

小米鹰嘴豆桃酥制备工艺优化及其保质期预测

梁霞, 路欣, 孟婷婷*

(山西农业大学山西功能食品研究院, 山西太原 030031)

摘要: 小米、鹰嘴豆富含不饱和脂肪酸及膳食纤维, 将其以一定比例替代部分小麦粉制作桃酥, 可起到提升产品营养价值、丰富产品风味及滋味的作用。探究小米、鹰嘴豆混合面粉替代比例及替代量、酥油、复合低糖、水添加量对桃酥感官评分、酥脆性、硬度及延展因子的影响; 采用正交试验优化无蔗糖小米鹰嘴豆桃酥制备工艺, 采用加速氧化试验预测其保质期。结果表明: 当小米、鹰嘴豆粉替代比例 2:1、替代量 35%, 酥油添加量 35%、复合低糖添加量 30%、水添加量 15%、面火 190 °C、底火 140 °C 烘烤 17 min 时, 桃酥色泽金黄, 口感酥脆、香甜, 小米、鹰嘴豆风味协调, 其酥脆性为 124、硬度为 522、延展因子为 4.39、感官评分达到 89 分。35 °C 及 45 °C 加速氧化试验结果得出桃酥在 25 °C 条件下保质期为 67 d。该研究可为提高酥性饼干品质特性、预测产品保质期提供基础方法。

关键词: 小米鹰嘴豆桃酥; 混合面粉替代量; 感官评分; 酥脆性; 保质期

文章编号: 1673-9078(2025)09-165-172

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.9.0949

Optimization of the Preparation Process for Millet-chickpea Shortbread and Its Shelf Life Prediction

LIANG Xia, LU Xin, MENG Tingting*

(Shanxi Functional Food Research Institute, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China)

Abstract: Millet and chickpeas are rich in unsaturated fatty acids and dietary fiber. Replacing a certain proportion of wheat flour with millet and chickpea flour in a specific ratio to make shortbread can enhance the product's nutritional value and enrich its flavor and taste. This study explores the effects of different substitution ratios and amounts of millet-chickpea mixed flour, shortening, composite low sugar, and addition amount of water on the sensory score, crispness, hardness, and extension factor of the shortbread. An orthogonal experiment was performed to optimize the preparation process of sugar-free millet-chickpea shortbread, and an accelerated oxidation test was employed to predict its shelf life. The results showed that when the substitution ratio of millet to chickpea flour was 2:1, the substitution amount was 35%, the shortening addition was 35%, the composite low sugar addition was 30%, and the water addition was 15%, with the baking temperature set at 190 °C (top heat) and 140 °C (bottom heat) for 17 minutes, the shortbread had a golden color, crispy texture, sweet taste, and a balanced flavor of millet and chickpeas. The crispness was 124, hardness was 522, extension factor was 4.39, and sensory score reached 89 points. Based on the accelerated oxidation test at 35 °C and 45 °C, the predicted shelf life of the shortbread at 25 °C was 67 days. This study provides a fundamental method for improving the quality characteristics of shortbread

引文格式:

梁霞,路欣,孟婷婷.小米鹰嘴豆桃酥制备工艺优化及其保质期预测[J].现代食品科技,2025,41(9):165-172.

LIANG Xia, LU Xin, MENG Tingting. Optimization of the preparation process for millet-chickpea shortbread and its shelf life prediction [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(9): 165-172.

收稿日期: 2024-07-04; 修回日期: 2024-12-03; 接受日期: 2024-12-09

基金项目: 山西省科技厅技术创新项目 (02104010911013-6)

作者简介: 梁霞 (1970-), 女, 硕士, 副研究员; 研究方向: 杂粮功能性食品开发, E-mail: liangxia987@sina.com

通讯作者: 孟婷婷 (1981-), 女, 硕士, 副研究员; 研究方向: 低升糖食品开发, E-mail: 13753482713@sina.com

cookies and predicting their shelf life.

Key words: millet-chickpea shortbread; mixed flour replacement; sensory evaluation; crispness; shelf life

桃酥起源于江西,是一种南北皆宜的汉族传统特色小吃,以其干、酥、脆、甜的特点闻名全国,但糖尿病人群却对其望而却步。近年来随着消费者保健意识的增强,杂粮杂豆受到重视和喜爱。小米作为一种全谷物及药食两用食品^[1],其产量在世界粟类作物产量中位居第二^[2]。小米质地温和,营养丰富均衡,同时还具有多种生理功效,如健胃安神,助消化,降低血糖和胆固醇等^[3]。通过增加小米在饮食中的摄入,人们可能获得一系列健康益处,这些益处有助于降低诸如胆固醇代谢异常、2型糖尿病以及高血压等慢性疾病的风险^[4-6]。小米是我国居民食用量最多的主食之一,营养价值高,但是存在口感粗糙、营养物质生物利用度低以及加工产品单一等问题^[7]。改善谷物品质的加工方法有很多种,如超声、挤压、发芽和发酵等,其中发芽和发酵两种方法被认为是谷物加工的理想方法^[8]。此外,小米中第一限制性氨基酸赖氨酸含量较低,人体缺乏赖氨酸会导致营养不良、生长发育缓慢及免疫力低下^[2];豆类赖氨酸含量较高,其中以鹰嘴豆为首,如将小米与鹰嘴豆复配,则可弥补这一缺陷。

