

超微板栗粉对海绵蛋糕品质的影响

Effects of superfine chestnut powder on sponge cake quality

胡欣宇¹ 明建^{1,2} 王姝¹

HU Xin-yu¹ MING Jian^{1,2} WANG Shu¹

薛艾莲¹ 寇福兵¹ 曾凯芳^{1,2}

XUE Ai-lian¹ KOU Fu-bing¹ ZENG Kai-fang^{1,2}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 食品科学与工程国家级实验教学示范中心〔西南大学〕, 重庆 400715)

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Food Science and Technology Education [Southwest University], Chongqing 400715, China)

摘要:目的: 开发具有板栗风味和功能特性的海绵蛋糕。

方法:探究超微板栗粉质量分数对海绵蛋糕质构、感官、烘焙、老化特性及营养品质的影响。**结果:**与对照组相比, 板栗粉质量分数 $<10\%$ 时, 蛋糕的硬度、弹性、咀嚼性等质构品质和比容无显著性变化; 板栗粉的添加会使蛋糕亮度和黄度减小, 红度增加, 且对蛋糕芯部色泽影响大于外表皮; 添加板栗粉有利于降低蛋糕烘焙损失率, 减小老化焓值, 以及增加其营养品质; 板栗粉质量分数为 5% 时, 蛋糕的色泽、形状、滋味、软硬度以及总体喜好程度最佳。**结论:**超微板栗粉质量分数为 $5\% \sim 10\%$ 较为适宜, 超微板栗粉的添加赋予了海绵蛋糕更好的品质。

关键词:板栗; 超微粉; 海绵蛋糕; 质构; 感官; 营养品质

Abstract: **Objective:** The effects of superfine chestnut powder on sponge cake quality was studied, aiming to provide a certain theoretical reference for improving the quality of bakery food. **Methods:** To explore the superfine chestnut powder adding amount on the sponge cake texture, sensory, baking, aging characteristics and nutritional quality, different contents of superfine chestnut powder were added during the making process of sponge cake. **Results:** The hardness, elasticity, chewiness and specific volume of cake had no significant change compared with the control group when chestnut powder was added less than 10% . The addition of chestnut powder could reduce the brightness and yellowness while increase the redness of the cake, and the effect on the color of the cake core was greater than that on the surface. Adding chestnut powder could reduce the cake baking loss, aging enthalpy value

and increase its nutritional quality. When the content of chestnut powder was 5% , the cake had the best color, shape, taste, hardness and overall preference. In general, the appropriate amount of superfine chestnut powder was $5\% \sim 10\%$. **Conclusion:** The addition of superfine chestnut powder endowed the sponge cake with better quality.

Keywords: chestnut; superfine powder; sponge cake; texture; sensory; nutritional quality

板栗(*Castanea mollissima* Blume)又名栗、栗子、风腊, 是一种壳斗科栗属乔木经济植物。中国是世界上板栗生产加工大国, 板栗种植面积和产量均居世界第一, 且远超其他国家和地区^[1]。板栗富含淀粉、多糖、蛋白质、脂肪、维生素以及多种矿物元素, 素有“干果之王”“木本粮食”的美誉^[2]。在食品工业中, 板栗因其含水量高, 不耐贮藏, 常被用来制作成板栗粉^[3], 以延长其货架期, 同时也为其他食品的研发提供了原料, 如软糖、饼干^[4]、面包^[5]等。

海绵蛋糕(Sponge Cake)是一种利用蛋白质的起泡性使蛋液充入大量空气, 然后添加低筋小麦粉制成的烘焙食品。其结构类似海绵, 柔软细腻, 因口感风味俱佳, 色泽诱人, 在全世界范围内都备受欢迎^[6-7]。近年来, 随着人们生活水平的提高, 消费者对烘焙食品的品质和营养要求也越来越高。此前, 已有将红枣粉、诺丽果粉^[8]、玉米粉^[9]、白菜粉^[10]等果蔬粉添加到蛋糕制作过程中的研究。但是, 尚未见将板栗粉应用于蛋糕制作中的相关报道。研究拟将超微粉碎的板栗粉添加到传统海绵蛋糕的制作中, 探究超微板栗粉添加量对海绵蛋糕质构品质、感官品质、烘焙特性、老化特性以及营养品质的影响, 以期为高品质蛋糕的开发加工提供科学依据。

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2019YFD1002300)

作者简介:胡欣宇, 男, 西南大学在读本科生。

通信作者:明建(1972—), 男, 西南大学教授, 博士。

E-mail: mingjian1972@163.com

收稿日期:2021-12-03

1 材料与amp;方法

1.1 材料与amp;仪器

1.1.1 材料与amp;试剂

蛋糕用小麦粉:上海枫未实业有限公司;

板栗(产地:辽宁丹东)、鸡蛋、蛋糕油、糖霜、食用盐等;重庆市北碚区永辉超市;

浓盐酸、浓硫酸、浓硝酸、石油醚(沸程 30~60 ℃)等;分析纯,赛卡姆(北京)科学仪器有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

