

丘文聪, 杨芊芊, 黎诗丽, 等. 桑葚无糖天使蛋糕的制作工艺优化及质构性质分析 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(22): 198–204. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120259

QIU Wencong, YANG Qianqian, LI Shili, et al. Optimization of Production and Textural Properties Analysis of Mulberry Sugar-free Angel Cake[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(22): 198–204. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120259

· 工艺技术 ·

桑葚无糖天使蛋糕的制作工艺优化及 质构性质分析

丘文聪¹, 杨芊芊¹, 黎诗丽¹, 陈浩辉¹, 张学武², 赵晨焯^{1,*}

(1. 广州工商学院工学院, 广东广州 510850;

2. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510642)

摘要: 为拓宽桑葚的应用同时满足大众对新型焙烤食品的需求, 制作无糖低脂、低热量、无明显蛋腥味且适口的天使蛋糕, 本试验采用单因素和响应面试验研究桑葚果汁、木糖醇、蛋清和低筋面粉的添加量以及焙烤温度和时间对天使蛋糕感官品质和硬度的影响, 以优化制作工艺; 同时为考察桑葚果汁的添加对蛋糕质构性质的影响, 测定了相同储藏条件下桑葚无糖天使蛋糕与普通天使蛋糕的质构性质。结果表明: 蛋糕的最优制作工艺是: 低筋面粉 45 g, 桑葚果汁 33 g, 木糖醇 45 g, 蛋清 135 g, 塔塔粉 3 g, 柠檬汁 2 g, 牛奶 30 g, 焙烤温度为上火 165 ℃, 下火 150 ℃, 焙烤时间为 35 min, 在此条件下桑葚天使蛋糕的感官评分为 91.8 分。对蛋糕进行质构分析, 得出桑葚果汁的添加可显著降低蛋糕的硬度和咀嚼性 ($P < 0.05$), 持水性增强且口感更柔软, 结构紧实不松散。

关键词: 桑葚, 无糖, 天使蛋糕, 制作工艺, 质构性质

中图分类号: TS213.2*3

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2022)22-0198-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120259

本文网刊:



Optimization of Production and Textural Properties Analysis of Mulberry Sugar-free Angel Cake

QIU Wencong¹, YANG Qianqian¹, LI Shili¹, CHEN Haohui¹, ZHANG Xuwu², ZHAO Chenxuan^{1,*}

(1. School of Engineering, Guangzhou College of Technology and Business, Guangzhou 510850, China;

2. School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The experiment was conducted for developing a sugar-free, low-fat and low-calorie angel cake with no-eggy flavour and palatability, so as to broaden the application of mulberry and satisfy the public's demand for novel baked foods. Using single-factors and response surface experiments for optimization of the processing technology, the experiment focused on the effect of main ingredients on the sensory quality and hardness of angel cake, i.e. the amount of mulberry juice, xylitol, egg white and low gluten flour, as well as the baking temperature and time. The texture properties of mulberry sugar-free angel cake and ordinary angel cake were measured under the same storage conditions. The results showed that the optimal processing parameters were: Low gluten flour 45 g, mulberry juice 33 g, xylitol 45 g, egg white 135 g, cream of tarta 3 g, lemon juice 2 g and milk 30 g. The best baking conditions was that the surface fire was 165 ℃ and the primer fire was 150 ℃ with 35 min. Under these conditions, the sensory score of mulberry angel cake was 91.8. The experiments of the texture characteristics of the cakes showed that the addition of mulberry juice could reduce the hardness and chewiness of the cakes with better water holding capacity and softer texture, simultaneously, it could improve the cohesiveness and adhesion, so that the cakes had concentrated stoma and compact structure.

收稿日期: 2021-12-27

基金项目: 2020–2021 年校级大学生创新创业训练计划项目 (Xj202113714098); 2021 年省级大学生创新创业训练计划项目 (S202113714019); 广州工商学院校级科研项目 (KA202035)。

作者简介: 丘文聪 (1999–), 男, 本科, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: 2541894853@qq.com。

* 通信作者: 赵晨焯 (1994–), 女, 硕士, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: zcxsherry@yeah.net。

Key words: mulberry; sugar free; angel cake; production technology; texture properties

桑葚是桑科桑属类植物桑树的成熟果穗,属于“药食同源”的食物^[1],它含有丰富的营养物质及生理作用功能成分^[2-4],比如黄酮类、花色苷类、酚酸类、多糖类、白藜芦醇及其苷类物质等^[5-7],具有抗氧化、延缓肌体衰老^[8-9]、抗细胞突变、抗肿瘤、降血压、提高机体免疫力等作用^[10-11],且能润肠通便,缓解便秘,益于人类的胃肠道健康^[12],是开发功能性食品及药品的优质原料。我国的桑葚种植量居世界之首,种类繁多,主要栽培品种是鲁桑和白桑。近年来,山东、四川等地的果桑种植已规模化发展,四川省规模管理的果桑种植面积超过 20 万亩,占全国桑葚总产量的六成之多^[13-14],年产量达数万吨。桑葚果实易腐难贮藏,目前多被鲜食或制成果酒、饮料、果酱等产品^[15-16]。

