

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90152

淮山粉对木糖醇戚风蛋糕品质的影响

Effects of yam powder on the quality of xylitol chiffon cake

张敏华^{1,2}郑宗平^{1,2}陈洪彬^{1,2}ZHANG Min-hua^{1,2} ZHENG Zong-ping^{1,2} CHEN Hong-bin^{1,2}王宝贝^{1,2}马丽娜³李金贵⁴WANG Bao-bei^{1,2} MA Li-na³ LI Jin-gui⁴

(1. 泉州师范学院福建省海洋藻类活性物质制备与功能开发重点实验室, 福建 泉州 362000;

2. 泉州师范学院闽南特色传统食品工程研究中心, 福建 泉州 362000; 3. 福建省农业科学院
农业生物资源研究所, 福建 福州 350003; 4. 泉州市芹峰淮山食品有限公司, 福建 泉州 362500)

(1. Fujian Province Key Laboratory for the Development of Bioactive Material from Marine Algae, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000, China; 2. The Engineering Research Center for Characteristic Traditional Food of Southern Fujian, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000, China; 3. Agricultural Bio-Resources Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350003, China; 4. Quanzhou Qinfeng Chinese Yam Food Co., Ltd., Quanzhou, Fujian 362500, China)

摘要:目的:探究淮山粉添加量对木糖醇戚风蛋糕质构和品质的影响。方法:在制备木糖醇淮山戚风蛋糕过程中,以蛋糕比容、面糊相对密度、水分含量、色泽、质构等为评价指标,考察淮山粉添加量(10%, 20%, 30%, 40%, 50%)对蛋糕品质的影响。结果:随着淮山粉添加量的增加,蛋糕比容下降,面糊相对密度、水分含量增大;硬度、咀嚼性和胶着性先增加后减小,弹性、回复性和内聚性先减小后增大; L^* 值(亮度)减小、 a^* (红色)先增大后减小、 b^* (黄色)下降、 ΔE (总色泽)差异增大。结论:淮山粉的最适添加量为 10%。

关键词:淮山粉;木糖醇;戚风蛋糕;质构;品质

Abstract: Objective: The yam powder was applied and added in xylitol chiffon cake to investigate its effects on the quality of cake.

Methods: In the process of preparing xylitol yam chiffon cake, the specific volume, relative density of batter, moisture content, color and texture of cake were taken as the investigation indexes to study the effects of different proportions of yam powder (10%, 20%, 30%, 40%, 50%) on the quality of cake. **Results:** The specific volume of cake decreased, whereas the relative den-

sity and moisture content of batter increased with the increasing amount of yam powder. On the other hand, the hardness, the chewability and the adhesion of cake increased first and then decreased, while the elasticity, the resilience and the cohesion decreased first and then increased. Meanwhile, the color difference measurement results showed that L^* value (brightness) and b^* (yellow) decreased, a^* (red) first increased and then decreased, and ΔE (total color) difference increased. **Conclusion:** According to the comprehensive texture properties and sensory evaluation, the optimum dosage of yam powder was 10%.

Keywords: yam powder; xylitol; chiffon cake; texture; quality

淮山(*Dioscorea opposita* Thunb), 又称山药, 是薯蓣科植物淮山的根茎, 一种药食同源植物, 广泛分布在河南、河北等地^[1-4]。其含有丰富的碳水化合物、蛋白质、脂肪、维生素、多糖等营养和功效成分^[5], 具有抗氧化、抗肿瘤、降血糖、保肝、免疫调节、补中益气、益智健脑等作用^[6-9]。赵国华等^[10]研究发现, 淮山多糖对 Lewis 肺细胞瘤块有显著抑制作用; 朱明磊等^[11]发现淮山多糖可显著降低小鼠的血糖含量; 刘伟萍等^[12]发现淮山水提液可降低四氯化碳导致的小鼠肝损伤风险, 且这种保护机制可能与淮山的抗氧化能力有关; 赵国华等^[13]发现淮山多糖提高了 T 淋巴细胞的增殖能力以及 NK 细胞的活性。

彭涛等^[14]研究了淮山粉的干燥技术, 发现酶解 4 h、喷雾干燥进口温度为 160 °C 时淮山粉的品质最佳; 钟敬

基金项目:福建省星火项目(编号:2021s0040);福建省自然科学基金(编号:2018J01440);泉州市高层次人才创新创业项目(编号:2018C041)

