

田洁, 孙瑞琳, 李俊华, 等. 马铃薯绿茶无糖戚风蛋糕的研制 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(14): 155-162. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090024

TIAN Jie, SUN Ruilin, LI Junhua, et al. Preparation of Potato Green Tea Sugar-free Chiffon Cake[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(14): 155-162. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090024

· 工艺技术 ·

马铃薯绿茶无糖戚风蛋糕的研制

田 洁, 孙瑞琳, 李俊华, 钱志伟*

(河南农业职业学院食品工程学院, 河南郑州 451450)

摘 要:以马铃薯粉、绿茶粉为主要原料, 制备出一种无糖戚风蛋糕。以蛋糕的质构特性、比容和感官评价为指标, 考察了马铃薯粉、绿茶粉、木糖醇添加量对戚风蛋糕品质的影响。通过正交试验确定马铃薯绿茶无糖蛋糕的最佳工艺配方为: 马铃薯粉添加量 20%, 绿茶粉添加量 6%, 蛋清添加量 230%, 木糖醇添加量 70%。该戚风蛋糕外形完整、色泽淡绿、甜而不腻、清香细腻。与传统戚风蛋糕相比, 总糖低 (6.03%), 粗纤维 (7.89%) 含量高, 且具有抗氧化性 (抗氧化能力 0.0560 mmol/g)。

关键词:马铃薯粉, 绿茶粉, 木糖醇, 戚风蛋糕, 品质, 抗氧化力

中图分类号: TS213.2⁺3

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2022)14-0155-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090024



本文网刊:

Preparation of Potato Green Tea Sugar-free Chiffon Cake

TIAN Jie, SUN Ruilin, LI Junhua, QIAN Zhiwei*

(Henan Vocational College of Agriculture, Zhengzhou 451450, China)

Abstract: The potato green tea sugar-free chiffon cake was made by using potato flour and green tea flour instead of some low gluten flour, and using xylitol instead of sugar in traditional chiffon cake. With texture characteristics, specific volumes and sensory evaluation as evaluation indexes, the optimal formula was determined by single factors and orthogonal tests: 20% potato powder, 6% green tea powder, 230% egg white and 70% xylitol. The potato green tea sugar-free chiffon cake was light green color, sweet and not greasy, rich in flavor. Compared with traditional chiffon cakes, the total sugar content was low (6.03%) and the content of crude fiber was high (7.89%). It also had some oxidation resistance (antioxidant capacity 0.0560 mmol/g).

Key words: potato powder; green tea powder; xylitol; chiffon cake; quality; oxidation resistance

马铃薯是全球第四大重要的粮食作物, 仅次于小麦、稻谷和玉米^[1]。在 2010 年马铃薯的世界产量已经达到了 3.2×10^8 吨^[2]。我国是世界第一产量大国, 2020 年我国马铃薯鲜薯产量达到了 1 亿吨^[3]。马铃薯块茎含有大量的淀粉, 能为人体提供丰富的热量, 且其营养成分丰富而齐全, 其丰富的维生素 C 含量远远超过粮食作物, 其蛋白质、糖类含量又远超一般蔬菜^[4-6]。绿茶在我国已有上千年的历史, 富含茶多酚、儿茶素、叶绿素、咖啡碱、氨基酸、维生素等营养成分^[7-9]。绿茶中的茶多酚、儿茶素具有抗氧化、延缓衰老、降血脂和降血糖等功能^[10-11]。木糖醇的

甜度几乎和蔗糖一样, 但与蔗糖相比, 它的能量值更低, 且其本身就是人体正常糖类代谢的中间体, 使用安全性高, 广泛应用于食品加工中^[12]。糖尿病是由于体内糖类物质等代谢紊乱造成的, 众多糖尿病患者的饮食需求受到限制, 特别是喜爱甜食的患者选择范围更小, 木糖醇的代谢与胰岛素无关, 因此开发低糖、低脂、清淡和营养平衡的产品显得尤为重要。

蛋糕因其松软的口感和良好的风味^[13], 在世界范围内都深受消费者的喜爱^[14-16], 尤其是常见的戚风蛋糕。戚风蛋糕是乳沫类和面糊类蛋糕改良综合而成的, 制作时蛋白、蛋黄需分开, 分别打发, 最后混

收稿日期: 2021-09-03

基金项目: 2019 年度河南农业职业学院科研项目 (HNACKY-2019-02); 2019 年度河南农业职业学院科研项目 (HNACKY-2019-05); 2019 年度河南农业职业学院科研创新团队项目 (HNACKT-2019-02)。

作者简介: 田洁 (1979-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 食品加工, E-mail: 2006110129@hnca.edu.cn。

* 通信作者: 钱志伟 (1969-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 功能性食品, E-mail: qianzhiwei@hnca.edu.cn。

匀。戚风蛋糕组织最为蓬松,水分多而味道清淡不腻。马铃薯粉的高膳食纤维、低脂肪、富钾元素特性及绿茶粉中茶多酚的抗氧化特性等相关研究较多,应用也比较广泛,但在木糖醇戚风蛋糕中同时添加马铃薯粉和绿茶粉,赋予蛋糕均衡的营养价值及功能特性的工艺优化研究还未见报道。

本文是在戚风蛋糕传统工艺的基础上,用木糖醇取代白砂糖,添加马铃薯粉和绿茶粉进行工艺优化,以期获得营养价值高、保健功能强,且口感上更为细腻,香气更为宜人的无糖蛋糕,为新型戚风蛋糕的开发提供依据。

1 材料与方法

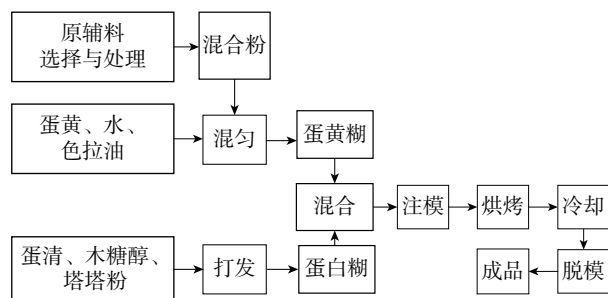
1.1 材料与仪器

糕点粉 青岛星华粮油食品有限公司;马铃薯粉、新鲜鸡蛋、纯净水 市售;绿茶粉 自制;木糖醇 南京甘汁园糖业有限公司;色拉油 河南爱厨植物油有限公司;泡打粉 安琪酵母股份有限公司;塔塔粉 广州焙乐道食品有限公司。

