	外形整齐丰满, 表面细腻, 底部平整无破损及收缩塌陷	16~20
	外形较整齐, 顶部稍有塌陷, 表面有少许破损	10~15
	外形不整齐, 薄厚不一, 表面粗糙, 顶部有塌陷收缩	<10
色泽	表面浅黄, 内部白色, 颜色均匀, 具有该品种特有色泽特征	16~20
	颜色较均匀	10~15
	颜色不均匀	<10
组织	起发均匀, 组织松软细密, 有较好的弹性, 粉质细腻不掉渣, 无糖块、粉块等, 呈细密蜂窝状切面	16~20
	起发差, 组织不细密, 有较大空气空洞, 弹性略差	10~15
	不起发, 无弹性, 有糖块、粉块等	<10
滋味与口感	松软可口, 有鸡蛋香味, 不黏牙, 甜度适中, 具有该品种特有风味, 无异味, 有淡淡的米香味	16~20
	鸡蛋香味较淡, 口感稍硬, 该品种特有风味不明显	10~15
	鸡蛋香味淡, 口感较差, 该品种特有风味不明显	<10
杂质	无肉眼可见杂质	16~20
	稍有杂质	10~15
	杂质过多	<10

表 2 不同粒度米粉的水分、蛋白质和直链淀粉含量

Table 2 Moisture, protein and amylose content of rice flour with different particle sizes

样品名称	水分含量(%)	蛋白质含量(g/100 g)	直链淀粉含量(mg/g)
粳米80目	13.92±0.04 ^{Aa}	8.007±0.04	18.102±0.03
粳米100目	13.20±0.10 ^{Ba}	8.003±0.06	18.068±0.03
粳米120目	12.41±0.13 ^{Ca}	8.159±0.07	18.617±0.01
粳米140目	12.08±0.13 ^{Da}	7.994±0.11	18.618±0.01
籼米80目	12.56±0.03 ^{Ab}	8.871±0.18	22.876±0.03
籼米100目	11.87±0.03 ^{Bb}	8.722±0.00	23.408±0.02
籼米120目	11.02±0.03 ^{Cb}	8.160±0.04	23.551±0.02
籼米140目	10.17±0.08 ^{Db}	8.825±0.09	23.152±0.02
糯米80目	12.96±0.02 ^{Aab}	7.196±0.06	0.643±0.04
糯米100目	12.22±0.03 ^{Bab}	7.361±0.07	0.948±0.02
糯米120目	11.85±0.02 ^{Cab}	7.358±0.06	0.449±0.02
糯米140目	11.03±0.01 ^{Dab}	7.366±0.03	0.533±0.03

注: 同列不同大写字母表示同一品种不同粒度米粉之间差异显著($P<0.05$), 同列不同小写字母表示不同品种同一粒度米粉之间差异显著($P<0.05$)。

量逐渐降低。本实验原料的保存地点在北方, 气候干燥, 糯米粉结构较松散, 水分易受环境影响, 含量较低; 此外, 淀粉和蛋白的吸水速度和数量具有差异性, 粳米粉和籼米粉的直链淀粉和蛋白含量不同, 这应该也是影响其水分含量的因素之一。该结果与王丽等^[15]的研究相一致。

2.2 不同粒度对米粉糊化特性的影响

不同品种大米粉及小麦粉样品在加热和冷却过程中黏度的变化结果见图 1。由图 1A 可知, 随样品粒度的减小, 糊化温度呈降低趋势, 在相同粒度下, 相比较于大米粉^[16], 小麦粉糊化温度最高。这可能是由于粒度减小, 小颗粒粉体更容易吸水膨胀, 糊化温度随之降低, 同时水分子更容易进入淀粉颗粒的无定形