作者简介:张敏华, 女, 泉州师范学院本科生。

通信作者:郑宗平(1976—), 男, 泉州师范学院教授, 硕士生导师, 博士。E-mail: zzpsea@qztc.edu.cn

收稿日期:2021-11-22 **改回日期:**2022-03-26

飞等^[15]将淮山切片、烘干、粉碎、浸提后与白酒原液混合,得出制备淮山酒的最佳工艺参数为酒精度 75%, $m_{\text{淮山}}:V_{\text{原酒}}$ 为 1:3 (g/mL),浸提温度 60 °C,时间 3 h;钱志伟等^[16]发现淮山发酵乳的最佳工艺条件为山药原浆 7.5%,蔗糖 8%,42 °C 恒温发酵 7 h;田广瑞等^[17]发现淮山脆片的最佳膨化加工工艺参数为水分含量 10%,切片厚度 8 mm,膨化时间 45 s;张首玉等^[18]以葛根粉、山药粉、面包粉、黄油为原料,加工制成葛根淮山面包,组织细腻,营养丰富。此外,淮山还可以被开发为肠道微生态调节剂^[19]、保肝剂、补铁剂、保鲜剂等新产品。

目前,有关淮山的研究仍处于小试阶段,投放市场的产品较少。糖是一种重要的食品甜味剂,对食品的风味、口感、质构等有影响。但其也是一种高热量碳水化合物,食糖过多易引起龋齿、肥胖、糖尿病等健康问题,甜味抑制剂的出现虽然改善了蛋糕过甜的问题,但制作工艺会更加复杂,糖尿病患者也不能完全放心食用^[20],糖尿病(DM)是当前威胁全球人类健康最重要的非传染性疾病之一,据国际糖尿病联盟预计,2045 年全球患糖尿病人数将达到 6.286 亿人,其中中国为 1.144 亿人,约占全球患病人群的 27%^[21]。研究拟以木糖醇作为甜味剂替代蔗糖,以低筋小麦粉、鲜鸡蛋、玉米油、柠檬汁、双效泡打粉、玉米淀粉为基本配料,添加不同量的淮山粉,探究淮山粉添加量对木糖醇戚风蛋糕的质构和品质的影响,旨在研制出既美味可口又营养健康的、适合更广大消费者人群食用的蛋糕。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

低筋小麦粉:江苏南顺食品有限公司;
淮山粉:德化县泰生元农业综合开发公司;
食用玉米淀粉:太仓市欣发食品有限公司;
精制盐:中盐东兴盐化股份有限公司;
木糖醇:山东龙力生物科技股份有限公司;
双效泡打粉:安琪酵母股份有限公司;
鲜鸡蛋:福州仁达绿色食品有限公司;
柠檬汁:意大利宝蓝吉公司;
食用植物调和油:泉州福海粮油工业有限公司;
纯牛奶:品渥食品股份有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电烤箱:Hauswirt 型,青岛汉尚电器有限公司;
全自动色差计:ADCI-60-C 型,北京辰泰克仪器技术有限公司;
万分之一电子天平:ME204E/02 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;
电热鼓风干燥箱:BGZ-146 型,上海博迅实业有限公司

医疗设备厂;

食品物性分析仪:TA-XT Plus 型,英国 Stable Micro Systems 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程及操作要点

原料预处理→制备蛋黄糊→蛋白打发→蛋黄糊、蛋白混合→塑形→焙烤→冷却

(1) 基本配方:混合粉 60 g,纯牛奶 40 g,木糖醇 30 g,玉米油 30 g,鸡蛋蛋白 100 g,蛋黄 46 g,玉米淀粉 5 g,柠檬汁 7 g,膨松剂 1.5 g,食盐 0.5 g,鲜鸡蛋 4 个,水适量。