制作酥性点心的主要原料为低筋小麦粉、酥油及蔗糖。小米、鹰嘴豆不含网络面筋,如将一定比例的小米、鹰嘴豆复配面粉替代部分中筋小麦粉,则可适当降低中筋小麦粉面筋强度,使混合面粉适宜制作桃酥。随着市场经济的发展和消费观念的更新,各类饼干糕点正朝着休闲、保健型方向转化^[9]。陈可桃^[10]以中药材为主要原料所研制鸡屎藤桃酥,经正交试验优化出最佳配方;谢玮等^[11]所研制山梨糖醇黄桃桃酥,明确黄桃粉添加量并对产品货架期进行了预测;王丹^[12]所研制黑米桃酥常温下7周储藏期限内口感纯正、风味佳。烘焙食品中常用的蔗糖具有较高的升糖指数,本文以复合低糖取代蔗糖,采用正交试验优化小米鹰嘴豆桃酥制备工艺,分析小米、鹰嘴豆粉替代比例及替代量、酥油、复合低糖、水添加量对产品感官评分、酥脆性、硬度及延展性的影响,同时对产品保质期进行预测。该研究对提升小米、鹰嘴豆商品价值、扩展产业应用领域、带动杂粮产业发展有积极意义。

1 材料和方法

1.1 原料和试剂

晋谷21号(面粉细度为80目),由山西沁州黄小米集团有限公司提供;家用小麦粉(中筋),金沙河集团;鹰嘴豆粉(磨粉,过80目筛),市售鹰嘴豆;赛益山高无水酥油,深圳精益油脂技术有限公司;复合低糖(主要成分为木糖醇、海藻糖、麦芽糖醇、山梨糖醇),青岛海博生物技术有限公司;MF-柔软改良剂,乐斯福(明光)有限公司;金龙鱼大豆油,益海嘉里金龙鱼粮油股份有限公司;碳酸氢钠,广东泽隆化工科技有限公司;碳酸氢铵及碳酸钠,济南铭德化工有限公司。

1.2 仪器与设备

Brabender GmbH & Co.KG 粘度仪:德国 Brabender 公司;TA-XA PLUS 质构仪:英国 Stable Micro System LtdRC-2022C;FA1604 电子分析天平上海光学仪器一厂;880110 磨粉机:德国 Brabender 公司;SINMAG SM-25 搅拌机(新麦机械(中国)股份有限公司);SINMAG SM-522+1S 电烤炉(新麦机械(中国)股份有限公司)。

1.3 试验方法

本试验设计小米与鹰嘴豆混合面粉的质量比例为1:1、2:1、3:1、1:2、1:3,考察不同质量比混合面粉对桃酥品质特性的影响。

本试验设计小米、鹰嘴豆混合面粉在小麦粉中的替代量为分别为0、10%、20%、30%、40%、50%,考察混合面粉不同替代量对桃酥品质特性的影响。

1.3.1 基础配方

所有原料以质量分数计,混合面粉用量600g,其它原料用量以混合面粉用量百分比计:金沙河小麦粉66.70%、小米粉16.70%、鹰嘴豆粉16.70%,酥油36.70%、色拉油10.00%、复合低糖35.00%,水12.50%,鸡蛋液13.30%,盐8.30%,MF-柔软改良剂0.04%,小苏打1.17%,泡打粉1.10%,碳酸氢铵2.67%。

表 1 小米、鹰嘴豆桃酥感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for Xiaomi and chickpea peach pastry

项目	特征	标准 / 分
色泽 (25 分)	色泽均匀一致, 呈金黄色, 有光泽	25~20
	色泽均匀, 呈浅黄色或深黄色, 光泽暗淡	19~10
	色泽不均匀, 呈灰黄色或深褐色, 无光泽	9~5
滋味与口感 (30 分)	口感酥脆, 香甜可口, 小米、鹰嘴豆风味显著, 无异味	30~23
	口感松软, 甜度过高或过低, 小米鹰嘴豆风味较显著, 无异味	22~12
	口感过硬或过软, 甜度过高或过低, 小米、鹰嘴豆风味不显著, 有异味	11~5
组织 (20 分)	断面孔径均匀、适中	20~15
	断面孔径过细或过粗	14~8
	断面孔径大小不一	7~3
形态 (25 分)	外形完整, 薄厚基本均匀, 表面有光泽, 有轻微裂纹	25~20
	外形较完整, 薄厚稍有不均, 表面光泽度低, 裂纹过宽或过窄	19~10
	外形不完整, 薄厚不一, 表面无光泽, 无裂纹或过宽裂纹	9~5

1.3.2 小米鹰嘴豆桃酥制作工艺

将无水酥油、色拉油放入搅拌机中慢速打发 2 min 之后再快速打发 30 s, 加入复合低糖、鸡蛋液、水及 MF-柔软改良剂慢速打发 3 min, 再加入小苏打、泡打粉、碳酸氢铵搅拌均匀。将小米、鹰嘴豆粉按比例称重、过筛, 倒入搅拌机中与液料混合, 低速搅拌 20 s 之后再中速搅拌 10 s。取出面团, 将其分解为每个重量 20 g 的小圆面团, 用食指关节压陷至其厚度 2/3 处, 放入烤炉中以面火 190 ℃、底火 140 ℃烘烤 17 min, 冷却后用铝箔袋包装备用。