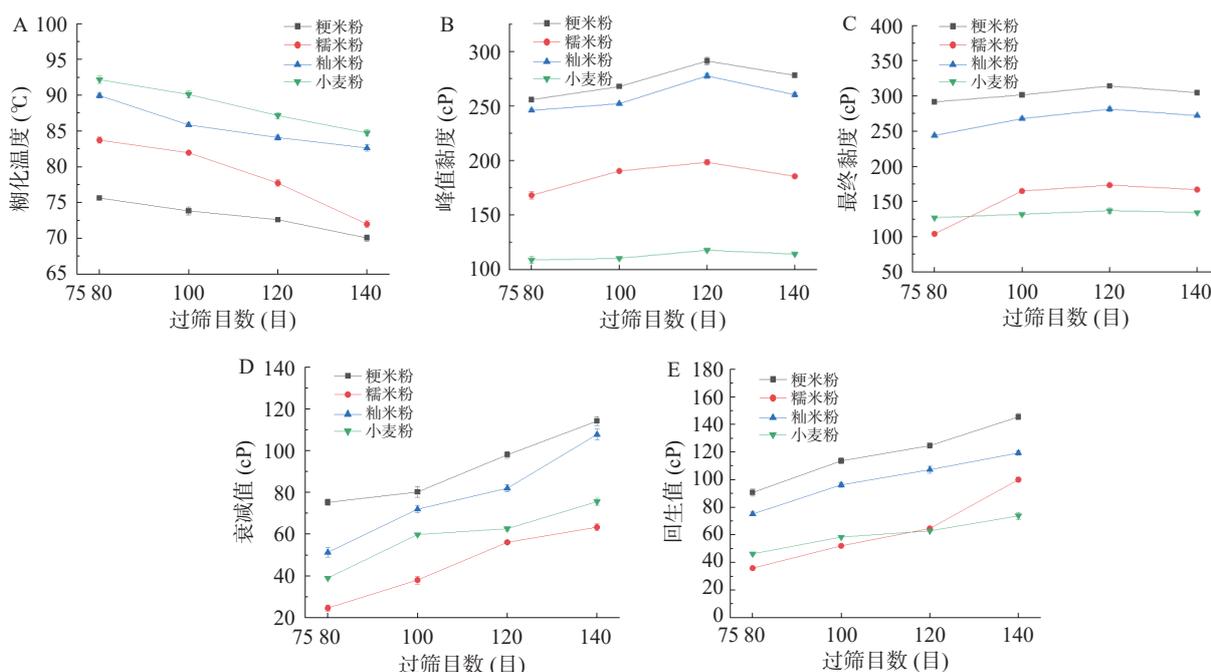


图1 不同粒度对米粉的糊化特性的影响

Fig.1 Effects of different particle sizes on gelatinization properties of rice flour

区,形成半透明黏稠糊状,糊化越容易^[17],这与周文卓等^[18]的研究结果相一致。各品种大米粉糊化温度依次为籼米粉>糯米粉>粳米粉,可能是与不同品种大米粉的组成成分有关。籼米粉相对于其它两个品种的特点是直链淀粉含量高,与脂肪形成的螺旋包合物阻止淀粉糊化^[19],且其蛋白质含量高,存在于淀粉颗粒的缝隙之间,亦可阻碍淀粉吸水膨胀糊化,从而使得其糊化温度较高^[20];糯米粉的组分特点是支链淀粉含量几乎占总淀粉的100%,且粉质体较多,质地松软,所以随粒度的减小,损伤淀粉增加量大于其它两个品种^[21],这也就是当粒度达到140目时,糯米粉的糊化温度几乎下降到与粳米粉相同的原因。

由图1B可知,在相同粒度下,小麦粉峰值黏度最低^[22],大米粉峰值黏度最高,且粳米粉>籼米粉>糯米粉,该结果与团队前期的研究相同^[23]。但是与杜双奎等^[24]的研究结果相反,这可能与粉体中的 α -淀粉酶的活性有关,因为谷物粉是天然生长的产物,其中含有多种酶系,对淀粉峰值黏度影响最大的是 α -淀粉酶,其活性越高,峰值黏度越低,本实验选取的粳稻和糯稻均来自于黑龙江,与杜双奎等研究的原材料差异性较大。大米粉样品峰值黏度呈先上升后下降趋势,样品均在粒度为120目时达到最大。可能是因为不同粒度米粉中淀粉颗粒和水分子之间的结合作用不同会导致米粉凝胶性、凝沉性的变化,从而导致峰值黏度的变化。