(2) 制作过程:根据基本配方将添加量分别为 0%,10%,20%,30%,40%,50% 的淮山粉与低筋小麦粉混合,过筛称量;将木糖醇、玉米淀粉、双效泡打粉、食盐按照原料配方称量,蛋黄、蛋清分开^[22-23],分别放入无水无油的盆中,蛋清冷藏、蛋黄常温放置备用;用手动打蛋器搅拌蛋黄,加入食盐 0.5 g,搅拌均匀后,依次加入 40 g 牛奶、30 g 玉米油,搅拌均匀至呈乳黄色,加入过筛后的淮山粉与低筋小麦粉的混合粉 60 g,用手动打蛋器在混合粉中画 z 字搅拌均匀,加入饮用水 18 g,打蛋器刮起蛋黄糊,当其不间断流下时,蛋黄糊制作完成放置备用;将 7 g 柠檬汁加入蛋清中,用手动打蛋器打发蛋清,直到蛋清中出现鱼眼泡状,加入 1/3 木糖醇;继续打发至蛋白中出现大泡沫状,加入 1/3 木糖醇;打发蛋白使泡沫变细腻,表面出现明显纹路,加入剩余的木糖醇和 5 g 玉米淀粉,手动打蛋器转到低速打发,至提起打蛋器蛋白可以呈直立尖状即可;向蛋黄糊中加入 1/3 打发好的蛋白,搅拌面糊时,为防止面糊起筋,刮刀要向不同的方向进行切拌,或从下往上切拌,直到面糊均匀;将剩余面糊全部倒进蛋白中,采用相同的方法重新翻拌至完全均匀;取出六寸蛋糕模具,小心倒入翻拌好的蛋糕面糊,用力蹙出面糊中的大气泡;将烤箱预热 5 min,上火 145 °C,下火 135 °C,烤制 60 min;取出,倒扣于晾网上冷却至室温。

1.2.2 比容测定 参照文献^[24]的方法,并按式(1)计算蛋糕比容。

$$C = \frac{V_1 - V_2}{M}, \quad (1)$$

式中:

C ——蛋糕比容,mL/g;

V_1 ——空容器体积,mL;

V_2 ——加蛋糕后,小米的体积,mL;

M ——蛋糕质量,g。

1.2.3 面糊的相对密度测定 采用相对密度法^[25],并按式(2)计算面糊的相对密度。

$$\rho_{\text{面糊}} = \frac{m_z - m_0}{m_1 - m_0} \times \rho_{\text{水}}, \quad (2)$$

式中:

$\rho_{\text{面糊}}$ ——相对密度, g/mL;

m_0 ——容器质量, g;

m_1 ——容器与水的质量, g;

m_2 ——容器与面糊的质量, g。

1.2.4 水分含量测定 按 GB 5009.3—2016 执行,并按式(3)计算蛋糕水分含量。

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

X ——样品中水分含量, %;

m_1 ——称量瓶和样品的质量, g;

m_2 ——称量瓶和样品干燥后的质量, g;

m_3 ——称量瓶的质量, g。

1.2.5 色泽测定 使用全自动色差计进行测定。其中 L^* 表示样品亮度, 表面颜色越浅 L^* 越大; b^* 表示样品的黄度, 黄色调越深 b^* 越大; a^* 表示样品的红色调, 红色调越深 a^* 越大。按式(4)计算各木糖醇蛋糕样品与对照组样品间的总色泽差异 ΔE 。

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}。 \quad (4)$$

$\Delta E < 1$, 人眼对总色泽差异不敏感; $1 < \Delta E < 3$, 人眼对总色泽差异敏感, 可以观察到微小的色泽差异; $\Delta E > 3$, 人眼对总色泽差异非常敏感。

1.2.6 质构测定 采用 TA-XT Plus 质构分析仪测定蛋糕的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性、胶着性和回复性 6 个指标。将蛋糕切成长、宽、高分别为 5 cm×5 cm×2 cm 的

待测样品。探头直径 36 mm, 测前速率 1 mm/s, 测中、后速率 3 mm/s, 触发力 0.049 N, 间隔时间 5 s^[26]。

1.2.7 感官评定 由 20 位受过感官评价训练的同学组成评价小组。评定指标(表 1): 色泽 10 分、外观形态 15 分、气味 30 分、质地结构 30 分、口感 15 分^[27]。

1.2.8 数据处理 所有试验重复 3 次, 结果用平均值±标准差表示, 使用 SPSS 22.0 软件中的单因素方差分析(ANOVA)进行比较。 $P < 0.05$, 有显著差异性; $P < 0.01$, 具有极显著差异。