1.3.3 感官评分

小米鹰嘴豆桃酥感官评分参考 GB/T20980-2021, 邀请 9 名受过培训的人员作为感官评定人员, 对桃酥色泽、口感与滋味、组织、形态进行综合评分。

1.3.4 质构测试

采用 P/2 探头测定, 测前速度 2.00 mm/s, 测中速度 1.00 mm/s, 测后速度 10.00 mm/s, 位移 20.00 mm, 触发力 5.00 g。共进行 7 次平行试验, 去掉最大值、最小值, 求平均值。

1.3.5 延展因子W/T测定

随机抽取 9 个桃酥, 分别测定其直径及高度, 计算延展因子并取平均值。

$$W/T=\frac{d}{h}$$

(1)

式中:

W/T—桃酥延展因子;

d—桃酥直径;

h—桃酥厚度。

1.3.6 正交试验优化制备工艺

在单因素试验基础上, 采用四因素三水平正交试验优化小米鹰嘴豆桃酥工艺参数, 确定工艺参数。

1.3.7 保质期预测方法

桃酥富含油脂, 在储存过程中, 由于受到温度、湿度、氧气等因素的影响, 容易导致产品发生氧化哈败^[13]。2017T/CNFIA 001-2017 食品保质期通用指南指出基于温度条件的加速破坏性试验可通过计算得到产品的保质期时间或保质期时间范围。小米鹰嘴豆桃酥保质期测定采用《食品保质期通用指南》^[14]“参照法”中“酥性饼干保质期测定方法”及“文献法”中谷明亮^[15]保质期测定方法, 用铝箔袋将桃酥封装, 每袋约 300 g, 分别置于温度 35 ℃及 45 ℃、湿度 75% 的恒温恒湿箱中储藏 25 d, 每隔 5 d 取样, 测定样品水分、酸价、过氧化值并进行感官评价, 根据谷明亮计算公式预测出桃酥 25 ℃储藏条件下的保质期。

保质期比率 (Q_{10}) 计算公式如下:

$$Q_{10}=\frac{\theta(T_1)}{\theta(T_2)}$$

(2)

式中:

$\theta(T_1)$ —35 ℃下贮藏的保质期, d;

$\theta(T_2)$ —45 ℃下贮藏的保质期, d。

实际贮藏温度 (25 ℃) 的保质期 $[\theta(T), d]$ 计算公式如下:

表 2 小米、鹰嘴豆混合面粉比例对桃酥品质特性的影响

Table 2 The influence of the ratio of millet and chickpea mixed flour on the quality characteristics of peach pastry

水平	A 小米、鹰嘴豆混合面粉比例	B 感官评分	C 酥脆性	D 硬度	E 延展因子
1	1:1	83 ± 2.00 ^b	115 ± 4.51 ^{bc}	609 ± 21.38 ^b	2.86 ± 0.02 ^b
2	2:1	90 ± 1.53 ^a	126 ± 2.65 ^a	546 ± 30.51 ^c	2.28 ± 0.02 ^d
3	3:1	84 ± 2.00 ^b	114 ± 3.06 ^{ab}	499 ± 9.61 ^c	2.38 ± 0.02 ^a
4	1:2	79 ± 2.08 ^c	111 ± 3.06 ^{cd}	590 ± 21.55 ^b	2.41 ± 0.03 ^c
5	1:3	81 ± 2.52 ^d	107 ± 4.16 ^d	647 ± 16.17 ^a	1.96 ± 0.02 ^c

注：同一列中不同的上标小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ），下同。

表 3 小米、鹰嘴豆混合面粉替代量对桃酥品质特性的影响

Table 3 The influence of the substitution amount of millet and chickpea mixed flour on the quality characteristics of peach

水平	A 混合面粉替代量/%	B 感官评分	C 酥脆性	D 硬度	E 延展因子
1	25	73 ± 1.53 ^c	108 ± 2.52 ^{cd}	549 ± 39.59 ^a	3.72 ± 0.03 ^c
2	30	79 ± 2.00 ^b	115 ± 2.52 ^{bc}	510 ± 39.72 ^{ab}	3.86 ± 0.02 ^d
3	35	89 ± 2.65 ^a	126 ± 6.66 ^a	487 ± 28.92 ^{bc}	4.26 ± 0.01 ^c
4	40	85 ± 2.01 ^b	117 ± 4.01 ^b	437 ± 12.49 ^c	5.04 ± 0.06 ^b
5	45	73 ± 2.52 ^d	84 ± 4.04 ^d	426 ± 26.50 ^d	5.17 ± 0.10 ^a
6	50	75 ± 3.00 ^d	100 ± 3.79 ^{bc}	643 ± 13.01 ^d	3.62 ± 0.02 ^a

$$\theta(T)=\theta(T')\times Q_{10}^{\Delta T/10}$$
 (3)