由图1C可知,最终黏度是由于温度降低,淀粉重新形成结晶,黏度增加所形成。小麦粉的最终黏度低于大米粉,除80目时高于糯米粉外,且不同品种及粒度米粉的最终黏度具有差异,相同粒度下,粳米粉最高,糯米粉最低。造成这种差异的原因是由于糯

稻中几乎不含直链淀粉,其淀粉的组分和淀粉粒的结构与非糯性材料存在明显的差异所致。这与王世伟等^[25]的研究结果吻合。

由图1D可知,衰减值是糊化性质中最敏感的指标,代表淀粉颗粒的破裂程度,其值越大,说明越多的淀粉颗粒在加热中破裂,内部淀粉分子被释放出来,表示的是淀粉糊在高温的条件下耐剪切的能力。小麦粉及不同种大米粉的衰减值随着粒度的减小而增大,说明粒度越小,凝胶糊的耐剪切力越弱^[26]。相同粒度下,粳米粉最高,糯米粉最低,同时小麦粉略高于糯米粉。

由图1E可知,回生值反映淀粉糊化后老化回生的速度,而老化与糊化时溶出的直链淀粉含量呈正相关。随粒度的减小,回生值均呈现升高趋势,表明米粉容易老化,这可能是由于在较小粒度下,米粉糊化后沉降体积大,使得在降温过程中淀粉链易发生重新凝聚,导致凝沉现象发生,淀粉老化速度加快^[27-28]。老化速度粳米粉和籼米粉较接近,糯米粉和小麦粉较相近,且显著低于粳米粉和籼米粉。

2.3 不同粒度米粉对蛋糕品质特性的影响

2.3.1 不同粒度米粉对蛋糕质构特性的影响 本实验通过选取硬度、弹性、内聚性、咀嚼性等四个与蛋糕感官品质密切相关的特性参数作为衡量蛋糕品质的重要指标,以此研究米粉目数与蛋糕质构的相关性。不同品种米蛋糕的硬度大小表现为:糯米粉>粳米粉>小麦粉 \geq 籼米粉,但是粳米粉、籼米粉以及小麦粉蛋糕的硬度较接近,且随着粒度的减小,蛋糕的硬度逐渐增大。蛋糕的弹性整体随粒度的减小呈上升趋势,但是小麦粉和糯米粉蛋糕的弹性上升