2 结果与讨论

2.1 淮山粉添加量对蛋糕品质的影响

2.1.1 对蛋糕比容的影响 由图 1 可知, 随着淮山粉添加量的增加, 戚风蛋糕比容呈下降趋势, 当淮山粉添加量为 50% 时, 比容达到 3.44 mL/g, 比对照组的降低了 25%。除淮山粉添加量为 10% 时的比容与对照组无显著性差异外, 其余均影响显著 ($P < 0.05$)。蛋糕面糊因受热过程中蛋白质变性、淀粉糊化交错形成面筋网络, 而加入淮山粉降低了体系中的面筋含量, 减弱了支撑蛋糕面糊膨胀所需要的力, 故面糊比重增加, 蛋糕持气能力下降, 蛋糕比容变小。

2.1.2 对蛋糕面糊相对密度的影响 由图 2 可知, 戚风蛋糕面糊的相对密度随淮山粉添加量的增加呈上升趋势, 且差异显著 ($P < 0.05$); 当淮山粉添加量为 50% 时, 戚风蛋糕面糊的相对密度达到 0.24 g/mL, 比对照组的增加了 70.8%。

表 1 淮山蛋糕感官评分标准

Table 1 Sensory rating criteria for yam chiffon cake

项目	评分标准	感官评分
外观形态	表面完整、正常隆起、无斑点、不开裂	10~15
	表面稍有开裂、低于或高于正常隆起、略有斑点、稍有破损	6~9
	表面收缩变形、开裂明显、有斑点、破损较大	1~5
质地结构	组织松软、细腻且有弹性、有明显回复性、切面气孔均匀、无粉块	20~30
	稍干或稍湿、弹性较差、有回复性、切面气孔分布不均匀、稍有粉块	10~19
	弹性差、回复性较差、切面气孔分布不均匀、有粉块、较粗糙	1~9
气味	味道最佳、爽口、蛋香味充足、甜度适中、无蛋腥味	20~30
	味道最佳、有蛋香味、稍甜或稍淡、略微有蛋腥味	10~19
	太甜或太淡、蛋腥味明显、有焦糊味	1~9
色泽	表面、剖面为金黄色、棕黄色底部、色泽均匀、无焦斑	7~10
	表面、剖面为金黄色但不均匀、棕黄色底部、略有焦斑	4~6
	表面、剖面为淡黄色、棕褐色或黑色底部、有明显焦斑	1~3
口感	口感非常细腻绵软且略有湿感、不粗糙、不粘牙	10~15
	绵软、略有坚实感但不细腻、稍干	6~9
	绵软性差、明显粗糙、较粘牙、松散发干	1~5

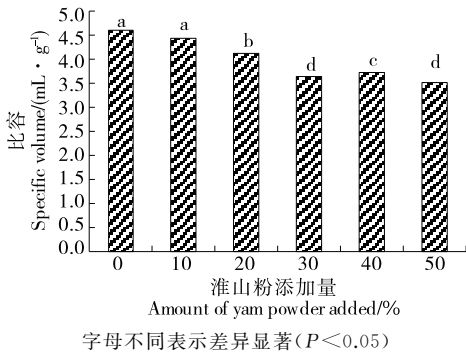


图1 淮山粉添加量对蛋糕比容的影响

Figure 1 Effects of the yam powder addition amount on the specific volume of the cake

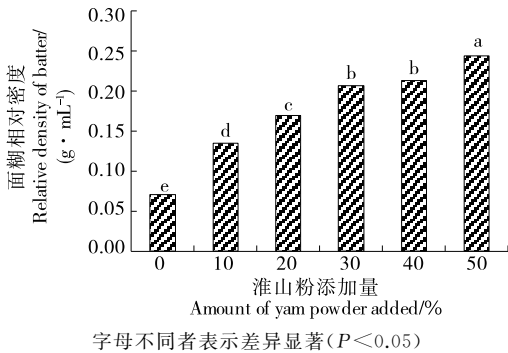


图2 淮山粉添加量对蛋糕面糊相对密度的影响

Figure 2 Effects of the yam powder addition amount on relative density of the cake batter

2.1.3 对蛋糕水分含量的影响 由图3可知,当淮山粉添加量为10%时,戚风蛋糕含水量显著增加(为50.4%),比对照组的上升了3.7%;当淮山粉添加量为30%,40%时,蛋糕含水量分别为51.2%,51.8%,分别比对照组的上升了5.3%,6.6%($P<0.05$);当淮山粉添加量为50%时,水分含量达到最高为52.4%,比对照组的上升了7.8%,说明淮山粉添加量对戚风蛋糕的水分含量变化具有显著影响($P<0.05$)。