低糖、低脂、低热量的新型焙烤食品近年来受到广泛关注^[17]。天使蛋糕是将蛋清搅打产生松软泡沫且不加入油脂的乳沫类蛋糕^[18],多被作为蛋糕胚。它具备低脂高蛋白、质地松软有弹性^[19]、组织细腻多孔、原材料简单、加工流程便捷快速等优点,但保质期短,口感单一,有明显蛋腥味^[20]。

在蛋糕中添加桑葚果汁,其中花色苷类是可食用天然色素,可赋予天使蛋糕独特的色泽^[2,21-22],同时桑葚果味可掩盖天使蛋糕的蛋腥味。采用木糖醇代替蔗糖,使蛋糕无糖、低热量。本研究通过单因素实验和响应面法对桑葚果汁、木糖醇、蛋清和低筋面粉的添加量以及焙烤温度和时间进行优化,并进行质构测定以分析桑葚果汁的添加对天使蛋糕品质的影响。这将为桑葚在新型焙烤食品中的应用提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大十桑葚 采摘于四川省凉山州德昌县;木糖醇 广州华糖食品有限公司;柠檬汁 上海乐芙娜食品科技有限公司;牛奶 内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司;塔塔粉 安琪酵母股份有限公司;鸡蛋、低筋面粉 市售。

K588 台式搅拌机 美国惠而浦公司;FB-818B 破壁机 广州杰冠西厨设备制造有限公司;ES200-2B 电子天平 沈阳亮衡天平仪器有限公司;Deckoven K01-0806D3FH 电烤箱 惠州高比烘焙设备有限公司;CT3 质构仪 美国 Brookfield 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 桑葚无糖天使蛋糕的基础配方和焙烤条件 低筋面粉 50 g,桑葚果汁 38 g,木糖醇 50 g,蛋清 188 g,塔塔粉 3 g、柠檬汁 2 g,牛奶 30 g。焙烤温度和时间分别为 165/150 ℃ 和 35 min。

1.2.2 桑葚果汁的制备 将清洗干净的桑葚果实(桑葚果实与水的质量比 1:3)放入器皿中,加热至沸腾

保持 2 min,冷却至常温。之后过滤取汁,用 0.1% 柠檬酸水溶液进行护色处理,10 min 后在 4 ℃ 下贮藏^[4]。

1.2.3 桑葚无糖天使蛋糕的制作工艺 将鸡蛋的卵黄部分去除,取蛋清备用。之后将塔塔粉、柠檬汁与蛋清混合搅打,分三次加入木糖醇,打至蛋白干性发泡,即为蛋白糊。接下来制备桑葚果汁蛋糕糊,将桑葚果汁、过筛后的低筋面粉与牛奶均匀混合后,倒入预先制备的蛋白糊中,用切拌的手法将面糊和蛋白糊拌匀^[23]。随后将桑葚果汁蛋糕糊装入蛋糕模具,轻振模具排气后进行焙烤。焙烤结束后震模,排出蛋糕烤制过程中产生的气体,倒扣冷却 30 min,防止收缩^[24-25]。

1.2.4 单因素实验设计 探究桑葚果汁、木糖醇、蛋清和低筋面粉的添加量以及焙烤温度和时间对蛋糕的感官指标与硬度的影响,各因素梯度设置如下,桑葚果汁的添加量为 13.0、23.0、33.0、43.0、53.0 g;木糖醇的添加量为 30.0、35.0、40.0、45.0、50.0 g;蛋清的添加量 120.0、135.0、150.0、165.0、180.0 g;低筋面粉的添加量为 30.0、35.0、40.0、45.0、50.0 g;焙烤上火与下火温度为 135/150、150/150、165/150、180/150、195/150 ℃;焙烤时间为 25、30、35、40、45 min。上述各因素在试验时,其他因素依据 1.2.1 的基础配方和焙烤条件保持不变。

1.2.5 响应面试验设计 根据单因素实验的结果,选取桑葚果汁添加量(A)、木糖醇添加量(B)、蛋清添加量(C)、低筋面粉添加量(D)为影响因素并确定取值范围。以感官评分为感应值(Y),按照 Central Composite 法进行响应面试验设计以优化蛋糕的制作工艺。根据 Central Composite 的中心组合设计原理,在单因素实验结果的基础上,用 Design-Expert 软件设计 4 因素 3 水平试验方案。响应值 Y 为桑葚天使蛋糕的感官评分。响应面试验因素与水平见表 1。

表 1 响应面试验因素水平设计
Table 1 Levels and factors of response surface experiment

水平	因素			
	A桑葚果汁添加量(g)	B木糖醇添加量(g)	C蛋清添加量(g)	D低筋面粉添加量(g)
-1	30	40	120	40
0	33	45	135	45
1	36	50	150	50