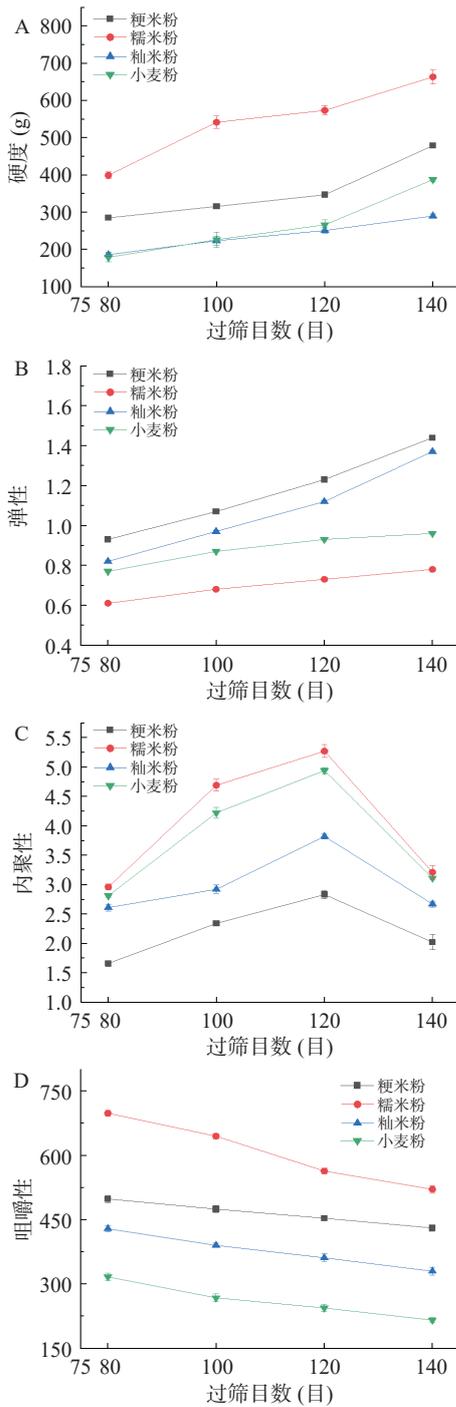


图 2 不同粒度米粉对蛋糕质构特性的影响

Fig.2 Effect of rice flour with different particle size on texture characteristics of cake

趋势不明显,不同品种米蛋糕的弹性大小表现为: 粳米粉>籼米粉>小麦粉>糯米粉。有研究报道^[29] 较小粒度下,蛋糕的多孔组织更加细密,因此硬度和弹性较大。内聚性通常代表样品内部结构的强弱^[30],米蛋糕的内聚性随粒度减小先增大后减小,当过筛目数为 120 目时,糯米粉、籼米粉和粳米粉蛋糕的内聚性最大,分别为 5.27、3.82、2.83。这说明米粉粒度减小后蛋糕内部结构加强,分析原因可能是因为米粉粒度减小,加热熟化过程中淀粉糊化吸水更加完全,溶出淀粉增加,键合增加,结构增强^[31]。当粒度小于 120 目,随溶出淀粉增加黏度过大内聚性减小,这一

点与后面的相关性分析得出内聚性与米粉糊化特性的峰值黏度、最终黏度呈显著负相关相一致。糯米粉和小麦粉蛋糕的内聚性较大并接近,籼米粉和粳米粉蛋糕的较小。米蛋糕的咀嚼性随粒度减小逐渐减小,糯米蛋糕减小趋势最明显。不同品种米蛋糕的咀嚼性大小表现为糯米粉>粳米粉>籼米粉>小麦粉。

2.3.2 不同粒度米粉对蛋糕感官评分的影响 如图 3 所示,不同米粉制作的蛋糕感官得分不同。感官得分大小表现为: 粳米粉>籼米粉>小麦粉>糯米粉;随着过筛目数的增加,即米粉粒度的减小,米蛋糕的感官得分呈先上升后下降的趋势。在过筛目数为 120 目时,蛋糕的感官得分达到最高。当米粉过筛目数在 140 目粒径较小时,质地过于松软,食用时咀嚼性差,口感欠佳,蛋糕品质下降。相比于糯米粉而言,粳米粉和籼米粉更适宜制作蛋糕,由粳米粉为原料制作的蛋糕品质更好(图 4)。由此可见,米粉的品种和粒度分布会影响蛋糕的外观、形态、色泽、组织、滋味与口感、杂质以及蛋糕的整体质量^[32]。综上所述,从营养价值及其口感等各方面考虑,以及最终的感官评定结果表明,建议使用 120 目的粳米粉制作蛋糕等其它烘焙类产品。

2.4 各指标间的相关性分析

2.4.1 粒度与米蛋糕品质指标间的相关性分析 如表 3 所示,通过皮尔逊分析,分析了米粉粒度与米蛋糕品质指标间的关系,米粉粒度与米蛋糕的硬度呈显著的正相关,其相关系数为 0.454;米粉粒度与米蛋糕的弹性呈极显著的正相关,其相关系数为 0.980;米粉粒度与米蛋糕的咀嚼性呈显著的负相关,其相关系数为 0.410。以上结果说明米粉粒度对最终蛋糕成品品质具有一定的影响效果。

表 3 米粉粒度与蛋糕品质指标间的相关性分析
Table 3 Correlation analysis between rice flour particle size and cake quality index

	米粉种类	米粉粒度	硬度(g)	弹性	内聚性	咀嚼性	感官评分
米粉种类	1						
米粉粒度	0	1					
硬度(g)	-0.333	0.454*	1				
弹性	-0.153	0.980**	-0.319	1			
内聚性	0.322	0.148	0.490	-0.491	1		
咀嚼性	-0.355	-0.410*	0.573	-0.776**	0.373	1	
感官评分	-0.254	-0.209	-0.496	0.333	-0.048	-0.333	1