YP502 电子天平 上海柯祁仪器设备有限公司;UV-2350 紫外可见分光光度计 北京同德创业科技有限公司;JM-7LT 型搅拌机 珠海三麦机械有限公司;SM2-521 远红外线烤箱 新麦机械有限公司;TMS-PRO 型质构仪 美国 FTC 公司;JMTY 型面包体积测定仪 杭州大成光电仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 戚风蛋糕的制作流程及操作要点



1.2.1.1 原料粉的制备 将糕点粉、马铃薯粉和泡打粉过 100 目筛后备用,选取优质绿茶在粉碎机中粉碎后,过 100 目筛,备用。

1.2.1.2 蛋黄糊制作 将纯净水和色拉油搅拌充分混合后,再加入蛋黄,搅拌均匀,最后加入混合好的原料粉(糕点粉、马铃薯粉、绿茶粉和泡打粉的混合物),搅拌均匀,即为蛋黄糊。

1.2.1.3 蛋白糊制作 将蛋清、木糖醇、塔塔粉一起放入搅拌缸中,先慢速搅拌均匀木糖醇完全融化,再快速搅拌至干性发泡期,即为蛋白糊。

1.2.1.4 混合 先取 1/3 的蛋白糊加入蛋黄糊中,由下至上翻拌均匀后,再加入剩下的 2/3 的蛋白糊中,翻拌均匀,即为蛋糕糊。

1.2.1.5 注模 将制作好的蛋糕糊注入戚风蛋糕模具中,七至八成满即可。

1.2.1.6 烘烤 将已注模的蛋糕糊放置于已预热的面火 180 ℃,底火 165 ℃ 烤箱中,烘烤 50 min。

1.2.1.7 脱模 将已烤熟还在模具中的蛋糕从烘箱中取出,倒置在凉架上冷却。冷却 1 h 后脱模即为成品。

1.2.2 单因素实验

1.2.2.1 马铃薯粉添加量对蛋糕品质的影响 分别按照糕点粉质量的 10%、15%、20%、25%、30%、35% 添加马铃薯粉后混匀,再分别加入糕点粉质量 6% 的绿茶粉、210% 的蛋清、80% 的木糖醇、1% 的泡打粉后,按照工艺流程制作戚风蛋糕,考察马铃薯粉添加量对蛋糕质构特性、感官评分和比容的影响。

1.2.2.2 绿茶粉添加量对蛋糕品质的影响 分别按照糕点粉质量的 2%、4%、6%、8%、10% 添加绿茶粉后混匀,再分别加入糕点粉质量 20% 的马铃薯、210% 的蛋清、80% 的木糖醇、1% 的泡打粉后,按照工艺流程制作戚风蛋糕,考察绿茶粉添加量对蛋糕质构特性、感官评分和比容的影响。

1.2.2.3 蛋清添加量对蛋糕品质的影响 按照糕点粉质量的 20% 和 6% 添加马铃薯粉和绿茶粉,依次添加 150%、170%、190%、210%、230% 添加蛋清,再分别添加 80% 的木糖醇、1% 的泡打粉后,按照工艺流程制作戚风蛋糕,考察蛋清添加量对蛋糕质构特性、感官评分和比容的影响。

1.2.2.4 泡打粉添加量对蛋糕品质的影响 按照糕点粉质量的 20% 和 6% 添加马铃薯粉和绿茶粉,依次添加 0.5%、0.7%、0.9%、1.1%、1.3% 添加泡打粉,再分别添加 210% 的蛋清、80% 的木糖醇后,按照工艺流程制作戚风蛋糕,考察泡打粉添加量对蛋糕质构特性、感官评分和比容的影响。

1.2.2.5 木糖醇添加量对蛋糕品质的影响 按照糕点粉质量的 20% 和 6% 添加马铃薯粉和绿茶粉,依次添加 65%、70%、75%、80%、85% 添加木糖醇,再分别添加 210% 的蛋清、1% 的泡打粉后,按照工艺流程制作戚风蛋糕,考察木糖醇添加量对蛋糕质构特性、感官评分和比容的影响。

1.2.3 正交试验 在单因素实验结果的基础上,选取对蛋糕品质影响较大的四个因素(马铃薯粉添加量、绿茶粉添加量、蛋清添加量和木糖醇添加量),以感官评分和比容为主要评价标准,设计 $L_9(3^4)$ 正交试验优化马铃薯绿茶无糖戚风蛋糕的工艺,泡打粉的添加量以单因素结果为准。具体配比见表 1。

表 1 正交试验因素与水平

Table 1 Factors and levels for orthogonal test

水平	因素			
	A 马铃薯粉添加量 (%)	B 绿茶粉添加量 (%)	C 蛋清添加量 (%)	D 木糖醇添加量 (%)
1	15	4	190	70
2	20	6	210	75
3	25	8	230	80

1.2.4 品质评价方法

1.2.4.1 待测样品的制备 参考杨利玲等^[17]、阮征等^[18]方法并适当修改,即将冷却后的成品蛋糕脱模,稍加修正后,用不锈钢锯齿刀将蛋糕切成 5 cm×5 cm×5 cm 的立方块后待测。

1.2.4.2 蛋糕质构测定 一般来说,蛋糕的硬度、咀嚼性越小,蛋糕的品质越好^[19]。本文以弹性、硬度、咀嚼性三个质构指标,选用 TMS-PRO 型质构仪,采用 TPA 测试模式,参照王雪等^[20]、丁捷等^[21]稍加改进,采用 TMS 38.1 mm Perspex 探头,25 N 的力量感应元,速度 60 mm/min、形变量 50%,起始力 1.0N,测定马铃薯绿茶戚风蛋糕的质构特性,每个样品平均测定三次,取其平均值。