1.2.6 感官评定标准 10 位经过专业训练的感官评定人员对桑葚无糖天使蛋糕品质进行感官评定(表 2)。感官评分标准依据 GB/T 31059-2014《裱花蛋糕》,蛋糕样品用随机数表进行编号^[25]。

1.2.7 质构性质的测定 使用质构仪测定室温下不同贮藏时间内桑葚无糖天使蛋糕(MAC)与普通天使

表2 蛋糕感官评定标准

Table 2 Standard table of cake sensory score

项目	标准	分值(分)
外观形态	蛋糕外形整齐、无焦糊、内部气孔小且均匀、组织无硬块	15~20
	蛋糕表面不平整、塌陷明显、无焦糊、内部气孔均匀、组织无硬块	8~14
	蛋糕表面残缺不齐、焦糊、塌陷明显、多气泡、内部孔隙大且不均匀、组织有硬块	1~7
色泽	蛋糕表面呈现均匀的紫色	15~20
	蛋糕表面呈浅紫色、深浅不一	8~14
	蛋糕表面颜色不均、颜色异常	1~7
香味	具有蛋糕的香味和桑葚的香气,无腥味、焦糊味及其它异味	15~20
	具有淡淡的桑葚香气,无明显腥味及其它异味	8~14
	无桑葚香气,有腥味、焦糊味或其它异味	1~7
酸甜度	酸甜适宜	15~20
	偏酸或偏甜,甜度或酸度不够	8~14
	过酸或过甜	1~7
松软度	蛋糕柔软、富有弹性、不粘牙	15~20
	蛋糕弹性不足,口感稍显潮湿	8~14
	蛋糕紧实、无弹性、粘牙、口感松散发干	1~7

蛋糕(OAC)的硬度、咀嚼性、胶着性和内聚性。探头型号为 TA10, 采用 TPA 模式, 触发点负载 5 g, 测试速度 0.50 mm/s。

1.3 数据处理

文章中数据均取 3 次平行试验的平均值, 使用 SPSS 17.0 软件进行方差分析, 运用 Excel 2016 软件进行数据处理和绘制图表, 采用 Design-Expert 12 软件进行响应面试验设计并建立回归方程, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 桑葚果汁添加量对桑葚无糖天使蛋糕品质的影响 桑葚果汁的添加量为 13.0、23.0、33.0、43.0、53.0 g, 配方中其它配料比例不变。桑葚果汁添加量过多, 使面糊中水分含量较高, 焙烤过程中蛋糕体积膨胀过大, 待冷却后蒸汽冷凝成水而使蛋糕内部水分含量过多, 易导致蛋糕成品表面凹陷, 内里湿润, 口感偏酸且粘牙, 蜂窝状气孔较少, 同时也会使蛋糕颜色加深, 影响产品外观; 而桑葚果汁添加量过少会使蛋糕的颜色浅淡, 缺乏桑葚果风味且蛋腥味明显。从实验数据中可得, 随着桑葚果汁添加量的增加, 蛋糕的感官评分和硬度都是先上升后下降^[26]。当桑葚果汁添加量为 23.0 和 33.0 g 时, 蛋糕的硬度最大(图 1), 因蛋糕的硬度直接影响其咀嚼性、内聚性和胶着性, 为使产品软弹易咀嚼且色泽适宜, 结合感官评分, 选取桑葚果汁的最适添加量为 33.0 g。

2.1.2 焙烤温度对桑葚无糖天使蛋糕品质的影响

焙烤温度影响蛋糕的外观形态及松软度, 焙烤温度过高, 蛋糕表面易形成保护膜, 表面焦糊、内里湿润、粘牙; 若焙烤温度过低, 蛋糕易出现烤制不熟、表面黏

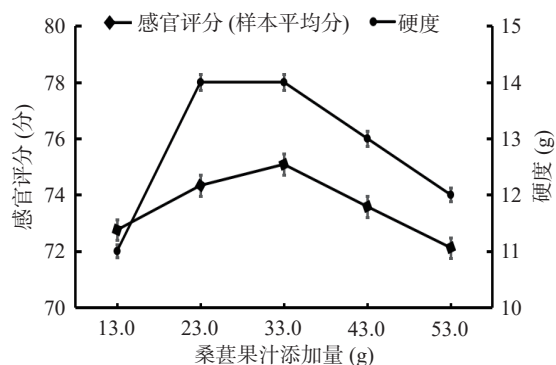


图1 桑葚果汁添加量对蛋糕品质的影响

Fig.1 Effect of the addition of mulberry juice on the quality of the cakes

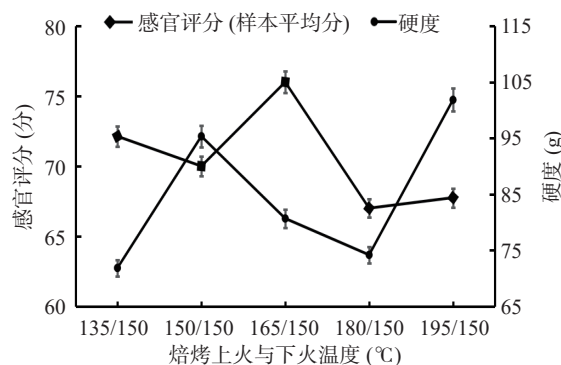


图2 焙烤温度对蛋糕品质的影响

Fig.2 Influence of baking temperature on the quality of the cakes

手的现象, 且需较长的焙烤时间^[20]。当焙烤温度处于上火 165 °C、下火 150 °C 时, 感官评分最高, 硬度适中且松软适宜、不粘手、外观形态完整(图 2), 由此确定为最优焙烤温度。