注: **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关,表 4 同。

2.4.2 米粉糊化特性与蛋糕质构特性指标间的相关性分析 通过皮尔逊分析,分析了米粉糊化特性与蛋糕品质指标间的相关性分析,由表 4 可知,米粉糊化特性与蛋糕品质指标间存在着诸多相关性。对于蛋糕质构特性指标之间,弹性与咀嚼性呈极显著负相关,相关系数为-0.778。咀嚼性表示固态食品咀嚼到可吞咽时所做的功,上述结果说明蛋糕弹性越小,内

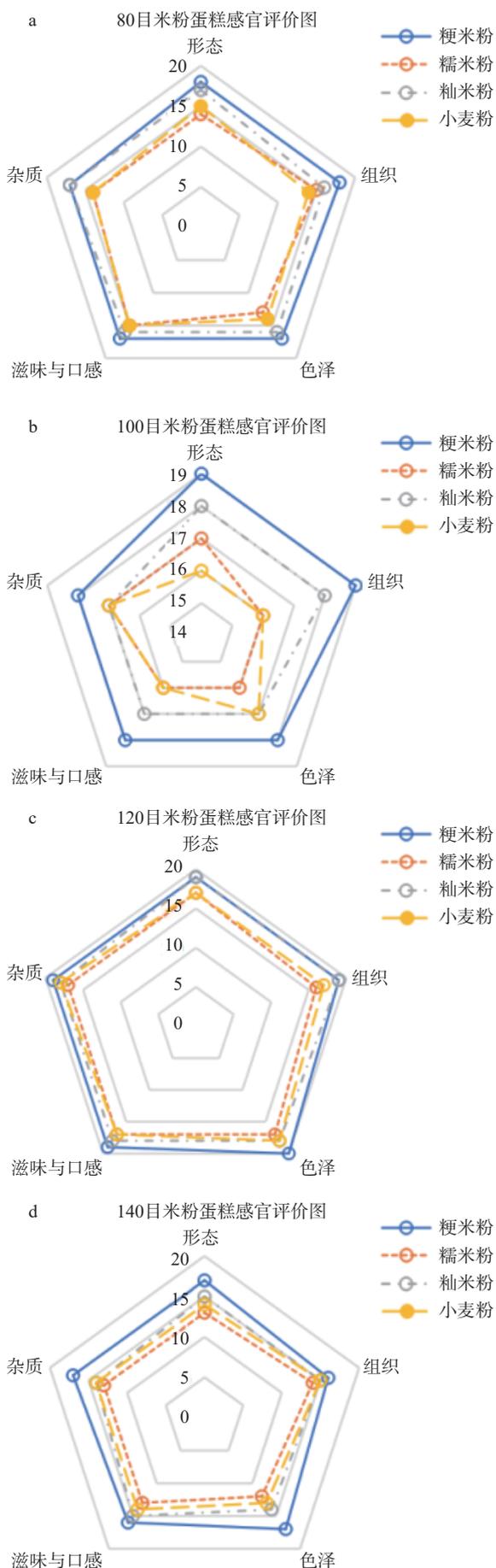


图3 不同粒度米蛋糕感官评价图
Fig.3 Sensory evaluation of rice cakes with different particle sizes



图4 米粉种类及其粒度对蛋糕外观的影响
Fig.4 Effect of rice flour type and particle size on cake appearance