1.2.4.3 蛋糕比容测定 参照王兆燃等^[22]、Li 等^[23]方法稍作改动。取出冷却好的蛋糕,采用面包体积测定仪测定其体积 V。再用天平称其质量 m,则蛋糕比容 $C(\text{cm}^3/\text{g})=\frac{\text{蛋糕体积}(\text{cm}^3/\text{g})}{\text{蛋糕质量}(\text{g})}$ 。每个样品平均测定三次,取其平均值。

1.2.4.4 感官评分 参考 GB/T 20977-2007《糕点通则》中对糕点的感官评定要求及赵谢等、Ritika 等^[24-25]方法,结合本品特点制定马铃薯绿茶无糖戚风蛋糕的感官评价标准,见表 2。将制作好的蛋糕,随机分发给 10 位 18~55 岁,男女比例各占一半的具有食品专业背景的师生进行感评打分。

1.2.4.5 蛋糕营养成分测定 蛋糕总糖含量测定,参照 GB/T 23780-2009 糕点中总糖的检测^[26];蛋糕蛋白质含量测定,参照 GB/T 5009.5-2016 食品中蛋白质的测定^[27];蛋糕水分含量测定,参照 GB/T 5009.3-2016 食品中水分的测定^[28];蛋糕脂肪含量测定,参照 GB/T 5009.6-2016 食品中脂肪的测定^[29];蛋糕粗纤维含量测定,参照 GB/T 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定^[30];蛋糕灰分含量测定,参照 GB/T 5009.4-2016 食品中灰分的测定^[31]。

1.2.4.6 蛋糕总抗氧化能力测定 为检验绿茶粉对蛋糕抗氧化能力的影响,对蛋糕进行抗氧化能力测定,再对比市售蛋糕。具体测试方法^[32]为:采用 FRAP 方法进行测定。将 0.2 mL 样品提取液加入至 10 mL 具塞比色管中,然后将 0.6 mL 水和 6 mL 经过预热

至 37 ℃ 的 FRAP 工作液加入,混合均匀后放置 5 min,于 593 nm 处测定其吸光度,最终样品的总抗氧化能力以 $\text{FeSO}_4(\text{mmol}/\text{g})$ 表示。

1.3 数据处理

所有数据均为三次平行测量的平均值,采用正交设计助手 II V3.1 专业版进行实验设计和数据分析,利用 Origin 8.5 作图,运用 SPSS20 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 马铃薯粉添加量对蛋糕品质的影响 由图 1 可知,不同马铃薯粉添加量蛋糕的比容及感官评分均存在明显差异。马铃薯粉添加量为 10%、30%、35% 时的蛋糕感官评分与其他组存在显著性差异($P<0.05$),马铃薯粉添加量为 15%、20%、25% 时的蛋糕感官评分彼此间不存在显著性差异($P>0.05$),且随着马铃薯粉添加量的增加,蛋糕感官评分呈现先增加后降低的趋势,感官评定最高时马铃薯粉的添加量为 15%;马铃薯的添加量为 10%、25%、30%、35% 时的蛋糕比容与其他组存在显著性差异($P<0.05$),马铃薯的添加量为 15%、20% 时蛋糕比容间不存在显著性差异($P>0.05$),且蛋糕比容总体呈下降的趋势。适量添加马铃薯粉可增加蛋糕的风味和口感,增加蛋糕的细腻感。当添加量超过 30% 后,蛋糕的口感和组织状态

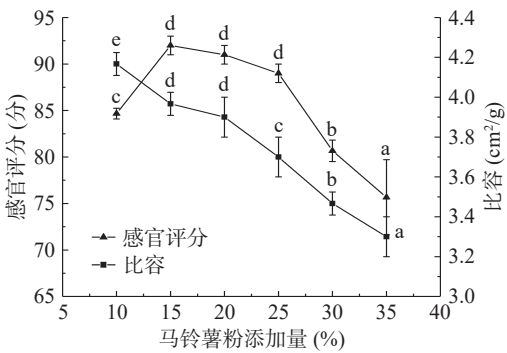


图 1 马铃薯粉添加量对蛋糕感官评分和比容的影响
Fig.1 Effects of potato flour addition on sensory score and specific volume of cakes
注: 相同字母表示无显著性差异($P>0.05$); 不同字母表示差异显著($P<0.05$); 图 2~图 5 同。

表 2 马铃薯绿茶无糖蛋糕的感官评价标准(分)

Table 2 Sensory evaluation standard of potato green tea sugar-free cake (scores)

指标	分值	优	良	差
色泽	20	外表色泽呈均匀的金黄色,内部呈均匀的暗绿色,无焦糊和黑斑(16~20)	外表色泽呈较为均匀的金黄色,内部呈均匀的暗绿色,无明显焦糊和黑斑(11~15)	外表颜色不均匀,内部呈褐色,肉眼可见焦糊和黑斑(0~10)
形态	20	外形完整,丰满规范,厚薄均匀(16~20)	外形较为完整,丰满规范,厚薄比较均匀(11~15)	外形不整齐,皱、裂、干瘪(0~10)
内部结构	25	内部组织细密,蜂窝结构均匀,有弹性,按压后很快恢复(21~25)	内部组织较为细密,蜂窝结构不太均匀,有弹性,按压后能恢复(16~20)	内部组织紧实,蜂窝结构不明显,基本没有弹性。(0~15)
气味、口感	25	蛋糕香味纯正,有明显马铃薯和绿茶的风味,无其它异味,口味绵软纯正,糕体松软、细腻(21~25)	有一点蛋糕香味,马铃薯和绿茶的风味不突出,无异味,口味绵软,糕体比较松软、细腻(16~20)	无蛋糕香味,没有马铃薯和绿茶的风味,有异味,口感扎实,糕体较硬(0~15)
甜度	10	稍甜(8~10)	适中(5~7)	甜度不足(0~4)