式中：

$\theta(T')$ ——在 T' 温度下进行加速破坏性试验得到的保质期，d；

ΔT ——较高温度（ T' ）与实际贮藏温度（ T ）的差值，℃。

1.3.8 保质期验证试验

将桃酥用铝箔袋封装，置于 25℃ 恒温恒湿箱中，每隔 3 d 取样，测定产品酸价、过氧化值并进行感官评价，确定桃酥保质期。

1.4 数据分析

利用方差分析方法对数据进行分析计算。

2 结果与分析

2.1 小米与鹰嘴豆面粉混合比例对桃酥品质特性的影响

酥脆性是探头从接触样品至样品破碎时的距离，该值越小，表明样品越酥脆；硬度是探头在下压至样品破碎过程中最大的力，该值越大，则表明样品硬度越大；延展因子与面筋网络形成相关，延展因子越大，样品面筋网络形成越差^[16]。如表 2 所示，当小米与鹰嘴豆面粉混合比例为 2:1 时，桃酥

色泽金黄、酥脆香甜，小米、鹰嘴豆风味协调，感官评分 90 分、酥脆性 126、硬度 546、延展因子 2.28。当小米与鹰嘴豆面粉混合比例为 3:1 时，桃酥小米风味增强、鹰嘴豆风味减弱，感官评分、酥脆性及硬度分别下降 6.67%、9.52%、8.61%；延展因子升高 4.38%，产品耐咀嚼性显著降低。当小米、鹰嘴豆面粉混合比例比转换为 1:3 时，鹰嘴豆粉所富含的蛋白质在焙烤过程中美拉德反应程度更剧烈，桃酥色泽加深，断面孔径细密、紧实，鹰嘴豆风味浓郁、小米风味减弱，感官评分、酥脆性及延展因子较其质量比 3:1 时分别下降 3.57%、6.14%、4.29%，硬度升高 29.66%，桃酥品质显著劣化，这可能是由于其非面筋蛋白及膳食纤维含量较高使得面团硬度增大，导致产品酥脆性降低^[17]。研究结果显示，不同比例小米、鹰嘴豆混合面粉桃酥感官评分差异显著（ $P<0.05$ ）；鹰嘴豆粉添加比例对桃酥感官评分、酥脆性及延展因子的影响比小米显著（ $P<0.05$ ）。小米、鹰嘴豆粉质量比 2:1 时桃酥食用品质最佳。

2.2 小米、鹰嘴豆混合面粉替代量对桃酥品质特性的影响

以小米、鹰嘴豆粉质量比为 2:1 的混合面粉替代部分中筋小麦粉制作桃酥。如表 3 所示，当混合面粉替代量小于 20% 时，面团筋度较高，桃酥口感

偏硬,酥脆性及延展性较差。当混合面粉替代量升高至 30% 时,桃酥酥脆性 121、硬度 546、延展因子 4.57,其外观齐整、色泽金黄、表面裂纹适度、小米、鹰嘴豆风味协调,酥脆可口,食用品质较好,感官分评达到 90 分。继续加大混合面粉替代量至 40%~50% 时,桃酥表面裂纹加宽、边缘有裂口,硬度升高 6.78%~17.90%,酥脆性及延展因子分别下降 3.33%~17.51%、15.10%~20.78%。这是由于过量的小米、鹰嘴豆混合面粉所含的非面筋蛋白及膳食纤维稀释和破坏了面团的面筋网络结构,面团弹性和粘着性下降所致^[18]。试验结果显示,不同小米、鹰嘴豆混合面粉替代量对桃酥品质影响显著 ($P<0.05$),30% 小米、鹰嘴豆粉替代量可适当降低中筋小麦粉面团硬度,调节面团延展性和柔韧性,提高产品品质^[19]。此外,小米、鹰嘴豆所富含的膳食纤维提高了桃酥的耐咀嚼性,可延长产品在口腔中滋味和风味的体验感。

2.3 酥油添加量对小米、鹰嘴豆桃酥品质特性的影响

酥油为 SFI 指数较高的脂肪,具有可塑性,与糖粉搅打时会裹入大量的空气,赋予了面团更好的结构^[20]。酥油还可促进面团形成面筋,使得面团膨大,增加酥松感^[16]。如表 4 所示,当酥油添加量逐渐增大为混合面粉用量的 35% 时,桃酥色泽金黄、形态完整,表面裂纹适度、内部组织结构均匀,滋味丰富、口感酥脆香甜,感官评分达到 89.00。继

续增大酥油用量至 45% 时,桃酥表面积增大、表面裂纹加宽,口感松软、油腻、嚼劲变差,感官评分下降 17.94%,酥脆性下降 33.73%、硬度下降 12.52%、延展因子升高 21.36%,口感过于松软,嚼劲下降。试验结果显示,酥油添加量对桃酥品质影响显著 ($P<0.05$),王鹏等^[21]研究指出,这可能是由于大量的油脂分布在淀粉微粒和面筋蛋白周围,形成一层薄油膜,阻止面团吸水,造成面团粘性变差所致。