注: J代表粳米粉, X代表籼米粉, N代表糯米粉, M代表小麦粉; 80、100、120、140代表不同目数。

部构造越紧密,咀嚼起来越困难^[33]。弹性与米粉糊化特性中的衰减值呈显著正相关,相关系数为 0.597,说明多项分散体系蛋糕糊在加热过程中,淀粉糊化后的热稳定性决定了最终蛋糕的弹性。内聚性与米粉糊化特性的峰值黏度、最终黏度呈显著负相关,相关系数为-0.505、-0.567。内聚性有时也被称为黏聚性,表示测试样品经过第一次压缩变形后所表现出来的对第二次压缩的相对抵抗能力,与被测样品的内部结构有关。该结果说明蛋糕组分中米粉淀粉在加热时的糊化和冷却时的老化产生的黏度对蛋糕成品内部结构具有重要的影响。就米粉糊化特性各个指标间,糊化温度与回生值呈极显著负相关,与峰值黏度、最终黏度、衰减值呈显著负相关,相关系数分别为-0.667、-0.573、-0.555、-0.546。峰值黏度与最终黏度、衰减值、回生值呈极显著正相关,相关系数分别为 0.936、0.642、0.798。衰减值与回生值呈极显著正相关,相关系数为 0.931。淀粉的糊化和老化与其直链淀粉和支链淀粉含量、结晶结构等特性息息相关,以上相关性说明,淀粉糊化和老化特性之间存在着必然的联系。

3 结论

研究不同品种和粒度的米粉糊化特性以及米蛋糕的品质特性得出,随米粉粒度的减小,其糊化温度逐渐减小,衰减值和回生值逐渐增大,峰值黏度和最终黏度先增大后减小;粳米粉各糊化指标最高,籼米粉次之,糯米粉较低。随着粒度的减小蛋糕硬度和弹性增加,咀嚼性降低,内聚性先增加后降低,120目时达到最大值;糯米粉蛋糕硬度大,弹性小。米粉粒度与米蛋糕的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性之间具有相

表 4 米粉糊化特性与蛋糕质构特性间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between gelatinization characteristics of rice flour and texture characteristics of cake

	硬度(g)	弹性	内聚性	咀嚼性	糊化温度(°C)	峰值黏度(cP)	最终黏度(cP)	衰减值(cP)	回生值(cP)
硬度(g)	1								
弹性	0.127	1							
内聚性	-0.239	-0.352	1						
咀嚼性	-0.099	-0.778**	-0.014	1					
糊化温度(°C)	0.011	0.214	0.298	-0.444	1				
峰值黏度(cP)	0.418	0.164	-0.505*	0.276	-0.573*	1			
最终黏度(cP)	0.319	0.359	-0.567*	0.019	-0.555*	0.936**	1		
衰减值(cP)	0.377	0.597*	-0.427	-0.353	-0.546*	0.642**	0.781**	1	
回生值(cP)	0.406	0.389	-0.496	-0.115	-0.667**	0.798**	0.875**	0.931**	1