略有下降。由表 3 也可以看出, 马铃薯粉添加量为 10%、15%、20%、25%、30%、35% 时蛋糕的弹性、硬度和咀嚼性彼此间均具有显著性差异($P<0.05$); 随着马铃薯粉添加量的增加, 蛋糕的硬度增加, 弹性下降, 咀嚼性增大, 这是因为马铃薯粉中没有面筋性蛋白, 面糊中的面筋性蛋白减少后难以支撑起蛋糕的体积^[33], 蛋糕比容下降, 致使蛋糕不松软, 综合品质略有下降。综合各项指标可得出马铃薯粉的适宜添加量为 15%~25%。

表 3 马铃薯粉添加量对蛋糕弹性、硬度和咀嚼性的影响
Table 3 Effects of potato flour addition on elasticity, toughness and chewiness of cakes

马铃薯粉添加量(%)	弹性(mm)	硬度(N)	咀嚼性(mJ)
10	6.55±0.03 ^f	9.18±0.02 ^a	23.18±0.02 ^a
15	5.86±0.01 ^e	10.16±0.04 ^b	24.23±0.02 ^b
20	5.44±0.03 ^d	10.82±0.03 ^c	25.35±0.07 ^d
25	5.34±0.03 ^c	11.69±0.10 ^d	24.80±0.12 ^c
30	4.87±0.01 ^b	13.66±0.22 ^e	26.06±0.07 ^e
35	4.18±0.01 ^a	15.56±0.05 ^f	27.55±0.22 ^f

注: 数值以平均值±SD表示, 相同字母表示无显著性差异($P>0.05$); 不同字母表示差异显著($P<0.05$); 表4~表7、表9同。

2.1.2 绿茶粉添加量对蛋糕品质的影响 由图 2 可知, 不同绿茶粉添加量蛋糕的比容和感官评分均存在明显差异, 绿茶粉添加量为 10% 时蛋糕的感官评分与其他组存在显著性差异($P<0.05$), 绿茶粉添加量为 2%、4%、6%、8% 时蛋糕的感官评分彼此间不存在显著性差异($P>0.05$), 且随着绿茶粉添加量的增加, 蛋糕的感官评分呈先增加后下降的趋势, 绿茶粉添加量为 4% 时感官评分最高, 添加量为 4%~8% 时感官评分变化不明显, 且不存在显著性差异; 绿茶粉添加量为 2% 时蛋糕的比容与绿茶粉添加量为 4%、6%、8% 时蛋糕的比容和绿茶粉添加量为 10% 时蛋糕的比容存在显著性差异($P<0.05$), 但绿茶粉添加量为 4%、6%、8% 时蛋糕的比容彼此间没有显著性差异($P>0.05$), 且蛋糕比容随绿茶粉添加量增加呈下降趋势。由表 4 可知, 不同绿茶粉添加量对蛋糕的弹性、硬度及咀嚼性也存在明显差异, 绿茶粉添加量为 4%、10% 时蛋糕的弹性与其他组存在显著性差异($P<0.05$), 绿茶粉添加量为 2%、6%、8% 时蛋糕的弹性彼此间没有显著性差异($P>0.05$); 绿茶粉添加量为 6%、8%、10% 时蛋糕的硬度也与其他组存在显著性差异($P<0.05$), 绿茶粉添加量为 2%、4% 时蛋糕的硬度间没有显著性差异($P>0.05$), 绿茶粉添加量为 2% 时蛋糕的咀嚼性与绿茶粉添加量为 6% 时蛋糕的咀嚼性具有显著性差异($P<0.05$), 而与绿茶粉添加量为 4%、8%、10% 时蛋糕的咀嚼性彼此间均没有显著性差异($P>0.05$), 绿茶粉添加量为 6% 时蛋糕的咀嚼性与绿茶粉添加量为 10% 时蛋糕的咀嚼性具有显著性差异($P<0.05$)。且随着添加量的增加, 蛋糕的弹性下降, 硬度增加。当绿茶粉添加量为 8% 时, 蛋糕切面略粗糙, 口感略有苦味, 绿茶粉添加量为

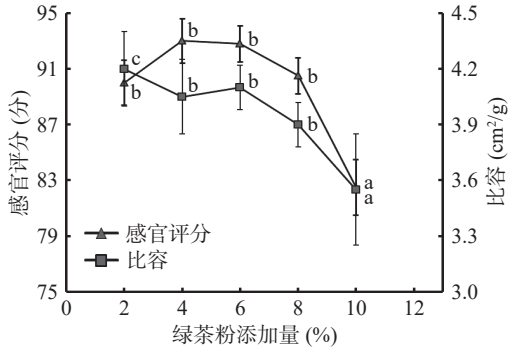


图 2 绿茶粉添加量蛋糕感官评分和比容的影响

Fig.2 Effects of green tea flour addition on sensory score and specific volume of cakes

表 4 绿茶粉添加量对蛋糕弹性、硬度和咀嚼性的影响

Table 4 Effects of green tea flour addition on elasticity, toughness and chewiness of cakes

绿茶粉添加量(%)	弹性(mm)	硬度(N)	咀嚼性(mJ)
2	5.80±0.37 ^b	9.77±0.43 ^a	25.53±1.11 ^b
4	6.56±0.31 ^c	9.94±0.33 ^a	24.70±0.48 ^{ab}
6	6.00±0.08 ^b	11.55±0.52 ^b	23.55±0.75 ^a
8	5.88±0.11 ^b	12.94±0.11 ^c	24.29±0.35 ^{ab}
10	5.33±0.16 ^a	14.19±0.30 ^d	25.34±0.18 ^b

10% 时, 蛋糕苦味太重, 掩盖了蛋糕应有的风味。适量添加绿茶粉可赋予蛋糕淡淡茶叶的清香而不影响蛋糕柔软细腻的口感。综合考虑, 绿茶粉的添加量为 4%~8% 为宜。