冷冻干燥机:SCIENTZ-20F 型,宁波新芝生物科技发展有限公司;

多功能粉碎机:1000G 型,永康市兆申电器有限公司;

高能纳米冲击磨:CJM-SY-B 型,秦皇岛市太极环纳米制品有限公司;

远红外电热食品烤炉:FKB 型,佛山市华兴实业有限公司;

色差仪:Ultra Scan®PRO 型,美国 HunterLab 公司;

差示扫描量热仪:DSC25 型,美国 TA 仪器公司;

质构仪:TA.XT Plus 型,英国 Surface Measurement Systems 公司;

电热恒温干燥箱:FD115 型,德国 BINDER 公司;

脂肪抽提测定仪:B-811 型,瑞士 BUCHI 公司;

超高压微波消解仪:MERS6 型,美国 CEM 公司;

自动凯氏定氮仪:KT8400 型,丹麦 FOSS 公司;

电感耦合等离子体质谱仪:NEXION2000 型,美国 PE 公司。

1.2 方法

1.2.1 超微板栗粉制备 参考寇福兵等^[3]的方法,将经过挑选的板栗去壳、去皮、切片,然后采用冷冻干燥(干燥时间 36 h,真空度<10 Pa,冷阱温度-60 ℃)制得干板栗,随即将其粉碎过筛得到粗粉。将粗粉用高能纳米冲击磨进行超微粉碎处理(粉碎腔体为不锈钢材质,粉碎磨介为氧化锆球,5~35 ℃调频,粉碎时间 6 h),最后制得超微板栗粉,密封贮藏于-18 ℃冰柜中,备用。

1.2.2 蛋糕制作

(1) 海绵蛋糕基础配方:小麦粉 100 g、鸡蛋 180 g、糖霜 50 g、蛋糕油 8 g、水 20 g、食用盐 1 g。

(2) 工艺流程:

板栗粉与小麦粉混合→过筛
↓
鸡蛋、糖霜、蛋糕油、水混合→预热→搅打→调糊→装模→烘烤→冷却→脱模→成品

(3) 操作要点:① 预热:采用热起泡沫法^[11],将原料混合后隔水加热至 40 ℃左右,慢速搅拌使其受热均匀避免结块直至糖霜完全融化为止。② 搅打:先低速搅打 2 min 使部分原料混合均匀,然后高速搅打 20 min 左右,使蛋液

包入大量空气,产生泡沫体系,当蛋泡均匀,表面有光泽,且体积膨胀到蛋液的 3 倍以上即可。③ 混合、过筛:将两种粉按照设置的比例,即板栗粉质量分数为 0%(Control),5%,10%,20%,40%,充分混合均匀,然后分 3 次将混合粉筛入发起的蛋泡中。④ 调糊:用硅胶刮刀轻盈且缓慢地搅拌过筛加粉的蛋糊,翻拌直至无肉眼可见粉质即为混合均匀状态。在调糊的过程中,要注意控制力度、速度以及时间,以防形成过量的面筋,降低蛋糕糊的可塑性,从而影响后续操作而导致蛋糕品质降低。⑤ 烘烤:放入烤炉前要轻轻震去面糊表面的大气泡,并提前 1 h 打开烤炉预热,以方便及时进行烘烤。烤制时,调节面火 160 ℃,底火 150 ℃,精确烘烤 30 min 即可出炉,烘烤完再次摔模。⑥ 冷却:室温冷却 30 min,脱模得到成品。

1.2.3 质构测定 参考易碧清等^[12]的方法并略做修改,将室温冷却 2 h 的样品切成高 20.0 mm、直径 50.0 mm 的圆柱体,采用质构仪进行压缩测试,探头选用 P36/R,测试模式为 TPA,测前速度 2 mm/s,测试速 1.0 mm/s,测后速度 1.0 mm/s,压缩程度 50%,触发力 0.049 N,间隔时间 2 s。测定样品的质构参数包括硬度、咀嚼性、弹性、内聚性和回复性。

1.2.4 色泽测定 参考 Borges 等^[13]的方法,用色差仪对蛋糕外表皮以及芯部进行颜色分析,记录 L^* 、 a^* 、 b^* 值,按式(1)计算色调角。

$$h = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}, \quad (1)$$

式中:

h ——色调角值,°;

a^* ——红度值;

b^* ——黄度值。

1.2.5 比容测定 准备冷却脱模的蛋糕,用天平准确称量其质量,然后利用小米置换法测出蛋糕体积^[14],按式(2)计算蛋糕比容。

$$S_v = \frac{V}{m}, \quad (2)$$

式中:

S_v ——蛋糕比容,mL/g;

V ——蛋糕体积,mL;

m ——蛋糕质量,g。

1.2.6 烘焙损失率测定 参考 Díaz-Ramírez 等^[15]的方法,按式(3)计算蛋糕的烘焙损失率。

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

式中:

L ——烘焙损失率,%;

m_1 ——烘烤前面糊的质量,g;

m_2 ——烘烤后成品蛋糕的质量,g。

1.2.7 蛋糕老化分析 参考 Hao 等^[7]的方法进行改进,将蛋糕置于 4℃ 冷藏,然后分别于第 5 天和第 10 天取出蛋糕样品,用铝制坩埚准确称量 10.0 mg,密封后以空坩埚为空白对照,采用差示扫描量热仪进行分析,测试参数为:扫描温度范围 20~130℃,扫描速率 10℃/min,记录蛋糕老化焓值(ΔH)。

1.2.8 营养指标测定 取制作过程中留取的面糊样品和成品蛋糕样品,置于-18℃ 冰柜中,待测。

(1) 水分含量:参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》第一法直接干燥法。

(2) 还原糖含量:参照 GB 5009.7—2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》第一法直接滴定法。

(3) 蛋白质含量:参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》第一法凯氏定氮法,蛋白质折算系数 F 取 5.7^[16]。

(4) 脂肪含量:参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》第一法索氏抽提法。

(5) 矿物元素含量:参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》第一法电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS),选取指标为 K、Ca、Mg、Mn、Fe、Zn、Cu。

1.2.9 感官分析 由 8 位具有一定分辨鉴别能力的人员(4 男 4 女)组成感官评定小组。在一间特定的房间内(室温 25℃,相对湿度 55%),蛋糕样品经过随机三位数字编码,送到感官评定小组人员手中。利用“9 点快感标尺”对蛋糕进行接受性评价检验^[13],1 点相当于“非常不喜欢”,9 点相当于“非常喜欢”。测定指标包括色泽、外观形状、香气、滋味、软硬度以及总体喜好程度。

1.3 数据分析

每组试验数据均为 3 次平行测定,定量资料描述以

“平均数($\bar{x}$)±标准差(SD)”表示,应用 SPSS 19.0 对数据进行 ANOVA 分析,利用邓肯氏(Duncan)多重比较进行差异显著性分析, $P<0.05$ 表示差异显著,并使用 Origin 2018 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 原料粉基本营养成分

板栗粉的营养成分值根据课题组前期试验^[3]所得,从表 1 可以看出,两种原料粉的基本营养物质含量差别较大,其中板栗粉的水分、碳水化合物、蛋白质含量均低于蛋糕用小麦粉,而脂肪和灰分含量均高于蛋糕用小麦粉。这种营养物质含量的差异主要由小麦和板栗的生长环境及原料属性不同造成,这些差异可能会直接影响成品海绵蛋糕的品质。

2.2 板栗粉对蛋糕质构特性的影响

蛋糕的质构分析结果如表 2 所示。蛋糕的品质与质构特性有不可分割的关系,一般来说,硬度、咀嚼性越小,弹性、内聚性、回复性越大,蛋糕变得松软,口感越好,品质越高^[17]。与对照组相比,当板栗粉质量分数 $<10\%$ 时,蛋糕的硬度、内聚性及回复性无显著变化;当质量分数超过 10%时,硬度显著增大,内聚性、回复性显著减小($P<0.05$)。当板栗粉质量分数达到 40%时,蛋糕的硬度、内聚性及回复性分别是对照组的 3.37、0.93、0.41 倍。对于蛋糕的弹性,板栗粉质量分数为 40%显著降低了蛋糕的弹性($P<0.05$),除此之外,板栗粉质量分数对蛋糕的弹性无显著影响。另外,随着板栗粉的添加,蛋糕的咀嚼性呈先降低后增加的趋势,在板栗粉质量分数为 5%时最低,为 335.55。板栗粉添加可能会增加面糊的黏度,导致蛋白质分子吸附于界面上难以展开,从而减小了泡沫体积与界面面积,致使蛋糕的硬度增大而弹性降低^[18]。总的来说,

表 1 原料粉的基本营养成分(干基)

Table 1 Basic nutrients of raw powder (Dry base) %

样品	水分	碳水化合物	蛋白质	脂肪	灰分
超微板栗粉	6.11±0.05	55.17±0.33	5.98±0.03	6.58±0.23	2.71±0.03
蛋糕用小麦粉	11.42±0.04	76.01±0.15	8.03±0.07	1.34±0.02	0.63±0.01

表 2 不同板栗粉质量分数海绵蛋糕的质构参数[†]

Table 2 Texture parameters of sponge cake with different contents of chestnut powder

板栗粉质量分数/%	硬度/N	弹性	内聚性	咀嚼性	回复性
0	5.71±0.10 ^c	0.92±0.01 ^a	0.76±0.01 ^a	395.07±42.73 ^c	0.41±0.01 ^a
5	5.63±0.11 ^c	0.92±0.01 ^a	0.75±0.01 ^{ab}	335.55±5.62 ^d	0.40±0.01 ^{ab}
10	6.24±0.18 ^c	0.92±0.01 ^a	0.75±0.01 ^{ab}	443.11±9.35 ^c	0.41±0.01 ^a
20	9.00±0.49 ^b	0.92±0.01 ^a	0.74±0.01 ^b	646.06±19.24 ^b	0.38±0.01 ^b
40	19.24±0.62 ^a	0.89±0.02 ^b	0.71±0.01 ^c	1 158.22±36.45 ^a	0.37±0.01 ^c