关性, 米粉糊化老化时黏度决定了蛋糕成品内部结构。本研究为米蛋糕的生产提供了有效的实验依据, 并为米粉在烘焙类食品方面的开发应用提供了一定的理论基础。

参考文献

- [1] 高瑾, 蔡敏. 菠萝风味戚风蛋糕的研制及质构分析[J]. 湖北工程学院报, 2018, 38(6): 47-50. [GAO J, CAI M. Preparation and texture analysis of pineapple-flavored chiffon cake[J]. Journal of Hubei Engineering University, 2018, 38(6): 47-50.]
- [2] GUADARRAMA-LEZAMA A Y, CARRILLO-NAVAS H, PÉREZ-ALONSO C, et al. Thermal and rheological properties of sponge cake batters and texture and microstructural characteristics of sponge cake made with native corn starch in partial or total replacement of wheat flour[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 70: 46-54.
- [3] 王强毅, 卢小珍. 甘薯淀粉对蛋糕品质及其制备工艺条件的优化[J]. 龙岩学院学报, 2019, 37(2): 75-81. [WANG Q Y, LU X Z. Study on effect of sweet potato starch on quality of cake and the optimum preparing conditions[J]. Journal of Longyan University, 2019, 37(2): 75-81.]
- [4] 祝水兰, 冯健雄, 幸胜平, 等. 大米制品研发现状与前景展望[J]. *江西农业学报*, 2009, 21(9): 121-123. [ZHU S L, FENG J X, XING S P, et al. Current situation and prospects of research and development of rice products[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2009, 21(9): 121-123.]
- [5] 刘琳琳, 孙冰玉, 王丽超, 等. 响应面法优化无谷蛋白米粉海绵蛋糕工艺的研究[J]. 农产品加工, 2017(10): 21-24, 29. [LIU L L, SUN B Y, WANG L C, et al. Study on optimization of gluten free rice flour sponge cake process by response surface methodology[J]. *Products Processing*, 2017(10): 21-24, 29.]
- [6] VARAVINIT S, SHOBSNGOB S. Comparative properties of cakes prepared from rice flour and wheat flour[J]. *European Food Research & Technology*, 2000, 211(2): 117-120.
- [7] ITHIVADHANAPONG P, SANGNARK A. Effects of substitution of black glutinous rice flour for wheat flour on batter and cake properties[J]. *International Food Research Journal*, 2016, 23(3): 1190-1198.
- [8] JU J E, BYOUN K E, LEE K A. The effects of oligosaccharides on the quality characteristics of rice flour sponge cakes[J]. *Korean Journal of Food and Cookery Science*, 2007, 23(4): 1499-1507.
- [9] 徐群英, 吕庆云, 常锦玉, 等. 不同粉碎粒度小米粉理化性质研究[J]. *粮食与油脂*, 2018, 31(9): 43-46. [XU Q Y, LÜ Q Y, CHANG J Y, et al. Study on physicochemical properties of millet powder with different crushing particle size[J]. *Grain & Oil*, 2018, 31(9): 43-46.]
- [10] 陈凤莲, 汪洋. 大米蛋糕制作配方的研究[J]. *粮食加工*, 2016, 41(5): 26-29. [CHEN F L, WANG Y. Research on recipe of rice cake[J]. *Grain and Oil Processing*, 2016, 41(5): 26-29.]
- [11] 任伟伟, 张艾青, 刘希凤, 等. 响应面法优化青汁猕猴桃山药蛋糕的工艺研究[J]. *现代食品*, 2021(2): 122-126, 134. [REN W W, ZHANG A Q, LIU X F, et al. Optimization of barley grass juice kiwi yam cake by response surface methodology[J]. *Modern Food*, 2021(2): 122-126, 134.]
- [12] 张伟君, 钟耀广. 紫马铃薯全粉对马芬蛋糕质构性能和感官品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(18): 211-214, 220. [ZHANG W J, ZHONG Y G. Influence of purple potato powders on the physical properties and sensory qualities of muffin cake[J]. *Food Industry Technology*, 2017, 38(18): 211-214, 220.]
- [13] 韩薇薇, 郭晓娜, 朱科学, 等. 水溶性胶体对无麸质面团流变学特性及面包品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(2): 15-19. [HAN W W, GUO X N, ZHU K X, et al. Effect of water-soluble colloid on rheological properties and bread quality of gluten-free dough[J]. *Chinese Journal of Cereals and Oils*, 2015, 30(2): 15-19.]
- [14] ZAVAREZE E D R, DIAS A R G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2011, 83(2): 317-328.
- [15] 王丽, 黄琪悦, 刘友明. 米粉种类及添加量对蛋糕品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(2): 153-156, 159. [WANG L, HUANG Q Y, LIU Y M. Effect of type and amount of rice noodles on cake quality[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(2): 153-156, 159.]
- [16] 曾洁, 张首玉, 高海燕, 等. 不同粒度玉米粉的性质研究[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(5): 134-137. [ZENG J, ZHANG S Y, GAO H Y, et al. Study on properties of corn flour with different particle sizes[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2009, 30(5): 134-137.]
- [17] 易翠平, 杨有望, 高文明. 蛋白组分对籼米粉糊化特性的影响机理探讨[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(7): 97-102. [YI C P, YANG Y W, GAO W M. Study on the mechanism of the effect of protein components on the gelatinization properties of indica rice