2.1.3 蛋清添加量对蛋糕品质的影响 由图 3 可知, 不同蛋清添加量蛋糕的比容及感官评分均存在明显差异, 蛋清添加量为 150%、170%、210% 时蛋糕的感官评分与其他组存在显著性差异($P<0.05$), 而蛋清添加量为 190%、230% 时蛋糕的感官评分不存在显著性差异($P>0.05$); 蛋清添加量为 150%、170%、230% 时蛋糕的比容与其他组存在显著性差异($P<0.05$), 而蛋清添加量为 190%、210% 时蛋糕的比容间均不存在显著性差异($P>0.05$), 且随着蛋清添加量的增加, 蛋糕的比容呈上升趋势, 而感官评分先增加后降低, 其原因是由于适量添加蛋清, 蛋糕糊比较容易打发, 可增加蛋糕的柔软性和细腻感, 赋予蛋糕特有的清香; 蛋清添加量过多, 其腥味也会随之增大, 掩盖蛋糕的特有风味, 蛋糕的总体可接受性降低。由表 5 可知, 不同蛋清添加量弹性、硬度及咀嚼性均存在明显差异。蛋清添加量为 150% 时蛋糕的弹性与其他组间均存在显著性差异($P<0.05$), 蛋清添加量为 170%、190% 时蛋糕的弹性间没有显著性差异, 蛋清添加量为 210%、230% 时也不具有显著性差异($P>0.05$); 蛋清添加量为 150%、170%、190%、210%、230% 时蛋糕的硬度均存在显著性差异($P<0.05$); 蛋清添加量为 150%、170%、190% 时蛋糕的咀嚼性与其他组间存在显著性差异($P<0.05$), 而蛋清添加量为 150%、170%、190% 时蛋糕的咀嚼性不存在显著性差异, 蛋清添加量为 210%、230% 时蛋糕

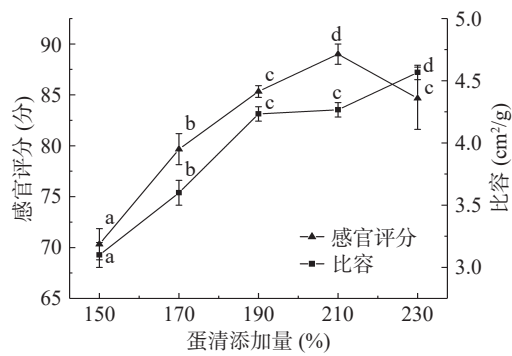


图 3 蛋清添加量对蛋糕感官评分和比容的影响

Fig.3 Effects of egg white addition on sensory score and specific volume of cakes

表 5 蛋清添加量对蛋糕弹性、硬度和咀嚼性的影响

Table 5 Effects of egg white addition on elasticity, toughness and chewiness of cakes

蛋清添加量 (%)	弹性 (mm)	硬度 (N)	咀嚼性 (mJ)
150	4.91±0.28 ^a	19.73±0.73 ^e	22.32±0.43 ^a
170	6.24±0.30 ^b	13.09±0.13 ^d	22.94±1.70 ^a
190	6.66±0.31 ^b	9.51±0.71 ^c	23.31±1.28 ^a
210	7.54±0.93 ^c	8.05±0.82 ^b	25.71±0.85 ^b
230	8.13±0.13 ^c	5.26±0.16 ^a	27.25±1.35 ^b

的咀嚼性也不存在显著性差异($P>0.05$)。且随着蛋清添加量的增加,蛋糕的弹性不断增加,硬度下降较为明显,咀嚼性也不断增加。综合评价,蛋清的适宜添加量为 210%。

2.1.4 泡打粉添加量对蛋糕品质的影响 由图 4 可知,不同泡打粉添加量蛋糕的比容及感官评分均存在明显差异。泡打粉添加量为 0.5%、0.7%、1.3% 时蛋糕的感官评分与其他组存在显著性差异($P<0.05$),而泡打粉添加量为 0.9%、1.1% 时蛋糕的感官评分间没有显著性差异($P>0.05$);泡打粉添加量为 0.5%、0.7% 时蛋糕的比容与泡打粉添加量为 1.3% 时蛋糕的比容存在显著性差异($P<0.05$),泡打粉添加量为 0.5%、0.7%、0.9%、1.1% 时蛋糕的比容间不存在显著性差异,泡打粉添加量为 0.9%、1.1%、1.3% 时蛋糕的比容间也不存在显著性差异($P>0.05$)。且随着泡打粉添加量的增加,蛋糕的感官评分呈现先增加后降低的趋势,感官评分最高时,泡打粉添加量为 0.9%,当泡打粉添加量超过 1.1% 时,泡打粉的碱性气味会影响蛋糕整体风味,所以会导致其感官评分降低;蛋糕比容总体趋势变化不大。由表 6 可知,不同泡打粉添加量对蛋糕弹性、硬度存在显著性差异。泡打粉添加量为 0.5%、0.9% 时蛋糕的弹性与泡打粉添加量为 1.3% 时蛋糕的弹性存在显著性差异($P<0.05$),泡打粉添加量为 0.5%、0.7%、0.9%、1.1% 时蛋糕的弹性不存在显著性差异,泡打粉添加量为 0.7%、1.1%、1.3% 时蛋糕的弹性也不存在显著性差异($P>0.05$);泡打粉添加量为 0.5% 时蛋糕的硬度与泡打粉添加量为 0.9%、1.1% 时蛋糕的硬度和

泡打粉添加量为 1.3% 时蛋糕的硬度存在显著性差异($P<0.05$),泡打粉添加量为 0.5%、0.7% 时蛋糕的硬度间不存在显著性差异,泡打粉添加量为 0.9%、1.1% 时蛋糕的硬度间也不存在显著性差异;泡打粉添加量为 0.5%、0.7%、0.9%、1.1% 时蛋糕的咀嚼性间不存在显著性差异($P>0.05$)。综合质构结果,泡打粉对蛋糕质构的影响不明显。因此,综合评价后,泡打粉的添加量 0.9% 为宜。与其他因素相比较,泡打粉添加量对蛋糕的品质影响相对较小,故不进一步优化。