[†] 不同样品间小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

板栗粉质量分数为 5% 时,制备的蛋糕质构品质最佳。

2.3 板栗粉对蛋糕色泽的影响

色泽往往会引起消费者的消费欲望,一般来说,消费者更加倾向于购买由于美拉德反应形成的较深颜色的食品^[13]。从表 3 可知,板栗粉添加量对蛋糕的色泽有显著影响,且对蛋糕芯部色泽影响更明显。具体地,相较于对照组蛋糕芯部,随着板栗粉的添加,蛋糕 L^* 、 b^* 值会显

著减小, a^* 值显著性增大($P<0.05$);但板栗粉质量分数为 40% 时,蛋糕的色调角 h 显著增加。对于蛋糕表皮而言,色泽的变化无明显规律,可能是蛋糕表面受热不均,也可能是板栗粉中特殊的氨基酸和碳水化合物组成不同,导致美拉德反应程度及产物各异所致^[19],但是基本趋势还是 L^* 值和 b^* 值减小,而 a^* 值增加。结合实物图也可以观察到类似的规律。

表 3 不同板栗粉质量分数海绵蛋糕的色泽参数[†]

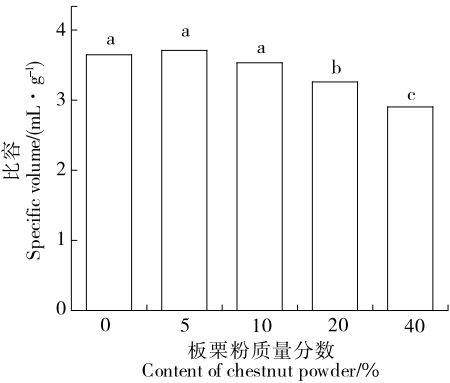
Table 3 Color parameters of sponge cake with different contents of chestnut powder

板栗粉质量分数/%	蛋糕表皮				蛋糕芯部			
	L^*	a^*	b^*	$h/(^\circ)$	L^*	a^*	b^*	$h/(^\circ)$
0	66.08±1.23 ^a	9.51±0.45 ^c	39.06±0.94 ^a	76.31±0.92 ^b	80.02±0.88 ^a	-3.78±0.19 ^e	30.96±0.72 ^a	83.03±0.47 ^d
5	61.97±0.97 ^c	13.62±0.45 ^a	37.76±0.15 ^b	70.17±0.62 ^d	76.59±1.87 ^b	-2.42±0.19 ^d	29.65±0.83 ^b	85.33±0.47 ^c
10	64.57±0.98 ^{ab}	11.47±1.12 ^b	38.06±0.48 ^{ab}	73.22±1.71 ^c	72.13±0.50 ^c	-0.90±0.04 ^c	28.94±0.10 ^b	88.22±0.07 ^a
20	64.91±0.50 ^{ab}	8.58±1.15 ^c	38.17±0.45 ^{ab}	77.35±1.50 ^b	69.44±0.18 ^d	1.30±0.36 ^b	27.97±0.31 ^c	87.34±0.72 ^b
40	63.47±1.57 ^{bc}	6.56±0.15 ^d	35.01±1.15 ^c	79.38±0.36 ^a	61.87±0.53 ^e	4.77±0.14 ^a	27.52±0.25 ^c	80.16±0.36 ^e

† 不同样品间小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.4 板栗粉对蛋糕比容的影响

根据 GB/T 24303—2009《粮油检验 小麦粉蛋糕烘焙品质试验 海绵蛋糕法》规定,蛋糕比容在 2.5~4.8 mL/g 时,比容评分随蛋糕比容的增大而增大,当超过 4.8 mL/g 时,比容评分随蛋糕比容的增大反而减小。从蛋糕实物来看,在体积大小方面,肉眼几乎很难区分出差别。而通过图 1 可以看出,当板栗粉质量分数 $\leq 10\%$ 时,蛋糕的比容无显著变化;当质量分数 $>10\%$ 时,随着板栗粉质量分数的增加,蛋糕比容显著降低($P<0.05$),与对照组相比,板栗粉质量分数为 40% 的蛋糕比容降低了 20.39%,可能是因为板栗粉的筋力比蛋糕用小麦粉高,导致在调糊阶段充入蛋糊的气体损失较多,比容减小,从而影响成品蛋糕的蓬松度。



不同样品间小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图 1 不同板栗粉质量分数海绵蛋糕的比容

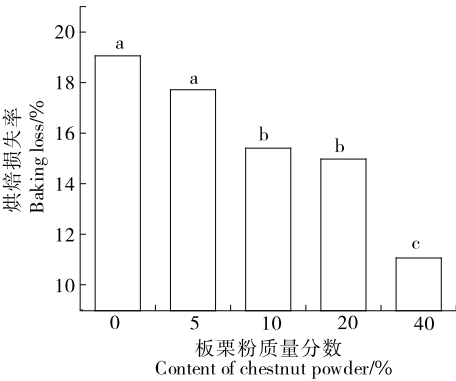
Figure 1 The specific volume of sponge cake with different contents of chestnut powder