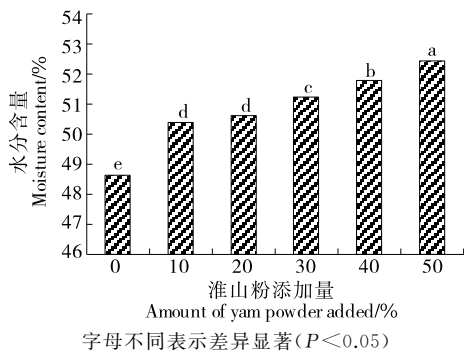


图3 淮山粉添加量对蛋糕水分含量的影响

Figure 3 Effects of the yam powder addition amount on the cake moisture

2.1.4 对蛋糕色泽的影响 由表2可知,随着淮山粉添加量的增加,戚风蛋糕的 L^* 值呈下降趋势,且差异显著($P<0.05$);随着淮山粉添加量的增加, a^* 值呈先上升后下降的趋势,与对照组相比,淮山粉添加量对蛋糕的 a^* 值影响显著($P<0.05$);随着淮山粉添加量的增加, b^* 值呈先上升后下降,再上升又下降的趋势,淮山粉添加量为20%,40%,50%时的 b^* 值与对照组存在显著性差异($P<0.05$);随着淮山粉添加量的增加, ΔE 整体上呈上升的趋势,且淮山粉添加量为30%和40%的 ΔE 值差异不显著,其余各添加量之间差异显著($P<0.05$)。综上, L^* 值降低,蛋糕亮度减小; a^* 值先增后减,蛋糕的红色调上升; b^* 值整体呈下降趋势,蛋糕黄度下降;当淮山粉添加量为10%时,有微小的色泽差异,当淮山粉添加量为20%以上时,有明显的色泽差异。淮山粉添加量增加,可能促进了淀粉酶和淮山粉的接触,使游离出的还原糖含量增加,焦糖化、美拉德反应增强,故亮度减小。

2.1.5 对蛋糕硬度、咀嚼性和胶着性的影响 由图4可知,随着淮山粉添加量的增加,蛋糕硬度、咀嚼性和胶着性均呈先上升后下降的趋势。当淮山粉添加量为10%,蛋糕硬度、咀嚼性和胶着性显著上升($P<0.05$),分别上升了9.1%,4.3%,15.2%;当淮山粉添加量达到30%时,蛋糕硬度、咀嚼性和胶着性分别上升了38.5%,48.8%,38.9%,达到最大值;当淮山粉添加量为40%,50%时,蛋糕硬度、咀嚼性和胶着性有所下降,但仍高于对照组。蛋糕硬度上升可能是淮山粉中缺少支撑网络结构的面筋蛋白,添加过量的淮山粉导致小麦面粉中的面筋蛋白被稀释,面筋蛋白中的网络结构被破坏,使蛋糕变形收缩,从而硬度、咀嚼性和胶着性增大。

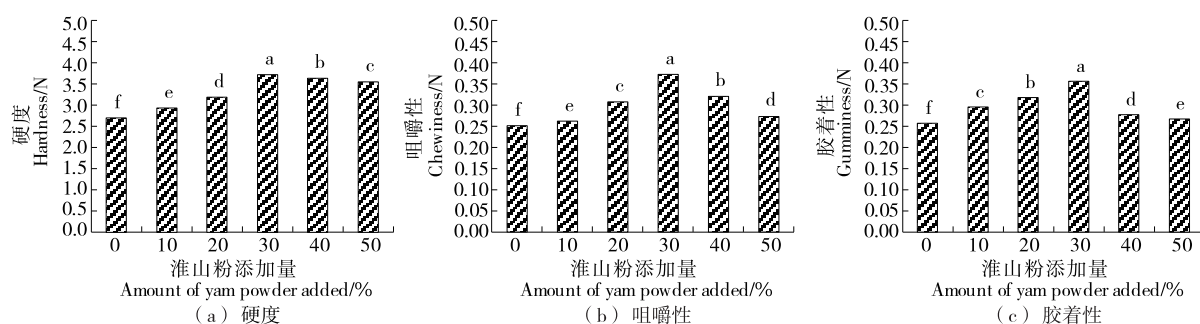
2.1.6 对蛋糕弹性、回复性和内聚性的影响 由图5可知,随着淮山粉添加量的增加,蛋糕弹性、回复性和内聚性先下降后上升。当淮山粉添加量为30%时,蛋糕弹性、回复性和内聚性达最低,比对照组分别下降了3.1%,18.9%,8.8%。淮山粉添加量对蛋糕弹性、回复性和内聚性均具有显著性差异($P<0.05$),但添加量过多,面筋网