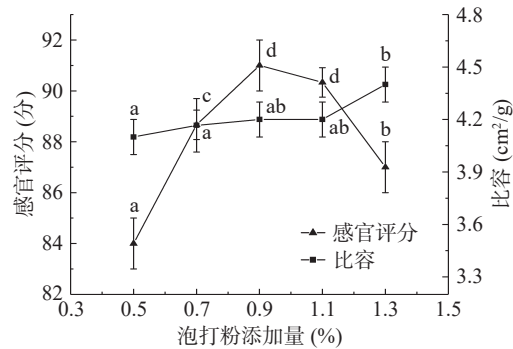


图 4 泡打粉添加量对蛋糕感官评分和比容的影响

Fig.4 Effects of baking powder addition on sensory score and specific volume of cakes

表 6 泡打粉添加量对蛋糕弹性、硬度和咀嚼性的影响

Table 6 Effects of baking powder addition on elasticity, toughness and chewiness of cakes

泡打粉添加量 (%)	弹性 (mm)	硬度 (N)	咀嚼性 (mJ)
0.5	6.57±0.23 ^b	9.87±0.64 ^c	23.46±0.61 ^a
0.7	6.19±0.13 ^{ab}	9.09±0.15 ^{bc}	23.51±0.92 ^a
0.9	6.32±0.92 ^b	8.88±0.11 ^b	23.38±0.90 ^a
1.1	5.74±0.23 ^{ab}	8.42±0.34 ^b	23.16±1.48 ^a
1.3	5.31±0.37 ^a	7.46±0.74 ^a	22.83±0.68 ^a

2.1.5 木糖醇添加量对蛋糕品质的影响 由图 5 和表 7 可知,不同木糖醇添加量蛋糕的感官评分存在明显差异。由图 5 可知,木糖醇添加量为 65%、70%、75%、80%、85% 时蛋糕的感官评分间均存在显著性差异($P<0.05$),而木糖醇添加量为 65%、70%、75%、80%、85% 时蛋糕的比容间均不存在显

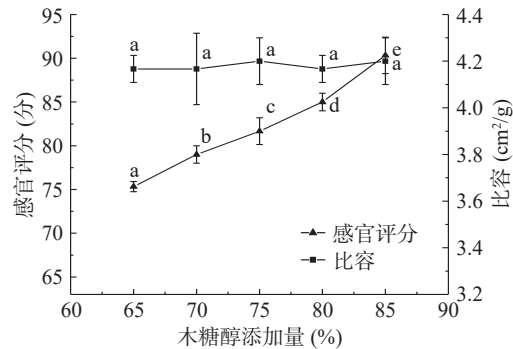


图 5 木糖醇添加量对蛋糕感官评分和比容的影响

Fig.5 Effects of xylitol addition on sensory score and specific volume of cakes

表 7 木糖醇添加量对蛋糕弹性、硬度和咀嚼性的影响

Table 7 Effects of xylitol addition on elasticity, toughness and chewiness of cakes

木糖醇添加量(%)	弹性(mm)	硬度(N)	咀嚼性(mJ)
65	6.36±0.08 ^a	9.27±0.31 ^a	23.48±1.38 ^a
70	6.49±0.10 ^a	9.45±0.08 ^a	23.32±0.32 ^a
75	6.66±0.26 ^{ab}	9.24±0.22 ^a	23.36±0.36 ^a
80	6.56±0.22 ^a	9.27±0.08 ^a	23.61±0.42 ^a
85	6.88±0.08 ^b	9.30±0.06 ^a	23.36±0.47 ^a

著性差异($P>0.05$)。由表 7 可知,木糖醇添加量为 85% 时蛋糕的弹性与木糖醇添加量为 65%、70%、80% 时蛋糕的弹性存在显著性差异($P<0.05$),而木糖醇添加量为 65%、70%、75%、80% 时蛋糕的弹性间都不存在显著性差异;木糖醇添加量为 65%、70%、75%、80%、85% 时蛋糕的硬度和咀嚼性间都不存在显著性差异($P>0.05$)。且随着木糖醇添加量的增加,蛋糕比容和质构特性变化不明显,而蛋糕的感官评分呈不断上升的趋势。这是因为木糖醇作为一种甜味剂,对蛋糕的比容和质构特性贡献不大,但对蛋糕的甜度和口感影响较大,但木糖醇添加量过多,超过 85% 时,会使蛋糕体过于甜腻。故综合考虑,木糖醇的添加量为 75% 左右。

2.2 正交试验优化

马铃薯绿茶无糖戚风蛋糕正交试验设计与结果表 8。

一般来说,弹性、硬度和咀嚼性与蛋糕感官评分

表 8 马铃薯绿茶无糖戚风蛋糕正交试验设计与结果

Table 8 Orthogonal experimental design and results of potato green tea sugar-free chiffon cakes

实验号	A	B	C	D	感官评分	比容(cm^3/g)
1	1	1	1	1	78	4.13
2	1	2	2	2	85	4.08
3	1	3	3	3	86	3.95
4	2	1	2	3	87	4.06
5	2	2	3	1	91	4.23
6	2	3	1	2	89	3.98
7	3	1	3	2	92	4.06
8	3	2	1	3	88	3.96
9	3	3	2	1	84	3.92
感官评分	K ₁	83.000	85.667	85.000	84.330	最佳组合: A ₂ B ₂ C ₃ D ₂
	K ₂	89.000	88.000	85.333	88.667	
	K ₃	88.000	86.333	89.667	87.000	
	R	6.000	2.333	4.667	4.334	
比容	K ₁	4.053	4.083	4.023	4.093	最佳组合: A ₂ B ₂ C ₃ D ₁
	K ₂	4.090	4.090	4.020	4.040	
	K ₃	3.980	3.950	4.080	3.990	
	R	0.110	0.140	0.060	0.103	

呈正相关,因此在正交试验中选择了蛋糕的感官评分和比容为评价指标。由表 8 可知,各因素对蛋糕感官评分影响的顺序为: A>C>D>B,对蛋糕比容的影响顺序为: B>A>D>C,这说明各个因素对蛋糕的品质影响都比较大。各因素对蛋糕感官评分影响的最佳组合为 A₂B₂C₃D₂,即马铃薯粉添加量为 20%,绿茶粉添加量为 6%,蛋清添加量为 230%,木糖醇添加量为 75%;各因素对蛋糕比容影响的最佳组合为 A₂B₂C₃D₁,即马铃薯粉添加量为 20%,绿茶粉添加量为 6%,蛋清添加量为 230%,木糖醇添加量为 70%。