2.5 板栗粉对蛋糕烘焙损失率的影响

由图 2 可看出,板栗粉的添加可显著降低海绵蛋糕的烘焙损失率($P<0.05$),与对照组相比,随着板栗粉的添加,蛋糕的烘焙损失率从 19.06% 下降至 11.06% (质量分数为 40%),表明板栗粉的添加有利于改善面糊的持水性,可以使面糊内部蛋白质、淀粉等物质与水分结合状态变得更紧密,且刘荟等^[20]通过试验也证实了在加热过程中特别是 70℃ 以后板栗淀粉的溶解度和膨润力均迅速增加且远远高于小麦淀粉。

2.6 板栗粉对蛋糕老化特性的影响

食品老化是一个复杂的过程,包括烘焙产品在贮藏过程中发生的许多物理、化学和感官变化,会直接降低消费者的消费接受度,从而导致巨大的经济损失^[5]。板栗粉的添加对海绵蛋糕老化焓值的影响如图 3 所示,随着

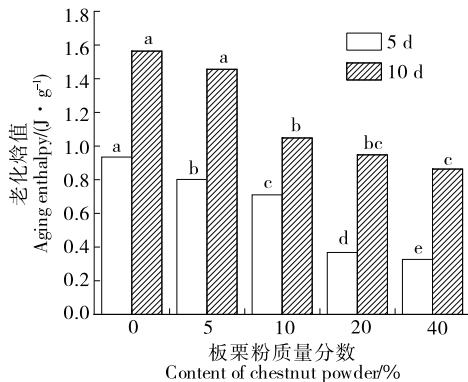


不同样品间小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图 2 不同板栗粉质量分数海绵蛋糕的烘焙损失率

Figure 2 Baking loss of sponge cake with different contents of chestnut powder

板栗粉添加量的增大,蛋糕老化焓值显著减小($P<0.05$),说明板栗粉的添加对蛋糕抗老化有明显作用,添加量越多蛋糕抗老化效果越好。这可能与板栗粉的吸湿性有关,试验发现,无论是面糊还是蛋糕的含水量均随着板栗粉的增加而增加(表 4),而蛋糕的老化特性与其水分含量有密切联系,一般来说,蛋糕的含水量越高可以因延迟老化而降低蛋糕的老化速度^[10]。这种抗老化效果对于蛋糕的长期贮藏(10 d)也表现出相同的规律,可以推测添加板栗粉可能会延长成品蛋糕的货架期^[21]。



不同样品间小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图 3 不同板栗粉添加量海绵蛋糕的老化焓值

Figure 3 Aging enthalpies of sponge cake with different contents of chestnut powder

表 4 板栗粉质量分数对面糊和蛋糕基本营养指标的影响[†]

Table 4 Effects of chestnut powder on basic nutritional parameters of batter and cake

板栗粉质量分数/%	面糊				蛋糕			
	水分	还原糖	脂肪	蛋白质	水分	还原糖	脂肪	蛋白质
0	43.58±0.61 ^b	6.56±0.20 ^b	15.29±0.10 ^a	12.54±0.07 ^a	32.85±0.10 ^c	3.25±0.15 ^c	10.16±0.06 ^d	9.75±0.02 ^a
5	43.74±0.18 ^b	6.73±0.33 ^b	15.30±0.05 ^a	12.52±0.09 ^a	32.90±0.23 ^c	3.39±0.14 ^c	10.24±0.02 ^{cd}	9.49±0.06 ^b
10	44.95±0.59 ^a	7.57±0.30 ^a	15.37±0.26 ^a	12.47±0.04 ^{ab}	33.10±0.09 ^c	3.80±0.14 ^b	10.37±0.04 ^c	9.37±0.08 ^b
20	45.26±0.30 ^a	7.76±0.34 ^a	15.38±0.04 ^a	12.34±0.05 ^{bc}	33.85±0.60 ^b	3.95±0.09 ^{ab}	10.76±0.16 ^b	8.88±0.05 ^c
40	45.41±0.35 ^a	7.87±0.31 ^a	15.43±0.11 ^a	12.20±0.14 ^c	35.67±0.32 ^a	4.12±0.40 ^a	11.28±0.13 ^a	8.68±0.12 ^d

[†] 不同样品间小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

等其他果蔬粉。

2.7.2 矿物元素含量 从表 1 可以看出,板栗粉中的灰分含量为普通小麦粉的 4 倍左右。表 5 是利用 ICP-MS 检测 7 种元素时绘制的标准曲线表,其 R^2 均趋近 1,说明拟合度高,检测效果较好。而表 6 和表 7 分别给出了面糊和蛋糕的 7 种微量元素含量。添加板栗粉可显著增加蛋糕的矿物质元素含量($P<0.05$),极大程度上丰富了蛋糕的矿物元素。这些矿物元素不能在人体内合成,但却是构成机体组织和维持正常生理功能必不可少的成分。因此,从营养健康的角度出发,板栗粉确实是一种优质的营养来源,制作出的海绵蛋糕营养含量也同样丰富。