2.1.3 低筋面粉添加量对桑葚无糖天使蛋糕品质的影响 低筋面粉的添加量对桑葚无糖天使蛋糕感官和硬度的影响见图 3。低筋面粉添加量较少时, 天使蛋糕的外形塌陷、体积较小、口感湿润且弹性较差。但低筋面粉的过量添加会导致蛋糕紧实、口感发干、颜色泛白。试验得到低筋面粉添加量为 45.0 g 和 50.0 g 时, 感官评分相近, 但蛋糕硬度呈明显上升趋势

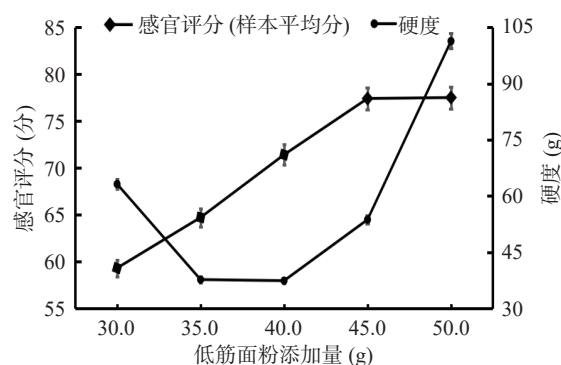


图3 低筋面粉添加量对蛋糕品质的影响

Fig.3 Effect of the addition of low-gluten powder on the quality of the cakes

势。为降低蛋糕硬度, 具有绵软口感, 故选择低筋面粉最优添加量为 45.0 g。

2.1.4 焙烤时间对桑葚无糖天使蛋糕品质的影响

焙烤时间的长短会影响蛋糕的外观形态。若焙烤时间过长, 蛋糕表面焦糊、起屑、整体口感发干; 若焙烤时间过短, 蛋糕粘牙、口感潮湿。由图 4 可知, 当焙烤时间为 35 min 时, 蛋糕的感官评分最高, 硬度适中。结合松软度、颜色外观形态等因素综合考虑, 选取焙烤时间 35 min 为最佳焙烤时间。

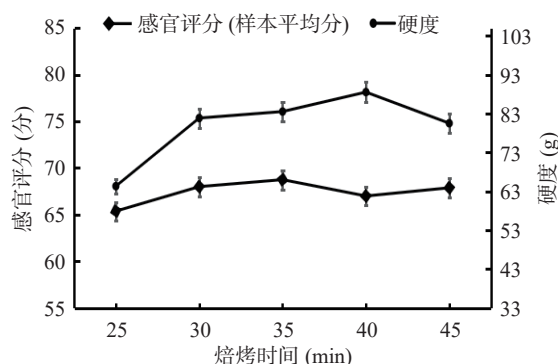


图 4 不同焙烤时间对蛋糕品质的影响

Fig.4 Influence of different baking times on the quality of the cakes

2.1.5 木糖醇添加量对桑葚无糖天使蛋糕品质的影响

采用木糖醇替代蔗糖以制备低糖低热量食品, 同时木糖醇的添加也会影响蛋糕的制作工艺, 它能减缓面筋形成速度, 削弱淀粉的凝胶作用, 以增加蛋糕柔软细腻的口感^[27]。木糖醇添加量过多, 蛋糕甜度过高、整体口感单一, 桑葚本身的清香被掩盖, 口感发涩; 木糖醇添加量过少, 蛋糕口感不佳, 甜味过淡, 感官评分下降。由图 5 可知, 将木糖醇以 30.0、35.0、40.0、45.0、50.0 g 的比例进行添加, 木糖醇添加量为 45.0 g 时, 感官评分最高, 硬度最小, 故将其确定为最适木糖醇添加量。