由于最佳组合 A₂B₂C₃D₂ 不在表 8 实验设计中,需要进一步实验验证。按照组合 A₂B₂C₃D₂ 制作马铃薯绿茶无糖戚风蛋糕并进行感官评分和比容测定,结果为感官评分为 92 分,比容为 4.21 cm^3/g ,这与组合 A₂B₂C₃D₁ 差异并不显著,二者的不同之处仅在木糖醇的添加量不同,而木糖醇是食品添加剂,食品添加剂在使用时要求在达到预期目的前提下应尽可能降低在食品中的使用量,故综合考虑各因素的影响,确定 A₂B₂C₃D₁ 马铃薯绿茶无糖蛋糕的最佳配方,即马铃薯粉添加量为 20%,绿茶粉添加量为 6%,蛋清添加量为 230%,木糖醇添加量为 70%。

2.3 马铃薯绿茶无糖蛋糕中营养成分、总抗氧化能力分析

按照最佳配方制作蛋糕,同时将马铃薯粉、绿茶粉换成糕点粉,木糖醇换成蔗糖后同样条件下制作蛋糕,分别测定其营养成分和总抗氧化能力,结果见表 9。

从表 9 可以看出,两种不同蛋糕其粗纤维、蛋白质、水分含量、灰分、总糖、脂肪、总抗氧化能力均存在显著性差异($P<0.05$),在粗纤维含量、总糖含量、脂肪含量和总抗氧化能力上,马铃薯绿茶无糖戚风蛋糕明显优于相同条件下普通戚风蛋糕,其中,马铃薯绿茶无糖蛋糕的粗纤维含量明显高于市售普通戚风蛋糕;由于木糖醇的使用,蛋糕总糖含量明显下降,降低了 10% 左右;总抗氧化能力明显提高。通过各项指标对比可知,马铃薯绿茶无糖蛋糕具有明显的低脂、低糖、高纤维的特点,符合当下健康饮食潮流,特别是抗氧化能力的提升,既能延缓蛋糕氧化变质,提高其稳定性和贮存期,又对人体益处颇多,更加符合当代人们对健康饮食的需求。

3 结论

通过正交优化试验,所得的马铃薯绿茶无糖蛋糕最佳配方为:马铃薯粉添加量为 20%,绿茶粉添加量为 6%,蛋清添加量为 230%,木糖醇添加量为 70%,此配方下成品蛋糕的品质综合评分可达 92 分。在

表 9 两种蛋糕中营养成分和总抗氧化能力

Table 9 Results of determination of nutrient composition and total antioxidant capacity in two cakes

类别	粗纤维(%)	蛋白质(%)	水分(%)	灰分(%)	总糖(%)	脂肪(%)	总抗氧化能力(mmol/g)
马铃薯绿茶无糖蛋糕	7.89±0.16 ^b	14.10±0.14 ^b	48.20±0.16 ^b	1.12±0.13 ^b	6.03±0.08 ^a	30.10±0.31 ^a	0.0560±0.0600 ^b
市售普通戚风蛋糕	5.99±0.23 ^a	13.20±0.09 ^a	45.30±0.17 ^a	1.06±0.06 ^a	16.15±0.12 ^b	31.02±0.22 ^b	0.0012±0.0700 ^a

该配方下制作出的戚风蛋糕色泽淡绿、组织均匀膨松、口感细腻,低糖(6.03%)、高纤维(7.89%),具有一定的抗氧化能力(0.0560 mmol/g),不仅有营养价值,还具有一定保健功能,也符合特殊人群的需要。本研究表明马铃薯粉和绿茶粉可以添加到蛋糕的制作过程中,拓宽了马铃薯粉和绿茶粉在烘焙领域的应用,研究结果可为马铃薯绿茶无糖蛋糕的工业化生产提供参数依据。