2.7 板栗粉对蛋糕营养指标的影响

2.7.1 基本营养指标 由表 4 可知,板栗粉的添加对面糊的营养指标影响不大,但对成品蛋糕的影响却非常显著。对海绵蛋糕而言,随着板栗粉的增加,水分含量也在增加,这也印证了前文所述蛋糕比容、烘焙损失率以及老化分析的结果。随着蛋糕水分含量的增加,蛋糕质量也会提高,可以引起较多消费者的购买欲望,同时又可增加经济效益;另外,随着板栗粉质量分数的增加,面糊和蛋糕的还原糖含量显著增加,蛋白质含量显著减少($P<0.05$),但面糊经过烘焙后,二者的含量均降低,且还原糖的降低幅度大于蛋白质。就质量分数为 10% 和 40% 的面糊和蛋糕而言,在烘焙过程中,还原糖含量分别降低了 48.80%, 47.65%, 蛋白质含量降低了 24.86%, 28.85%。这可能是因为板栗粉和小麦粉含有不同种类的糖与蛋白质,在烘焙过程中由于高温发生美拉德反应与焦糖化反应分解成各种风味物质与成色物质,增加了海绵蛋糕的感官风味^[22];对脂肪含量来说,由于相比于小麦粉而言,板栗粉脂肪含量是其 6 倍左右(表 1),所以导致海绵蛋糕脂肪含量显著增加($P<0.05$)。有文献^[23]报道,板栗粉的饱和脂肪酸占比低(16.28%~20.98%),单不饱和脂肪酸(38.76%~44.34%)和多不饱和脂肪酸(38.41%~43.94%)占比高,富含人体必不可少的亚油酸(34.68%~40.04%)和亚麻酸(2.64%~3.89%)等,这就使得板栗粉在海绵蛋糕或者重油蛋糕上的应用优于红枣粉、玉米粉

表 5 7 种矿物元素线性回归方程及拟合优度[†]

Table 5 Linear regression equations and R^2 of 7 mineral elements

元素名称	线性方程	R^2
Mg	$Y=7.90 \times 10^{-3} X-3.025\ 7$	0.997\ 9
K	$Y=9.19 \times 10^{-3} X-2.016\ 2$	0.999\ 2
Ca	$Y=2.74 \times 10^{-5} X-0.007\ 9$	0.995\ 5
Mn	$Y=5.60 \times 10^{-2} X-0.005\ 3$	0.999\ 9
Fe	$Y=9.89 \times 10^{-4} X+0.067\ 4$	0.999\ 8
Cu	$Y=1.80 \times 10^{-2} X+0.003\ 0$	0.999\ 9
Zn	$Y=4.00 \times 10^{-3} X-0.006\ 8$	0.999\ 9

[†] Y 为净强度; X 为质量浓度,ng/mL。

表 6 板栗粉质量分数对面糊 7 种矿物元素含量的影响[†]

Table 6 Effects of chestnut powder on contents of 7 mineral elements in batter

板栗粉质 量分数/%	元素含量/(ng·mL ⁻¹)						
	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Zn
0	277.08±3.88 ^d	1.06±0.01 ^e	29.42±0.48 ^c	1 564.46±10.69 ^e	181.53±2.92 ^e	4.12±0.07 ^e	12.26±0.11 ^d
5	296.31±6.06 ^c	1.26±0.05 ^d	29.59±0.45 ^c	1 829.36±61.23 ^d	202.68±3.21 ^d	4.74±0.18 ^d	12.86±0.43 ^c
10	317.67±2.17 ^b	1.55±0.04 ^c	30.92±0.76 ^b	2 014.26±48.81 ^c	232.61±3.41 ^c	6.49±0.09 ^c	14.16±0.32 ^b
20	322.61±1.16 ^b	1.93±0.04 ^b	31.00±0.29 ^b	2 455.15±17.96 ^b	279.81±1.50 ^b	8.86±0.02 ^b	14.49±0.33 ^b
40	334.34±2.48 ^a	2.98±0.02 ^a	39.03±0.58 ^a	3 317.44±46.84 ^a	390.94±1.37 ^a	14.82±0.17 ^a	16.12±0.09 ^a

† 不同样品间小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 7 板栗粉质量分数对蛋糕 7 种矿物元素含量的影响[†]