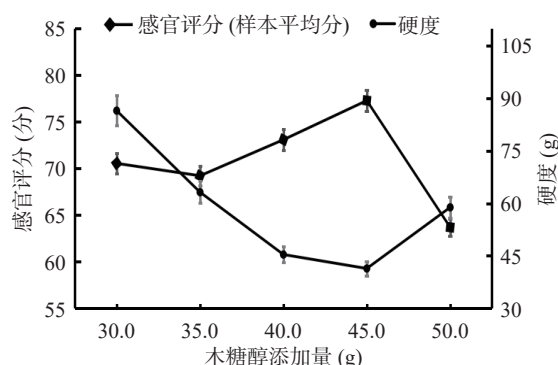


图 5 木糖醇添加量对蛋糕品质的影响

Fig.5 Influence of the addition of xylitol on the quality of the cakes

2.1.6 蛋清添加量对桑葚无糖天使蛋糕品质的影响

不同添加量的蛋清对蛋糕感官评分和硬度的影响见图 6。天使蛋糕的制作需大量蛋清液以制备蛋白糊, 添加量过多, 蛋糕的蛋腥味明显; 蛋清含量偏少,

则蛋白糊中无法包裹大量空气, 进而使蛋糕体积变小, 易塌陷。当蛋清添加量为 135.0 g 时, 感官评分最高, 硬度适中, 蛋糕呈现松软质地, 所以蛋清最佳添加量为 135.0 g。

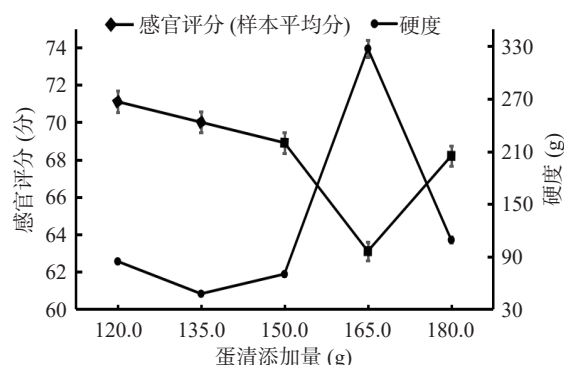


图 6 蛋清添加量对蛋糕品质影响

Fig.6 Effect of the addition of egg white on the quality of the cakes

2.2 响应面试验结果

根据设计的试验方案, 以桑葚果汁添加量(A)、木糖醇添加量(B)、蛋清添加量(C)、低筋面粉添加量(D)为响应面分析试验因素, 总计 31 次试验。试验中存在的误差由中心点重复 5 次试验估计所得。响应面试验利用 Design-Expert 12 软件的中心组合设计原理, 以感官评分(Y)为响应值, 研究感官评分与各个试验因素的关系, 建立回归方程式, 具体响应数据结果见表 3。

采用 Design-Expert 软件对表 3 中试验数据进行多元回归拟合, 获得桑葚无糖天使蛋糕感官评分对自变量桑葚果汁的添加量(A)、木糖醇添加量(B)、蛋清添加量(C)、低筋面粉添加量(D)的二元多项回归方程为 $Y=87.79+1.72A+1.32B-0.44C+0.12D+0.27AB+0.05AC-0.56AD+0.01BC-0.89BD-0.27CD-3.37A^2-1.25B^2-1.258C^2-2.41D^2$ 。为检验方程的有效性, 对数据进行方差分析, 结果见表 4。

从表 4 中可以看出模型的 $P<0.0001$, 说明该模型达到了高度显著的水平, 而 $R^2=0.8945$, $R^2_{Adj}=0.7960$, 模型能够清楚反映响应值变化。失拟项 $P=0.0556$ ($P>0.05$) 不显著, 表示模型预测结果良好, 可预测桑葚无糖天使蛋糕的最佳配方。模型中一次项 A 值 <0.01 、B 值 <0.05 , 说明桑葚果汁、木糖醇这两者的添加量对产品品质影响较大。F 值的大小代表各因素对蛋糕感官评分影响的强弱, F 值越大, 对响应指标影响越大^[28], 因此各因素对桑葚无糖天使蛋糕感官评分的影响程度依次为桑葚果汁的添加量(A)>木糖醇添加量(B)>蛋清添加量(C)>低筋面粉添加量(D)。

在响应面得到的最佳配方基础上对桑葚无糖天使蛋糕的最优制作工艺进行验证, 即低筋面粉 45 g, 桑葚果汁 33 g, 木糖醇 45 g, 蛋清 135 g, 塔塔粉 3 g、柠檬汁 2 g, 牛奶 30 g, 焙烤温度为上火 165 ℃, 下火 150 ℃, 焙烤时间为 35 min, 得到桑葚天使蛋糕的

表 3 响应面试验结果

Table 3 Results of response surface methodology

实验号	A桑葚果汁 添加量(g)	B木糖醇 添加量(g)	C蛋清 添加量(g)	D低筋面粉 添加量(g)	感官 评分(分)
1	33	45	135	45	88.33
2	36	40	150	50	74.25
3	30	40	150	50	72.25
4	33	45	105	45	85.50
5	30	50	150	40	75.75
6	36	50	120	40	75.75
7	36	40	120	40	76.67
8	33	45	135	45	88.17
9	30	50	120	50	76.75
10	36	40	150	40	75.00
11	27	45	135	45	73.75
12	33	45	135	45	88.00
13	33	45	135	55	79.75
14	36	50	150	50	79.75
15	30	40	120	40	74.25
16	30	50	150	50	73.25
17	33	45	135	35	80.50
18	33	45	135	45	87.75
19	30	40	150	40	70.25
20	36	40	120	50	74.50
21	30	40	120	50	70.25
22	33	45	165	45	84.00
23	33	55	135	45	72.25
24	36	50	120	50	84.00
25	39	45	135	45	78.83
26	36	50	150	40	78.50
27	30	50	120	40	74.44
28	33	35	135	45	71.75
29	33	45	135	45	89.50
30	33	45	135	45	85.00
31	33	45	135	45	88.33