2.4 复合低糖添加量对小米、鹰嘴豆桃酥品质特性的影响

赵瑞华等^[22]在香菇小米低糖饼干中使用木糖醇作为甜味剂。木糖醇口感偏甜、滋味单一,由海藻糖、木糖醇、麦芽糖醇等原料复配而成的复合低糖甜度适中、口感接近白砂糖。如表 5 所示,当复合低糖添加量逐渐增大为混合面粉用量的 40% 时,桃酥感官评分达到最高值 88 分、酥脆性达到最大值 114,硬度 516、延展因子 4.09。此工艺条件下桃酥成型好,色泽金黄、表面裂纹适度、内部组织结构细腻均匀,硬度、甜度适中,酥脆性最佳,与田俊豆渣桃酥木糖醇添加量一致。继续加大复合低糖用量至 50% 时,复合低糖的起泡能力相比于白砂糖较差,面团表面疏水性减弱,造成面团结构趋于紧实^[23],桃酥感官评分降低 7.95%、酥脆性降低 5.26%、硬度升高 25.97%、延展因子降低 23.96%,口感偏硬、偏甜。同时,基于焦糖化作用,桃酥表面色泽变深变暗,视觉效果降低^[24]。

表 4 酥油添加量对桃酥品质特性的影响

Table 4 The influence of the amount of butter added on the quality characteristics of peach pastry					
水平	A 酥油添加量/%	B 感官评分	C 酥脆性	D 硬度	E 延展因子
1	25	73 ± 1.53 ^c	108 ± 2.52 ^{cd}	549 ± 39.59 ^a	3.72 ± 0.03 ^c
2	30	79 ± 2.00 ^b	115 ± 2.52 ^{bc}	510 ± 39.72 ^{ab}	3.86 ± 0.02 ^d
3	35	89 ± 2.65 ^a	126 ± 6.66 ^a	487 ± 28.92 ^{bc}	4.26 ± 0.01 ^c
4	40	85 ± 2.01 ^b	117 ± 4.01 ^b	437 ± 12.49 ^c	5.04 ± 0.06 ^b
5	45	73 ± 2.52 ^d	84 ± 4.04 ^d	426 ± 26.50 ^d	5.17 ± 0.10 ^a

表 5 复合低糖添加量对小米、鹰嘴豆桃酥品质特性的影响

Table 5 Effect of compound low sugar addition on the quality characteristics of Xiaomi and chickpea peach crispy					
水平	复合低糖添加量/%	感官评分	酥脆性	硬度	延展因子
1	0	56 ± 4.58 ^d	93 ± 3.51 ^d	464 ± 13.53 ^c	4.11 ± 0.02 ^c
2	10	72 ± 3.00 ^c	101 ± 3.06 ^c	486 ± 7.55 ^{bc}	4.37 ± 0.15 ^b
3	20	79 ± 2.00 ^b	110 ± 2.52 ^{bc}	544 ± 24.00 ^a	4.75 ± 0.02 ^d
4	30	83 ± 1.00 ^b	108 ± 4.00 ^b	532 ± 9.45 ^a	4.48 ± 0.16 ^c
5	40	88 ± 2.08 ^a	114 ± 2.52 ^a	516 ± 50.50 ^c	4.09 ± 0.08 ^a
6	50	81 ± 3.06 ^b	108 ± 2.52 ^{bc}	650 ± 6.25 ^{ab}	3.11 ± 0.02 ^d

表 6 水添加量对小米、鹰嘴豆桃酥品质特性的影响

Table 6 Effect of water addition on the quality characteristics of Xiaomi and chickpea peach crispy					
水平	水添加量/%	感官评分	酥脆性	硬度	延展因子
1	7	77 ± 2.00 ^c	109 ± 3.61 ^b	544 ± 9.29 ^b	4.70 ± 0.04 ^a
2	10	84 ± 1.00 ^b	113 ± 2.00 ^b	563 ± 6.11 ^b	4.63 ± 0.03 ^a
3	13	86 ± 1.53 ^a	119 ± 2.52 ^a	612 ± 9.54 ^a	4.43 ± 0.03 ^b
4	16	83 ± 2.52 ^b	115 ± 3.00 ^b	644 ± 11.14 ^b	4.15 ± 0.07 ^b
5	19	78 ± 2.52 ^c	110 ± 4.00 ^b	683 ± 9.52 ^b	4.03 ± 0.04 ^c

2.5 水添加量对小米、鹰嘴豆桃酥品质特性的影响

原料中加入一定量的水，可促进糖粉、苏打、泡打粉等固态原料的溶解，还可调节和控制面团的黏稠度及温度。如表 6 所示，随着水添加量的增大，桃酥感官评分呈先上升后下降的趋势，在水添加量 13% 时达到最高值 86 分，酥脆性为 119、硬度为 612、延展因子为 4.43。此工艺条件下桃酥表面裂纹均匀、内部组织结构细腻、松脆可口。继续加大水的用量至 19%，混粉面团变得黏腻，桃酥表面积减小，成型较差、口感变硬，感官评分降至 78 分。Manohar 等^[25]研究指出 1% 的水分含量变化可对面团的流变学特性产生显著的影响，水分含量增加会使饼干变硬、酥脆性降低。陆林^[26]在鹰嘴豆饼干中加入 12% 的水，所制得产品软硬适中，酥脆度好，与本研究结果相近。此外，鹰嘴豆所富含的可溶性膳食纤维会增强面团组分与水的亲和力，紧实的面团限制了饼干在烘焙过程中膨胀，从而降低饼干的延展性。