Table 7 Effects of chestnut powder on contents of 7 mineral elements in cake

板栗粉质 量分数/%	元素含量/(ng·mL ⁻¹)						
	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Zn
0	289.83±5.77 ^d	1.15±0.09 ^c	37.79±1.60 ^b	1 732.23±19.20 ^c	158.62±1.58 ^e	2.12±0.11 ^e	14.07±1.19 ^c
5	314.41±1.33 ^c	1.78±0.13 ^c	40.67±0.63 ^a	1 798.76±13.04 ^c	170.86±1.12 ^d	3.44±0.05 ^d	14.84±0.00 ^{bc}
10	318.63±1.15 ^{bc}	1.86±0.00 ^c	40.67±1.13 ^a	1 977.74±17.54 ^c	198.45±2.47 ^c	4.62±0.02 ^c	14.77±0.16 ^{bc}
20	322.98±2.86 ^b	2.59±0.39 ^b	41.64±1.84 ^a	2 393.31±30.39 ^b	268.44±1.37 ^b	7.30±0.09 ^b	15.44±0.62 ^b
40	351.01±4.78 ^a	3.15±0.13 ^a	42.77±1.52 ^a	3 090.94±35.29 ^a	403.59±3.06 ^a	15.61±0.27 ^a	16.69±0.06 ^a

† 不同样品间小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.8 感官分析

如图 4 所示,添加板栗粉能使蛋糕的色泽、外观形状、香气、滋味、软硬度、总体喜好程度均得到提升。在色泽上,消费者倾向于选择板栗粉质量分数为 5%或者未添加板栗粉的蛋糕,可能是其金黄色的外表更符合消费者心中对蛋糕的期望;对于外观形状来说,消费者更倾向于选择板栗粉质量分数为 5%和 40%的蛋糕;对于香气来说,与板栗粉质量分数呈正相关的趋势,说明板栗粉能显著提高蛋糕的香味,从而引起消费者的喜爱;对于滋味来说,板栗粉质量分数为 10%和 5%的蛋糕评分更高,这与软硬度的结果也较相似;对于总体喜好程度来说,板栗粉

质量分数为 5%的蛋糕评分远超其余蛋糕,说明消费者最为认可板栗粉质量分数为 5%的蛋糕。

3 结论

试验探究了不同超微板栗粉质量分数(5%,10%,20%,40%)对海绵蛋糕品质的影响。结果表明:超微板栗粉的添加对海绵蛋糕质构品质和比容评分不利,只有控制在 10%以内的蛋糕与对照组无显著性差异;对于成品蛋糕色泽来说,超微板栗粉的加入会显著减小其亮度和黄度,增加其红度;但是对于降低蛋糕烘焙损失率,减小老化焓值,以及增加蛋糕营养成分特别是矿物元素方面,超微板栗粉的加入表现出了特别优秀的能力,与对照组相比,板栗粉质量分数为 40%的蛋糕烘焙损失率和老化焓值(5 d)分别减少 42.01%和 65.04%,而平均矿物元素含量增加75.50%;感官分析结果也证实:并不是超微板栗粉添加量越大成品蛋糕的品质就越好,而是需要控制在一定范围(10%)内才能引起消费者的购买欲望。综合看来,板栗粉添加量为 5%的海绵蛋糕表现出最佳的品质。通过添加超微板栗粉到海绵蛋糕中研制板栗蛋糕,不仅满足了消费者对食品营养的需求,而且能进一步开拓板栗和海绵蛋糕的消费市场,研发出高品质的蛋糕,为烘焙食品的工业化开辟新的方向。

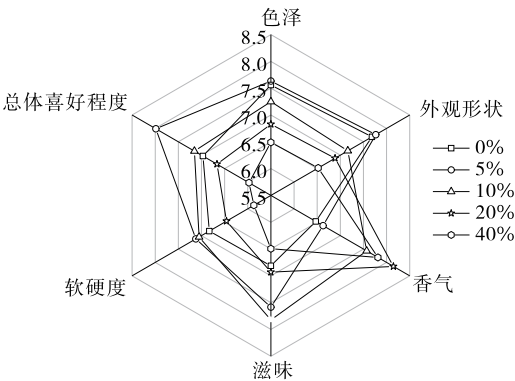


图 4 不同板栗粉质量分数海绵蛋糕的感官评定结果

Figure 4 Sensory evaluation of sponge cake with different contents of chestnut powder