参考文献

- [1] 陈寿宏. 中华食材上[M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2016: 52. [CHEN Shouhong. The Chinese food (The first part)[M]. Hefei: Hefei University of Technology Press, 2016: 52.]
- [2] 徐帮学. 低碳开启绿色生活[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2014: 138. [XU Bangxue. Low carbon opens green life[M]. Lanzhou: Gansu Science & Technology Press, 2014: 138.]
- [3] 左晓斌, 邹积田. 脱毒马铃薯良种繁育与栽培技术[M]. 北京: 科学普及出版社, 2012: 1-5. [ZUO Xiaobin, ZOU Jitian. Breeding and cultivation techniques of virus-free potato[M]. Beijing: Popular Science Press, 2012: 1-5.]
- [4] 王朋. 全国鲜薯产量稳定在上亿吨[EB/OL]. (2020-09-26)[2021-6-16]. http://www.gs.xinhuanet.com/news/2020-09/26/c_1126543438.htm. [WANG Peng. The national output of fresh potato is stable at over 100 million tons[EB/OL]. (2020-09-26)[2021-6-16]. http://www.gs.xinhuanet.com/news/2020-09/26/c_1126543438.htm.]
- [5] PRZEMYSŁAW K, MARIA R, AGNIESZKA M, et al. Production of wheat bread with spray-dried potato juice: Influence on dough and bread characteristics[J]. Food Science and Technology International, 2018, 10(10): 1-10.
- [6] GUMUL D, KORUS J, SURMA M, et al. Pulp obtained after isolation of starch from red and purple potatoes (*Solanum tuberosum* L.) as an innovative ingredient in the production of gluten-free bread[J]. PloS One, 2020, 9(18): 1-13.
- [7] 陈义, 郭红萍, 李玉霞. 信阳毛尖化学成分主成分分析与感官品质[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(17): 40-43. [CHEN Yi, GUO Hongping, LI Yuxia. The principal component analysis of chemical composition in Xinyangmaojian and its sensory quality[J]. Food Research and Development, 2015, 36(17): 40-43.]
- [8] RADOČAJ O, DIMIĆ E, TSAO R. Effects of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil press-cake and decaffeinated green tea leaves (*Camellia sinensis*) on functional characteristics of gluten-free crackers[J]. Journal of Food Science, 2014, 79(3): 318-325.
- [9] ROYSTON G, JING G, VICTORIA K A, et al. Green tea catechins reduced the glycaemic potential of bread: An *in vitro* digestibility study[J]. Food Chemistry, 2015(180): 203-210.
- [10] 黄思雨, 邓利玲, 童芳, 等. 绿茶、桑叶和臭黄荆叶细粉水提液抑菌和抗氧化能力[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(4): 118-124. [HUANG Siyu, DENG Liling, TONG Fang, et al. Study on antioxidant and antibacterial ability of water extracts from the powder of green tea, mulberry leaves and premna leaves[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(4): 118-124.]
- [11] 李斌, 武晓雪, 孟瑶瑶, 等. 信阳毛尖茶色素的超声提取及其抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2015, 36(18): 281-285. [LI Bin, WU Xiaoxue, MENG Yaoyao, et al. Research of ultrasound-assisted extraction of Xinyangmaojian tea pigment and its antioxidant activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(18): 281-285.]
- [12] LOUIE T M, LOUIE K, DENHARTOG S, et al. Production of bio-xylitol from D-xylose by an engineered *Pichia pastoris* expressing a recombinant xylose reductase did not require any auxiliary substrate as electron donor[J]. Microbial Cell Factories, 2012, 20: 50, 1-22.
- [13] CAMPBELL G M, MOUGEOT E. Creation and characterisation of aerated food products[J]. Trends Food Sci Technol, 1999, 10(9): 283-296.
- [14] FAKHREDDIN S, SARA A. Effect of dried fruits and vegetables powder on cakes quality: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020(95): 162-172.
- [15] 谢晋, 连家威, 韩迪, 等. 大豆分离蛋白对蛋糕品质及结构的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 19-24. [XIE Jin, LIAN Jiawei, HAN Di, et al. Effects of soy protein isolate on cake quality and texture[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(17): 19-24.]
- [16] KHAWLA B J, FATMA B, SOUMAYA Z-E, et al. Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein[J]. Food Chemistry, 2017(217): 668-677.
- [17] 杨利玲, 徐兵, 马瑞霞. 麦芽糖醇燕麦戚风蛋糕工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(5): 59-63. [YANG Liling, XU Bing, MA Ruixia. Study on processing technology of maltitol and oat chiffon cake[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(5): 59-63.]
- [18] 阮征, 张驰, 李丹丹, 等. 微波预膨发工艺对青稞戚风蛋糕品质的影响[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2020, 48(11): 131-138. [RUAN Zheng, ZHANG Chi, LI Dandan, et al. Effect of microwave pre-expansion process on the quality of highland barley chiffon cake[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 48(11): 131-138.]
- [19] 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 Shumin, WANG Hao, YANG Qingyu, et al. Development and quality evaluation of rice bran cake[J]. The Food Industry, 2019, 40(4): 54-57.]
- [20] 王雪, 李冰, 李琳, 等. 羟丙基甲基纤维素对Par-baking戚风蛋糕品质改善的研究[J]. 食品科技, 2018, 43(6): 276-282. [WANG Xue, LI Bing, LI Lin, et al. Effect of HPMC on improving the quality of the par-baking chiffon cake[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(6): 276-282.]
- [21] 丁捷, 廖诚成, 赵雪梅, 等. 速冻微波青稞蛋糕复合品质改良剂组合筛选[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(5): 167-175. [DING Jie, LIAO Chengcheng, ZHAO Xuemei, et al. Screening of compound quality improvement for frozen microwave cake by highland barley[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(5): 167-175.]
- [22] 王兆然, 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. [WANG Zhaoran, LI Wenzhao, FENG Yifei, et al. Effect of particle size on properties of millet flour the quality of millet Lyci-

- um barbarum* dregs cake[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(13): 40-45.]
- [23] LI Wang, ZHAO Siming, LIU Youming, et al. Quality characteristics and evaluation for sponge cakes made of rice flour[J]. Journal of Food Processing Preservation, 2020, 4(44): 1-12.
- [24] 赵谢, 甘巧, 汤思忆, 等. 黑芝麻蛋糕配方优化及质构特性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(1): 105-110. [ZHAO Xie, GAN Qiao, TANG Siyi, et al. Optimization of formulation and textural properties study of black sesame cake[J]. Food Research and Development, 2019, 40(1): 105-110.]
- [25] BAJAJ R, SINGH N, KAUR A. Effect of native and gelatinized starches from various sources on sponge cake making characteristics of wheat flour[J]. J Food Sci Technol, 2019, 56(2): 1046-1055.
- [26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 23780-2009 中华人民共和国国家标准糕点质量检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 23780-2009 Standardization Administration of China. Method for quality inspection of pastry[S]. Beijing: China Standards Press, 2009.]
- [27] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB/T 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China State Food and Drug Administration. GB/T 5009.5-2016 National standard for food safety. Determination of protein in foods[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [28] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB/T 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the P.R.C. GB/T 5009.3-2016 National standard for food safety. Determination of moisture in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [29] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB/T 5009.6-2016 食品安全国家标准食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the P.R.C. GB/T 5009.6-2016 National standard for food safety. Determination of fat in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [30] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004. [National Health Commission of the People's Republic of China. Standardization Administration of China. GB/T 5009.10-2003 Determination of crude fiber in plant foods[S]. Beijing: China Standards Press, 2004.]
- [31] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB/T B5009.4-2016 食品安全国家标准食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the P.R.C. GB/T B5009.4-2016 National standard for food safety-determination of ash in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [32] 贾彦杰, 申飞, 钱志伟, 等. 添加杂粮粉改善面包品质及营养特性分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(12): 1-9. [JIA Yanjie, SHEN Fei, QIAN Zhiwei, et al. Analysis on improving bread quality and nutritional characteristics by adding coarse grain powder[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(12): 1-9.]
- [33] GUMUL D, ZIOBRO R, IVANIŠOVÁ E, et al. Gluten-free bread with an addition of freeze-dried red and purple potatoes as a source of phenolic compounds in gluten-free diet[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2016, 8: 1-10.