感官评分为 91.8 分,高于所有响应面实验组中所得最高评分,且蛋糕具有桑葚风味,无明显蛋腥味,口感轻甜,完整饱满,整体呈淡紫色且内部呈细密蜂窝状。

2.3 质构特性分析

采用质构仪的 TPA 模式测定贮藏期间普通天使蛋糕(OAC)和桑葚无糖天使蛋糕(MAC)的质构性质,实验结果见表 5。硬度是指第一次加压直至蛋糕发生形变所需要的力^[29]。随着贮藏时间的延长,普通天使蛋糕和桑葚无糖天使蛋糕的硬度均呈上升趋势。但桑葚无糖天使蛋糕的硬度显著低于普通天使蛋糕($P<0.05$),这说明桑葚果汁的添加使蛋糕含水量增加,贮藏期间产品有较强持水性,口感柔软,硬度降低。咀嚼值越大,产品口感越差^[30]。在贮藏期内,两

表 4 回归方程的方差分析

Table 4 Analysis of variance for regression equation model

变异来源	总和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	946.2	14	67.59	9.08	<0.0001	**
A	71.38	1	71.38	9.59	0.0074	**
B	42.06	1	42.06	5.65	0.0312	*
C	4.69	1	4.69	0.6303	0.4396	
D	0.348	1	0.348	0.0468	0.8317	
AB	1.2	1	1.2	0.1619	0.6931	
AC	0.0371	1	0.0371	0.005	0.9447	
AD	4.81	1	4.81	0.646	0.4341	
BC	0.0033	1	0.0033	0.0004	0.9835	
BD	12.66	1	12.66	1.7	0.2118	
CD	1.2	1	1.2	0.1619	0.6931	
A ²	310.68	1	310.68	41.75	<0.0001	**
B ²	540.23	1	540.23	72.6	<0.0001	**
C ²	42.89	1	42.89	5.76	0.0298	
D ²	158.88	1	158.88	21.35	0.0003	**
残差	111.62	15	7.44			
失拟项	100.43	10	10.04	4.49	0.0556	
净误差	11.19	5	2.24			
总离差	1057.81	29				

注:“**”为差异极显著($P<0.01$);“*”为差异显著($0.01<P<0.05$)。

种蛋糕的咀嚼性均增大,但桑葚无糖天使蛋糕的咀嚼度始终显著低于普通蛋糕($P<0.05$),说明桑葚果汁的添加可优化蛋糕的咀嚼性。而两种蛋糕的内聚性和胶着性无显著性差异($P>0.05$),可得出本实验中提取所得桑葚果汁中的多糖浓度较低,未能显著提高蛋糕粘性和内部结合力。

3 结论

本研究通过单因素实验和响应面法得出桑葚无糖天使蛋糕的最优制作工艺,得出最优制作工艺是:低筋面粉 45 g,桑葚果汁 33 g,木糖醇 45 g,蛋清 135 g,塔塔粉 3 g、柠檬汁 2 g,牛奶 30 g,焙烤温度为上火 165 ℃,下火 150 ℃,焙烤时间为 35 min,此时天使蛋糕感官评分为 91.8 分。按此工艺制得的蛋糕口感轻甜,富有弹性,具有桑葚风味,整体呈淡紫色且内部呈细密蜂窝状。因添加桑葚果汁,蛋糕持水性增强,硬度和咀嚼性显著降低,口感更加柔软。该产品无糖、低脂、低热量,含有丰富蛋白质,拥有桑葚独特的果香味和色泽,在贮藏期间可保持较好的质构特性,这为开发新型焙烤食品提供研究基础,同时也体现了桑葚可作为焙烤食品用香料、色素及营养强化剂的天然原料来源。

表 5 不同贮藏时间下普通天使蛋糕和桑葚无糖天使蛋糕的质构性质

Table 5 Texture characteristics of ordinary angel cakes and mulberry sugar-free angel cakes at different storage time