参考文献

[1] 戴永务, 刘伟平. 中国板栗产业国际竞争力现状及其提升策

- 略[J]. 农业现代化研究, 2012, 33(4): 456-460.
- DAI Yong-wu, LIU Wei-ping. Study on current status and promotion strategy of international competitiveness of Chinese chestnut industry[J]. Research of Agricultural Modernization, 2012, 33(4): 456-460.
- [2] YANG F, HUANG X, ZHANG C, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume) and its protein subunit[J]. RSC Advances, 2018, 8(5): 2 653-2 659.
- [3] 寇福兵, 夏晓霞, 薛艾莲, 等. 超微粉碎对板栗粉理化特性及结构特征的影响[J/OL]. 食品与发酵工业. [2021-09-22]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.028474>.
- KOU Fu-bing, XIA Xiao-xia, XUE Ai-lian, et al. Effect of superfine grinding on physicochemical properties and structural characteristics of Chinese chestnut powder[J/OL]. Food and Fermentation Industries. [2021-09-22]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.028474>.
- [4] SORONJA-SIMOVIC D, PAJIN B, SUBARIC D, et al. Quality, sensory and nutritional characteristics of cookies fortified with chestnut flour[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(1): 1-9.
- [5] DEMIRKESEN I, CAMPANELLA O H, SUMNU G, et al. A study on staling characteristics of gluten-free breads prepared with chestnut and rice flours[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(3): 806-820.
- [6] 何冬雪, 苏光林, 谢文佩. 桑叶粉对海绵蛋糕品质及质构性质的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(5): 113-118.
- HE Dong-xue, SU Guang-lin, XIE Wen-pei. Effect of mulberry leaf powder on quality and texture properties of sponge cake[J]. Storage and Process, 2020, 20(5): 113-118.
- [7] HAO Y, WANG F, HUANG W N, et al. Sucrose substitution by polyols in sponge cake and their effects on the foaming and thermal properties of egg protein[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 57: 153-159.
- [8] 雷敏, 郭子荷, 耿得蓉, 等. 诺丽果金融家蛋糕的工艺及配方优化研究[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(6): 72-79.
- LEI Min, GUO Zi-he, JI De-rong, et al. Research on process and formula optimization of noni financier cake[J]. Storage and Process, 2021, 21(6): 72-79.
- [9] 董世荣, 陈芳, 徐微, 等. 玉米粉对蛋糕品质影响规律分析[J]. 食品工业, 2019, 40(12): 133-136.
- TONG Shi-rong, CHEN Fang, XU Wei, et al. Analysis of the influence of corn flour on cake quality[J]. The Food Industry, 2019, 40(12): 133-136.
- [10] PROKOPOV T, GORANOVA Z, BAEVA M, et al. Effects of powder from white cabbage outer leaves on sponge cake quality[J]. International Agrophysics, 2015, 29(4): 493-500.
- [11] 李里特, 江正强. 焙烤食品工艺学[M]. 2 版. 北京: 中国轻工业出版社, 2018: 221.
- LI Li-te, JIANG Zhen-qiang. Technology of baking products[M]. 2nd ed. Beijing: China Light Industry Press, 2018: 221.
- [12] 易碧清, 钟志惠, 贾洪锋, 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 Bi-qing, ZHONG Zhi-hui, JIA Hong-feng, et al. Processing conditions optimization of sugar-free rice bran chiffon cake by response surface methodology[J]. Cereals and Oils, 2020, 33(4): 80-83.
- [13] BORGES V D C, FERNANDES S S, ZAVAREZE E D R, et al. Production of gluten free bread with flour and chia seeds (*Salvia hispanica* L.)[J]. Food Bioscience, 2021, 43: 101294.
- [14] 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 Bing-jie, YANG Bing-kun, XU Yang, et al. Quality of yogurt sponge cake[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(6): 150-155.
- [15] DIAZ-RAMIREZ M, CALDERON-DOMINGUEZ G, GARCIA-GARIBAY M, et al. Effect of whey protein isolate addition on physical, structural and sensory properties of sponge cake[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 61: 633-639.
- [16] LIAO L, WANG Q, ZHAO M M. Investigation of the susceptibility of acid-deamidated wheat gluten to in vitro enzymatic hydrolysis using Raman spectra and free amino acid analysis[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(9): 1 865-1 873.
- [17] SCHIRMER M, JEKLE M, ARENDT E, et al. Physicochemical interactions of polydextrose for sucrose replacement in pound cake[J]. Food Research International, 2012, 48(1): 291-298.
- [18] MANISHA G, SOUMYA C, INDRANI D. Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids and emulsifiers for replacement of sugar in cakes[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 29(2): 363-373.
- [19] SIMEK S T. Evaluation of partial-vacuum baking for gluten-free bread: Effects on quality attributes and storage properties [J]. Journal of Cereal Science, 2019, 91: 102891.
- [20] 刘荟, 周葵, 张雅媛, 等. 板栗淀粉、蛋白质及全粉的特性及在面包中应用研究[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(7): 54-61, 83.
- LIU Hui, ZHOU Kui, ZHANG Ya-yuan, et al. Chestnut starch, protein, whole flour and its application in bread[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(7): 54-61, 83.
- [21] 马德敏, 孙春芳, 丁四海, 等. 一种应用于重油蛋糕中变性淀粉的研究[J]. 农产品加工, 2021(11): 13-15.
- MA De-min, SUN Chun-fang, DING Si-hai, et al. Study on the application of modified starch in pound cake[J]. Farm Products Processing, 2021(11): 13-15.
- [22] 孙菁笛, 吕萍, 孟嫚, 等. 不同淀粉对微波蛋糕品质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(8): 96-100, 104.
- SUN Jin-di, LU Pin, MENG Man, et al. Effect of different starch on quality of cake baked with microwave[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(8): 96-100, 104.
- [23] MORRONE L, DALL'ASTA C, SILVANINI A, et al. The influence of seasonality on total fat and fatty acids profile, protein and amino acid, and antioxidant properties of traditional Italian flours from different chestnut cultivars[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 192: 132-140.