2.6 正交试验结果分析

表 7 正交试验因素与水平 (%)

Table 7 Orthogonal experimental factors and levels (%)				
水平	A 小米、鹰嘴豆粉替代量	B 酥油添加量	C 复合低糖添加量	D 水添加量
1	25	30	30	11
2	30	35	40	13
3	35	40	50	15

表 7 为正交试验因素与水平，由表 8 正交试验极差分析可知，影响试验结果各因子主次关系是小米、鹰嘴豆粉替代量>酥油添加量>水添加量>复合低糖添加量，最佳配比参数为 A₃B₂C₁D₃，即小米、鹰嘴豆粉替代比例 2:1、替代量 35%，酥油添加量 35%、复合低糖添加量 30%、水添加量 15%，小米、

鹰嘴豆桃酥色泽金黄，表面有轻微裂纹，边缘齐整，口感酥脆、甜，小米、鹰嘴豆风味协调。经测定其酥脆性为 124、硬度为 522、延展因子为 4.39、感官评分达到 89 分。

表 8 正交试验方差分析

Table 8 Orthogonal experimental analysis of variance					
水平	A	B	C	D	感官评分
1	1	1	1	1	68.00
2	1	2	2	2	71.00
3	1	3	3	3	83.00
4	2	1	2	3	80.00
5	2	2	3	1	82.00
6	2	3	1	2	84.00
7	3	1	3	2	77.00
8	3	2	1	3	89.00
9	3	3	2	1	80.00
k ₁	74.00	75.00	80.00	76.67	
k ₂	82.00	80.33	77.00	77.33	
k ₃	81.67	82.33	80.67	83.67	
极差 S	8.00	7.33	3.67	7.00	
主次顺序					
A>B>D>C					
优水平					
A ₃ B ₂ C ₁ D ₃					

2.7 桃酥保质期确定

2.7.1 加速储藏对桃酥水分含量影响

水分含量是影响产品保质期的重要因素，较低的水分含量有利于延长产品货架期。将桃酥装入铝箔袋中封口后置于恒温恒湿箱内，在湿度 75%、温度 35℃ 及 45℃ 条件下分别储藏 25 d，每隔 5 d 取样。如图 1 所示，35℃ 储藏 25 d 后桃酥水分含量下降至 3.49%，45℃ 储藏 25 d 后水分含量下降至 3.44%，均趋于平衡。参考 GB/T 20980-2007《饼干质量通则》规定饼干水分含量不应大于 4% 的要求，桃酥水分含量均未超出限量。

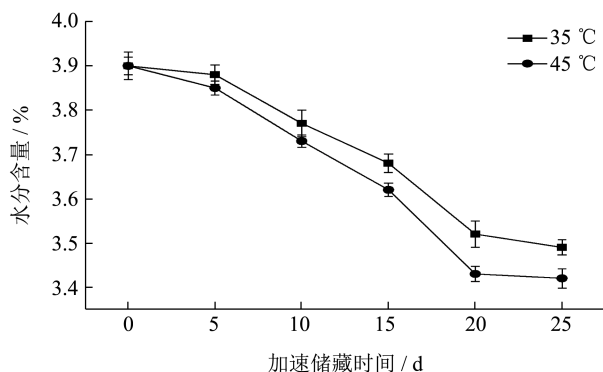


图 1 加速储藏对桃酥水分含量的影响

Fig.1 Accelerated storage for peaches the influence of moisture content on pastry

2.7.2 加速储藏对桃酥酸价的影响

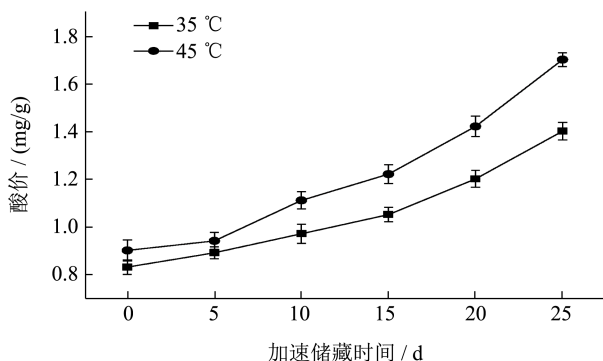


图 2 加速储藏对桃酥酸价的影响

Fig.2 Effect of accelerated storage on the sour value of peach crispy

如图 2 所示, 在 35 °C 及 45 °C 储藏条件下前 15 d 内桃酥酸价增长幅度较缓, 之后呈显著上升趋势。目前我国尚无桃酥国家标准, 参考 GB/T 20980-2007 《饼干质量通则》中规定饼干酸价 ≤ 5 mg/g 的标准, 桃酥在 35 °C 及 45 °C 加速储藏 25 d 内其酸价值均 ≤ 5 mg/g, 未超标。