表2 淮山粉添加量对蛋糕色泽的影响[†]

Table 2 Effects of the yam powder addition amount on the color of cake

淮山粉 添加量/%	L^*	a^*	b^*	ΔE
0	78.51±0.07 ^a	0.68±0.32 ^d	30.12±0.03 ^a	—
10	77.49±0.04 ^b	1.52±0.27 ^c	30.42±0.27 ^a	1.38±0.17 ^d
20	76.34±0.22 ^c	1.82±0.32 ^c	26.90±0.53 ^{bc}	4.05±0.60 ^c
30	75.37±0.36 ^d	6.12±0.58 ^a	29.80±0.71 ^a	6.33±0.59 ^{ab}
40	74.58±0.20 ^e	3.86±0.61 ^b	27.63±0.27 ^b	5.67±0.07 ^b
50	73.41±0.19 ^f	4.03±0.48 ^b	26.80±0.32 ^c	6.97±0.21 ^a

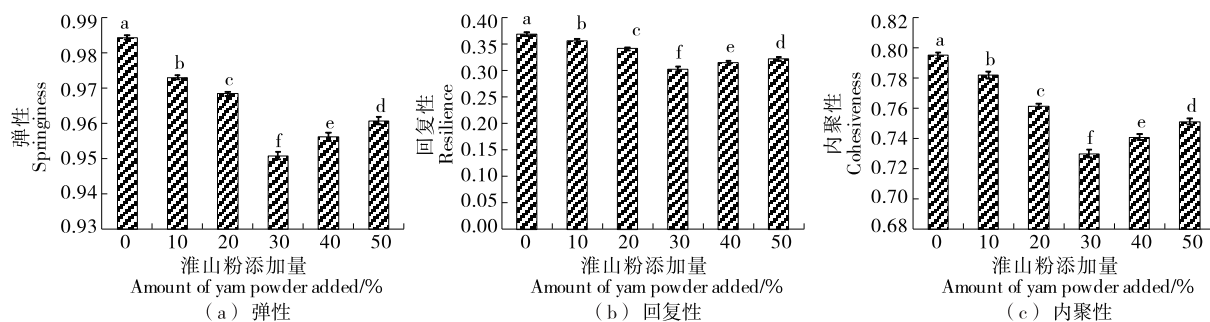
[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。



字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 4 淮山粉添加量对蛋糕硬度、咀嚼性和胶着性的影响

Figure 4 Effects of the yam powder addition amount on the hardness, the chewiness and the gumminess of cake



字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 5 淮山粉添加量对蛋糕弹性、回复性和内聚性的影响

Figure 5 Effects of the yam powder addition amount on the springiness, the resilience and the cohesiveness of cake

络结构遭到破坏,弹性、回复性和内聚性均减小。

2.2 淮山粉添加量对蛋糕感官评分的影响

试验发现,蛋糕的感官评分随淮山粉添加量的增加而降低。对照组的感官评分最高为 95.3 分,蛋糕的口感、色泽、外观、质地等方面整体比较满意;当淮山粉添加量为 10% 时,蛋糕的感官评分下降为 93.7 分,蛋糕弹性下降,表面出现收缩现象;当淮山粉添加量 20% 时,蛋糕的感官评分为 92.7 分,蛋糕回复性较差、剖面气孔分布不均匀;当淮山粉添加量为 30% 时,蛋糕的感官评分最低为 89 分,此时硬度较大,口感上较差;当淮山粉添加量为 40%,50% 时,蛋糕的感官评分有所上升,分别为 90,91 分,整体低于对照组,外观形态和质地相比于对照组较差。综上,当淮山粉添加量为 10% 时,蛋糕评分高于除对照组外的其他组,为最适添加量。