贮藏时间(h)	硬度(g)		内聚性		胶着性(g)		咀嚼性(mJ)	
	OAC	MAC	OAC	MAC	OAC	MAC	OAC	MAC
1	30.10±0.02 ^a	30.86±0.04 ^b	0.85±0.07 ^a	0.81±0.04 ^a	20.20±0.02 ^a	25.90±0.03 ^a	1.10±0.01 ^a	1.06±0.08 ^b
24	42.00±0.06 ^a	35.83±0.13 ^b	0.85±0.15 ^a	0.88±0.12 ^a	35.56±0.14 ^a	30.00±0.16 ^a	1.52±0.04 ^a	1.28±0.03 ^b
72	48.08±0.05 ^a	38.53±0.12 ^b	0.81±0.01 ^a	0.82±0.05 ^a	40.89±0.07 ^a	32.22±0.10 ^a	1.69±0.03 ^a	1.30±0.01 ^b
120	47.02±0.12 ^a	42.89±0.01 ^b	0.84±0.02 ^a	0.83±0.03 ^a	40.72±0.04 ^a	35.50±0.08 ^a	1.76±0.11 ^a	1.53±0.14 ^b

注:同行不同肩标小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

参考文献

- [1] 王艳萍. 桑葚功能成分及其开发利用研究进展[J]. 食品安全导刊, 2021(33): 108-110. [WANG Yanping. Research progress of functional components and development and utilization of mulberry[J]. China Food Safety Magazine, 2021(33): 108-110.]
- [2] MENA P, SANCHEZ-SALCEDO E M, TASSOTTI M, et al. Phytochemical evaluation of eight white (*Morus alba* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry clones grown in Spain based on UHPLC-ESI-MSn metabolomic profiles[J]. Food Research International, 2016, 89: 1116-1122.
- [3] YILMAZ S, UCAR A, GÖKTAŞ B. Genotoxic and genoprotective potential of black mulberry (*Morus nigra*) fruit[J]. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 2019: 91.
- [4] 王储炎, 范涛, 桂仲争, 等. 桑椹食品的开发探讨[J]. 食品工业, 2011, 32(3): 95-98. [WANG Chuyan, FAN Tao, GUI Zhongzheng, et al. Research on the development of mulberry food[J]. Food Industry, 2011, 32(3): 95-98.]
- [5] HUANG H P, CHANG Y C, WU C H, et al. Anthocyanin-rich mulberry extract inhibit the gastric cancer cell growth *in vitro* and xenograft mice by inducing signals of p38/p53 and c-jun[J]. Food Chemistry, 2011, 129(4): 1703-1709.
- [6] YAN F, DAI G, ZHENG X. Mulberry anthocyanin extract ameliorates insulin resistance by regulating PI3K/AKT pathway in HepG2 cells and db/db mice[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2016, 36: 68-80.
- [7] 刘莹, 覃骊兰, 蓝毓营. 桑葚化学成分、药理作用及质量标志物研究进展[J]. 重庆医学, 2021, 50(6): 1063-1067. [LIU Ying, QIN Lilan, LAN Yuying. Research progress on chemical constituents, pharmacological effects and quality markers of mulberry[J]. Chongqing Medical Journal, 2021, 50(6): 1063-1067.]
- [8] 曹培杰, 马艳弘, 崔晋, 等. 桑葚浓缩汁的制备工艺优化及其抗氧化活性[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(17): 204-209. [CAO Peijie, MA Yanhong, CUI Jin, et al. Preparation technology and antioxidant activity of concentrated mulberry juice[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(17): 204-209.]
- [9] SHIH P H, CHAN Y C, LIAO J W, et al. Antioxidant and cognitive promotion effects of anthocyanin-rich mulberry (*Morus atropurpurea* L.) on senescence-accelerated mice and prevention of Alzheimer's disease[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2010, 21(7): 598-605.
- [10] RAMAN S T, GANEAN A K G, CHEN C, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant activity of flavonoid extracted from mulberry fruit (*Morus alba* L.)[J]. Pharmacognosy Magazine, 2016, 12(46): 128.
- [11] OCHIISHI T, KAKU M, KAJSONGKRAM T, et al. Mulberry fruit extract alleviates the intracellular amyloid - β oligomer - induced cognitive disturbance and oxidative stress in Alzheimer's disease model mice[J]. Genes to Cells, 2021, 26(11): 861-873.
- [12] HU T G, WEN P, FU H Z, et al. Protective effect of mulberry (*Morus atropurpurea*) fruit against diphenoxylate-induced constipation in mice through the modulation of gut microbiota[J]. Food & Function, 2019, 10(3): 1513-1528.
- [13] 周劲松, 曲都, 胡澜, 等. 四川省果桑与桑葚果酒产业调研报告(1)—四川省果桑发展状况[J]. 经济师, 2020(7): 125-127. [ZHOU Jinsong, QU Du, HU Lan, et al. Research report on fruit mulberry and mulberry fruit wine industry in Sichuan province (1)—The development of fruit mulberry in Sichuan Province[J]. Economist, 2020(7): 125-127.]
- [14] 张志强, 杨清香, 孙来华. 桑葚的开发及利用现状[J]. 中国食品添加剂, 2009(4): 65-68. [ZHANG Zhiqiang, YANG Qingxiang, SUN Laihua. Development and utilization status of mulberry[J]. China Food Additives, 2009(4): 65-68.]
- [15] 孙乐, 张小东, 郭迎迎. 桑葚的化学成分和药理作用研究进展[J]. 人参研究, 2016, 28(2): 49-54. [SUN Le, ZHANG Xiaodong, GUO Yingying. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of mulberry[J]. Ginseng Research, 2016, 28(2): 49-54.]
- [16] 刘玮, 陈亮, 吴志明, 等. 3 种不同产地桑葚籽油的脂肪酸成分分析[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(20): 13-16. [LIU Wei, CHEN Liang, WU Zhiming, et al. Fatty acid composition analysis of three mulberry seed oils from different origins[J]. Food Research and Development, 2015, 36(20): 13-16.]
- [17] 徐微, 张丝瑶, 贾健辉, 等. 我国焙烤食品的现状与发展趋势[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(7): 7-9. [XU Wei, ZHANG Siyao, JIA Jianhui, et al. Current situation and development trend of baked food in China[J]. Grain and Oil, 2020, 33(7): 7-9.]
- [18] 黄益前, 苏扬. 豆浆天使蛋糕的工艺优化[J]. 粮油食品科技, 2014, 22(1): 32-34. [HUANG Yiqian, SU Yang. Process optimization of soybean milk angel cake[J]. Grain, Oil and Food Technology, 2014, 22(1): 32-34.]
- [19] 何清波. 低糖香草天使蛋糕生产工艺条件优化[J]. 农业工程, 2018, 8(5): 69-73. [HE Qingbo. Optimization of production process conditions of low sugar vanilla angel cake[J]. Agricultural Engineering, 2018, 8(5): 69-73.]
- [20] 王兆燃. 高纤低糖小米蛋糕关键技术及其储藏期的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2019. [WANG Zhaoran. Study on key technology and storage period of high fiber and low sugar millet cake[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2019.]
- [21] CHENG J R, LIU X M, ZHANG W, et al. Stability of phenolic compounds and antioxidant capacity of concentrated mulberry juice-enriched dried-minced pork slices during preparation and storage[J]. Food Control, 2018, 89: 187-195.
- [22] 田林双, 吴存兵, 吴君艳, 等. 响应面法优化淮山药荞麦蛋糕的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(23): 88-94. [TIAN Linshuang, WU Cunbing, WU Junyan, et al. The response surface method optimization yam medicine buckwheat cake technology was studied[J]. Food Research and Development, 2017, 38(23): 88-94.]
- [23] 唐长波, 刘臣. 桑葚营养蛋糕的研制[J]. 食品科技, 2011, 36(3): 138-141, 145. [TANG Changbo, LIU Chen. Development of mulberry nutritious cake[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(3): 138-141, 145.]
- [24] 刘兆芳, 李曦昊, 孔繁东. 橘皮粉蛋糕的制作及其质构特性[J]. 大连工业大学学报, 2015, 34(3): 167-171. [LIU Zhaofang, LI Xihao, KONG Fandong. Preparation and texture characteristics of