2.7.3 加速储藏对桃酥过氧化值的影响

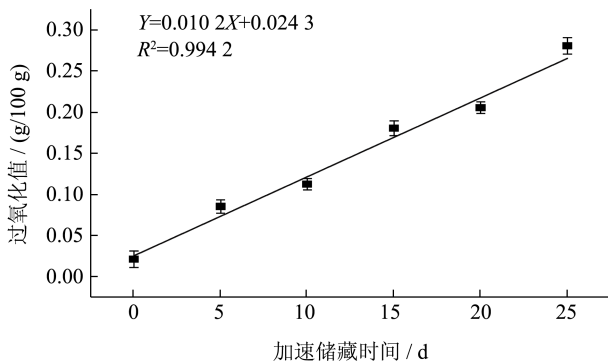


图 3 35 °C 加速储藏时间对桃酥过氧化值的影响

Fig.3 Effect of accelerated storage time at 35 °C on the peroxide value of peach pastry

GB 7100-2015 《食品安全国家标准 饼干》规定产品过氧化值 ≤ 0.25 g/100 g。如图 3 所示, 在 35 °C 储藏条件下, 桃酥在第 25 天过氧化值超标并出现哈败味, 根据线性方程 $Y=0.010\ 2X+0.024\ 3$ 计算得出, 其实际加速储藏时间为 22.1 d。

如图 4 所示, 在 45 °C 储藏条件下, 桃酥第 10 天出现哈败味, 根据线性方程 $Y=0.039\ 6X+0.031\ 9$ 计算得出, 其实际加速储藏时间为 5.5 d。

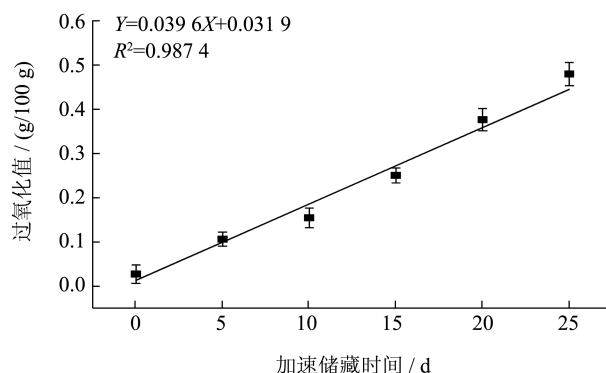


图 4 45 °C 加速储藏时间对桃酥过氧化值的影响

Fig.4 Effect of accelerated storage time at 45 °C on the peroxide value of peach pastry

2.7.4 货架期预测

25 °C 储藏条件下桃酥货架期计算如下:

$$Q_{10} = \frac{\theta(T_1)}{\theta(T_2)} = \frac{22.1}{5.5} = 4.0 \quad (4)$$

$$\theta(T) = \theta(T') \times Q_{10}^{\Delta T/10} \quad (5)$$

根据古明亮食品保质期预测方法得出: 在实际储藏温度 25 °C 条件下, 桃酥保质期为 64 d。

2.7.5 保质期验证试验

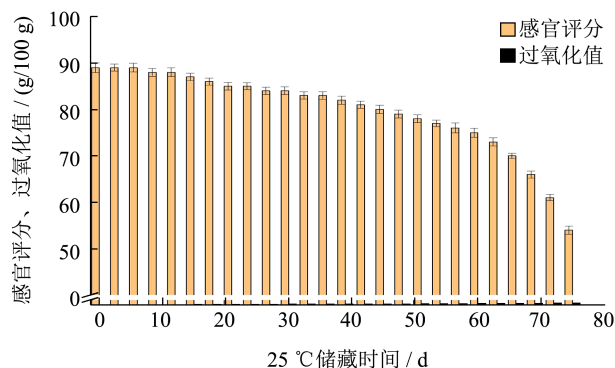


图 5 25 °C 储藏时间对桃酥感官评分、过氧化值的影响

Fig.5 Effect of storage time at 25 °C on sensory evaluation and peroxide value of peach pastry

为了验证桃酥预测保质期与实际储藏期限是否一致, 在实际储藏温度 25 °C 条件下每隔 3 d 取样进

行感官评分及过氧化值测定。由图5所示,在储藏期第51~75天内桃酥感官评分呈显著下降趋势,由78分降低至61分,下降幅度21.79%;过氧化值呈显著上升趋势,由0.19 g/100 g升高至0.33 g/100 g,上升幅度73.68%,并在第70天超过0.25 g/100 g的国标限量。

加速储藏试验得出桃酥在25℃条件下储藏期限为64 d,25℃实际储藏条件下得出桃酥最长储藏期限为67 d,货架期预测值与实测值相差3 d。由于人体感官评价更能细微、如实地反应产品劣化程度,因此桃酥保质期确定为67 d。桃酥在储藏期内大肠菌群、霉菌及致病菌均未检出,产品符合饼干微生物含量国家标准的要求(参考饼干国家标准(GB7122-2015))。