3 结论

考察了淮山粉添加量对木糖醇戚风蛋糕比容、面糊密度、色泽、硬度、咀嚼性、胶着性、弹性、回复性及内聚性等指标的影响。结果表明,与未添加淮山粉的戚风蛋糕相比,淮山粉添加量对木糖醇戚风蛋糕的质构和品质有较大影响。当淮山粉添加量为 10% 时,蛋糕的形态、质地、色泽、口感等方面较合适,因此,木糖醇淮山戚风蛋糕中淮山粉的添加为 10% 时较合适。后续可将淮山粉添加量至 50% 进行研究。

参考文献

- [1] HAMADINA E I, EZE G O. Pre tuber application of fluridone: Effect on vegetative growth and seed tuber dormancy in yam (*D.alata*) [J]. American Journal of Experimental Agriculture, 2014, 4(4): 415-426.
- [2] 李建军, 樊星, 马静潇. 山药药用研究概述 [J]. 生物学教学, 2017, 42(10): 4-7.
LI J J, FAN X, MA J X. Overview of Chinese yam medicinal research [J]. Biology Teaching, 2017, 42(10): 4-7.
- [3] BUCKMAN E S, ODURO I, PLAHAAR W A, et al. Determination of the chemical and functional properties of yam bean (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) flour for food systems [J]. Food Science and Nutrition, 2018, 6(2): 457-463.
- [4] 王宁宁, 戴莹, 袁一平, 等. 山药历史源流分析及其标准体系构建 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(4): 222-228.
WANG N N, DAI Y, YUAN Y P, et al. Analysis on historical origin of *Dioscoreae* rhizome and preliminary construction of its standard system [J]. Chinese Journal of Experimental Prescriptions, 2018, 24(4): 222-228.
- [5] ZHANG B, GUO K, LIN L, et al. Comparison of structural and functional properties of starches from the rhizome and bulbil of Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) [J]. Molecules, 2018, 23(2): 427.
- [6] 董庆海, 吴福林, 王涵, 等. 山药的化学成分和药理作用及临床应用研究进展 [J]. 特产研究, 2018, 40(4): 98-103.
DONG Q H, WU F L, WANG H, et al. Research progress on chemical constituents, pharmacological activity and clinical application of