orange peel cake[J]. *Journal of Dalian University of Technology*, 2015, 34(3): 167-171.]

[25] 王凤, 陈诚, 杨紫璇, 等. 不同乳化剂在中日两国面粉重油蛋糕面糊体系中的比较研究[J]. *食品与机械*, 2017, 33(1): 1-6.

[WANG Feng, CHEN Cheng, YANG Zixuan, et al. Comparative study of different emulsifiers in flour and heavy oil cake batter systems between China and Japan[J]. *Food and Machinery*, 2017, 33(1): 1-6.]

[26] 渠雪娜, 陈为凤, 刘晓宇, 等. 高纤维玉米蛋糕蒸制加工的研究[J]. *食品工业*, 2017, 38(1): 57-60. [QU Xuena, CHEN Weifeng, LIU Xiaoyu, et al. Research on high fiber corn cake steaming and processing[J]. *Food Industry*, 2017, 38(1): 57-60.]

[27] KIM J N, PARK S, SHIN W S. Textural and sensory characteristics of rice chiffon cake formulated with sugar alcohols instead of sucrose[J]. *Journal of Food Quality*, 2014, 37(4): 281-290.

[28] 温纪平, 王大一, 卞科. 响应面法优化酵母老面馒头生产工

艺研究[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(3): 118-123. [WEN Jiping, WANG Dai, BIAN Ke. Optimization of fermentation technology for steamed bread by response surface methodology[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Society*, 2017, 32(3): 118-123.]

[29] 杜佳阳, 贾先勇, 周大宇, 等. 糙米-大豆复配粉面团特性研究及其对蛋糕品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(14): 119-124. [DU Jiayang, JIA Xianyong, ZHOU Dayu, et al. Study on characteristics of brown rice soybean flour dough and its effect on cake quality[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(14): 119-124.]

[30] 田海娟, 覃明月, 陈亦婷, 等. 发酵紫苏粉对蛋糕物性特征的影响[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(10): 126-128, 152. [TIAN Haijuan, QIN Mingyue, CHEN Yiting, et al. Effect of fermented perilla powder on physical properties of cake[J]. *Grain and Oil*, 2021, 34(10): 126-128, 152.]