3 结论

随着国人消费观念的更新,健康营养、新颖时尚的烘焙食品受欢迎,在注重口感的同时还兼顾了功能性作用。叶丹榕等^[27]所研制添加了茉莉花茶及茶油的桃酥赋予产品全新的口味;田俊^[28]所研制豆渣桃酥具有有促进胃肠蠕动、降低血液中胆固醇含量、减少糖尿病人对胰岛素的消耗等功效。本文以0%~50%小米、鹰嘴豆混合面粉替代部分小麦中筋粉制作桃酥,通过单因素、正交试验优化产品配方并对保质期进行预测。正交试验得出桃酥最佳制备工艺参数为(以混合面粉质量分数100%计):小米、鹰嘴豆粉替代比例2:1、替代量35%,酥油添加量35%、复合低糖添加量30%、水添加量15%,面火190℃、底火140℃,烘烤17 min。此工艺条件下桃酥色泽金黄、表面有轻微裂纹,小米、鹰嘴豆风味协调,口感酥脆、香甜,食用品质最佳。经35℃、45℃加速氧化破坏性试验得出桃酥在常温25℃条件下保质期为67 d。该研究可为杂粮烘焙食品研制提供技术和理论支撑。

参考文献

- [1] ALVAREZ J L, ARENDT E K, GALLAGHER E. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients [J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(2): 106-113.
- [2] 王晗,付永霞,陈博睿,等.生命早期摄入不同剂量小米对小鼠的影响:代谢组学分析[J/OL].中国食品学报,1-10[2025-04-21].
- [3] 张凡,付永霞,曾鸣,等.小米各级蛋白组分对淀粉糊化特性的影响[J].中国食品学报,2024,24(8):72-81.
- [4] HOU D, CHEN J, REN X, et al. A whole foxtail millet diet reduces blood pressure in subjects with mild hypertension [J]. Journal of Cereal Science, 2018, 84: 13-19.
- [5] SHAHIDI F, CHANDRASEKARA A. Millet grain phenolics and their role in disease risk reduction and health promotion: A review [J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(2): 570-581.
- [6] SHARMA N, NIRANJAN K. Foxtail millet: Properties, processing, health benefits, and uses [J]. Food Reviews International, 2018, 34(4): 329-363.
- [7] 张桂英,李会霞,姜龙波,等.发芽-发酵联合处理对谷子淀粉结构和理化性质的影响[J].食品工业科技,2024,45(22):89-96.
- [8] MUSHTAQ B S, WALEED A L A, DHUNGLE A, et al. Influence of pretreatments combined with extrusion on γ -amino butyric acid, nutritional composition and physicochemical properties of foxtail millet (*Setaria italica*) [J]. Journal of Cereal Science, 2021, 102: 10335.
- [9] 崔秋莹.基于多感官可视化的饼干食品设计研究[D].无锡:江南大学,2022.
- [10] 陈可桃.鸡屎藤桃酥加工工艺研究[J].农产品加工,2024,3:26-29.
- [11] 谢玮,肖灿,文华理.山梨糖醇黄桃桃酥工艺优化及其货架期预测[J].美食研究,2024,41(2):90-96.
- [12] 王丹.黑米桃酥的工艺优化及其品质研究[D].扬州:扬州大学,2023.
- [13] 陈蓉,柴秀航,刘元法.市售桃酥用油对其氧化稳定性和产品品质的影响[J/OL].中国油脂,1-14[2025-04-21].
- [14] 中国食品工业协会团体标准,食品保质期通用指南,2017T/CNFIA 001-2017[S].北京:中国食品工业协会,2017.
- [15] 古明亮.加速破坏性试验确定核桃糕的保质期[J].粮食与食品工业,2020,27(3):42-45.
- [16] PAREYT B, TALHAOU F, KERCKHOFS G, et al. The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90(3): 400-408.
- [17] 张海波.碾磨度对稻米蒸煮品质和营养品质的影响[D].杭州:浙江大学,2015.
- [18] 郅文莉.微波对小米品质及其淀粉结构与性质的影响[D].天津:天津科技大学,2022.
- [19] 黄婷玉.焙烤食品组分与面筋质构的关系及应用[D].南昌:江西农业大学,2015.
- [20] 王彦平,申飞,李俊华,等.参薯藜麦酥性饼干工艺优化及体外消化特性研究[J].食品工业科技,2021,43(10):174-179.
- [21] 王鹏,程志强,祖亿,等.杂粮淀粉体外消化特性的分析[J].食品科技,2017,42(10):170-174.
- [22] 赵瑞华,张良,屈思瑞,等.陕北风味香菇小米低糖饼干的制作工艺[J].中国食用菌,2020,39(11):115-120.
- [23] 王箐,李梦琴,林顺顺,等.鹰嘴豆全麦粉酥性饼干研制及品质分析表征[J].食品安全质量检测学报,2022,13(10): 3352-3358.
- [24] 何静盈,李海玲,皮彩玉,等.海水稻米糠饼干生产工艺优化及其品质特性分析[J].粮食加工,2022,4(30):111-119.
- [25] SAI M R, HARIDAS R P. Effects of water on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits [J]. European Food Research and Technology, 1999, 209: 281-285.
- [26] 陆林.鹰嘴豆粉强化对饼干淀粉消化性与质构的影响及其机制[D].无锡:江南大学,2022.
- [27] 叶丹榕,彭小燕,蔡香珍,等.响应面法优化茉莉花茶风味茶油桃酥配方[J].热带农业科学,2020,40(7):95-101.
- [28] 田俊.豆渣桃酥的工艺配方研究[J].现代食品,2020,21:82-84.