- Chinese yam[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2018, 40(4): 98-103.
- [7] 徐微, 于成龙, 宋宏光, 等. 山药的保健功能及其在食品加工中的应用[J]. 畜牧与饲料科学, 2012, 33(5/6): 84-85.
- XU W, YU C L, SONG H G, et al. Health care functions of Chinese yam and its application in food processing[J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2012, 33(5/6): 84-85.
- [8] PANTHONG S, RUANGNOO S, THONGDEEYING P, et al. Immunomodulatory activity of *Dioscorea membranacea* Pierre rhizomes and of its main active constituent *Dioscorealide* B[J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2014, 14: 403.
- [9] GO H K, RAHMAN M M, KIM G B, et al. Antidiabetic effects of yam (*Dioscorea batatas*) and its active constituent, allantoin, in a rat model of streptozotocin-induced diabetes[J]. Nutrients, 2015, 7: 8 532-8 544.
- [10] 赵国华, 李志孝, 陈宗道. 山药多糖 RDPS-I 的结构分析及抗肿瘤活性[J]. 药学报, 2003, 38(1): 37-41.
- ZHAO G H, LI Z X, CHEN Z D. Structure analysis and antitumor activity of RDPS-I polysaccharide from Chinese yam [J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 2003, 38(1): 37-41.
- [11] 朱明磊, 唐微, 官守涛. 山药多糖对糖尿病小鼠降血糖作用的实验研究[J]. 现代预防医学, 2010, 37(8): 1 524, 1 527.
- ZHU M L, TANG W, GUAN S T. Experimental study on the effect of yam polysaccharide on diabetic mice [J]. Modern Preventive Medicine, 2010, 37(8): 1 524, 1 527.
- [12] 刘伟萍, 金国平, 陈培波. 山药水提物对四氯化碳所致小鼠急性肝损伤的改善作用[J]. 郑州大学学报(医学版), 2008, 43(5): 885-888.
- LIU W P, JIN G P, CHEN P B. Protective effect of aqueous extract of *Dioscorea batatas* against acute hepatic injury induced by CCl₄ in mice[J]. Journal of Zhengzhou University (Medical Science), 2008, 43(5): 885-888.
- [13] 赵国华, 王赞, 李志孝, 等. 山药多糖的免疫调节作用[J]. 营养学报, 2002, 24(2): 187-188.
- ZHAO G H, WANG Y, LI Z X, et al. Regulation of immune function by polysaccharide (RDPS-1) from Chinese yam[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2002, 24(2): 187-188.
- [14] 彭涛, 田静, 宋巧, 等. 山药粉干燥技术的研究[J]. 农业科技与信息, 2017(23): 34-36.
- PENG T, TIAN J, SONG Q, et al. Research on drying technology of yam powder[J]. Agricultural Science-Technology and Information, 2017(23): 34-36.
- [15] 钟敬飞, 徐效勇, 李跃, 等. 新型山药酒的酿造工艺[J]. 酿酒, 2017, 44(5): 83-86.
- ZHONG J F, XU X Y, LI Y, et al. Brewing technology of new Chinese yam wine[J]. Liquor Making, 2017, 44(5): 83-86.
- [16] 钱志伟, 周志强, 曹乐民, 等. 山药香蕉风味酸奶发酵工艺研究[J]. 河南农业, 2018(5): 55-57.
- QIAN Z W, ZHOU Z Q, CAO L M, et al. Study on fermentation technology of yam banana flavor yogurt[J]. Agriculture of Henan, 2018(5): 55-57.
- [17] 田广瑞, 朱红娜, 李顺峰, 等. 怀山药微波膨化脆片的工艺优化[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(4): 78-83, 90.
- TIAN G R, ZHU H N, LI S F, et al. Process optimization of Chinese yam chips by microwave puffing[J]. Storage and Process, 2018, 18(4): 78-83, 90.
- [18] 张首玉, 司俊娜. 葛根山药保健面包的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(12): 74-78.
- ZHANG S Y, SI J N. Study on the technology of Kudzu-Chinese yam bread[J]. Food Research and Development, 2016, 37(12): 74-78.
- [19] ZHANG N, LIANG T, JIN Q, et al. Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb) alleviates antibiotic-associated diarrhea, modifies intestinal microbiota, and increases the level of short-chain fatty acids in mice[J]. Food Research International, 2019, 122: 191-198.
- [20] 郑建仙, 王伟江. 高效甜味剂和甜味抑制剂的现状与发展展望[J]. 食品与机械, 2006, 22(1): 2-3.
- ZHENG J X, WANG W J. Market status and development prospect of high efficiency sweeteners and sweetening inhibitors[J]. Food & Machinery, 2006, 22(1): 2-3.
- [21] 刘东波, 周佳丽, 李坚, 等. 营养干预在糖尿病治疗中的研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 1-11.
- LIU D B, ZHOU J L, LI J, et al. Research progress of nutritional intervention in the treatment of diabetes mellitus[J]. Food & Machinery, 2019, 35(6): 1-11.
- [22] 易碧清, 钟志惠, 贾洪峰, 等. 响应面法优化无糖米糠戚风蛋糕工艺[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(4): 80-83.
- YI B Q, ZHONG Z H, JIA H F, et al. Processing conditions optimization of sugar-free rice bran chiffon cake by response surface methodology[J]. Cereals & Oil, 2020, 33(4): 80-83.
- [23] 郑学斌. 葛根养生蛋糕生产配方筛选的研究[J]. 吉林农业科技学院学报, 2020, 29(2): 1-4.
- ZHENG X B. Study on screening of *Puerariae lobatae* health cake production formula[J]. Journal of Jilin Agricultural Science and Technology University, 2020, 29(2): 1-4.
- [24] 谢晋, 连家威, 韩迪, 等. 大豆分离蛋白对蛋糕品质及质构的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 19-24.
- XIE J, LIAN J W, HAN D, et al. Effects of soy protein isolate on cake quality and texture[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(17): 19-24.
- [25] 刘秉杰, 杨炳坤, 徐阳, 等. 酸乳海绵蛋糕的品质研究[J]. 食品科技, 2019, 44(6): 150-155.
- LIU B J, YANG B K, XU Y, et al. Study on the quality of yogurt sponge cake[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(6): 150-155.
- [26] 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 X, GAN Q, TANG S Y, et al. Optimization of formulation and textural properties study of black sesame cake[J]. Food Research and Development, 2019, 40(1): 105-110.
- [27] MARSTON K, KHOURYIEH H, ARAMOUNI F. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 637-644.