- flour[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(7): 97-102.]
- [18] 周文卓, 温纪平. 粒度对小麦粉品质影响的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(22): 183-187. [ZHOU W Z, WEN J P. Research progress on the effect of particle size on wheat flour quality[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(22): 183-187.]
- [19] 肖满凤, 徐晓辉, 李宏升, 等. 大米蛋白对大米淀粉糊化特性及鲜湿米粉品质影响的研究[J]. *食品科技*, 2016, 41(4): 168-172. [XIAO M F, XU X H, LI H S, et al. Effects of rice protein on gelatinization characteristics of rice starch and quality of fresh and wet rice flour[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(4): 168-172.]
- [20] 付奎, 王晓曦, 马森, 等. 不同机械处理方式对小麦粉损伤淀粉含量及其糊化特性的影响[J]. *粮食与饲料工业*, 2014(4): 8-13. [FU K, WANG X X, MA S, et al. Effects of different mechanical treatments on damaged starch content and gelatinization characteristics of wheat flour[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2014(4): 8-13.]
- [21] 朱宝成. 破损淀粉的研究与应用[J]. *现代面粉工业*, 2014, 28(6): 9-11. [ZHU B C. Research and application of damaged starch[J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2014, 28(6): 9-11.]
- [22] ATHAPOL N, NGAMCHUEN K, MUANMAI A. Effect of the aging on the quality of glutinous rice cracker[J]. *Cereal Chemistry*, 1997, 4(1): 12-15.
- [23] HE Y, CHEN F, SHI Y, et al. Physico-chemical properties and structure of rice cultivars grown in Heilongjiang Province of China[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2021(1): 45-53.
- [24] 杜双奎, 杨红丹, 于修焯, 等. 商品粳米、籼米、糯米品质特性和糊化特性比较研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(5): 78-81. [DU S K, YANG H D, YU X Z, et al. Comparative study on quality characteristics and gelatinization characteristics of commercial japonica rice, indica rice and glutinous rice[J]. *Food Science*, 2010, 31(5): 78-81.]
- [25] 王世伟, 沈莎莎. 不同来源小麦淀粉的糊化特性比较研究[J]. *现代面粉工业*, 2015, 29(4): 14-16. [WANG S W, SHEN S S. Comparative study on gelatinization characteristics of wheat starch from different sources[J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2015, 29(4): 14-16.]
- [26] 潘思轶, 王可兴, 刘强. 不同粒度超微粉碎米粉理化特性研究[J]. *食品科学*, 2004(5): 58-62. [PAN S Y, WANG K X, LIU Q. Study on physicochemical properties of ultrafine comminuted rice flour with different particle sizes[J]. *Food Science*, 2004(5): 58-62.]
- [27] HERA E, MARTINEZ M, OLLETE B, et al. Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice cakes[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, 6(9): 2280-2288.
- [28] WANG Y, CHEN L YANG T, et al. A review of structural transformations and properties changes in starch during thermal processing of foods[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 113: 106543.
- [29] 刘淑敏, 王浩, 杨庆余, 等. 米糠蛋糕的研制及品质评定[J]. *食品工业*, 2019, 40(4): 54-57. [LIU S M, WANG H, YANG Q Y, et al. Development and quality evaluation of rice bran cake[J]. *Food Industry*, 2019, 40(4): 54-57.]
- [30] 王兆燃, 李文钊, 冯艺飞, 等. 粒度对小米粉特性和小米枸杞渣蛋糕品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(13): 40-45, 51. [WANG Z R, LI W Z, FENG Y F, et al. Effect of particle size on the properties of millet flour and the quality of millet medlar cake[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2019, 40(13): 40-45, 51.]
- [31] ZHANG Q, SONG L, HUANG X, et al. Application of texture analyzer in food analysis and detection[J]. *Food Processing*, 2017(24): 52-56.
- [32] 邹奇波, 王家宝, 陈诚, 等. 乳化剂和保泡型流态起酥油对海绵蛋糕面糊及其烘焙特性的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(11): 28-33, 151. [ZOU Q B, WANG J B, CHEN C, et al. Effects of emulsifier and foam-preserving fluid shortening on sponge cake batter and its baking characteristics[J]. *Food and Machinery*, 2019, 35(11): 28-33, 151.]
- [33] KIRBAŞ Z, KUMCUOĞLU S, TAVMAN S. Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten-free batter rheology and cake properties[J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2019, 56: 914-926.