DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2026.16.021

葡萄皮粉无糖蛋糕配方优化

张洋,姚远,张学蓉,李玉娥,康继民,刘敏
(山西农业大学 食品科学与工程学院,山西 太谷 030801)

摘　要:该研究将葡萄皮粉加入蛋糕配方,并用木糖醇代替蔗糖,通过探索葡萄皮粉添加量、木糖醇添加量、泡打粉添加量对蛋糕感官评分、比容和质构特性的影响,对葡萄皮粉无糖蛋糕的配方进行优化。通过正交试验得出,葡萄皮粉无糖蛋糕的最佳配方为鸡蛋100 g、低筋小麦粉75 g、葡萄皮粉25 g、大豆油20 g、木糖醇75 g、水20 g、泡打粉1.3 g。以此配方制作的蛋糕表面油润有光泽,无开裂状况,略带紫色色调,内部气孔均匀,口感细腻,甜度适中,具有葡萄皮粉带来的一丝酸涩味,口感更加丰富有层次,风味独特,感官评分(83.60)高于传统蛋糕(78.50)。葡萄皮粉无糖蛋糕中的总类黄酮含量为0.279 mg/g,是传统蛋糕的3.72倍。

关键词:葡萄皮粉;木糖醇;泡打粉;无糖蛋糕;质构特性;类黄酮

Optimization of the Formulation for Sugar-Free Cake Enriched with Grape Skin Powder

ZHANG Yang, YAO Yuan, ZHANG Xuerong, LI Yu'e, KANG Jimin, LIU Min
(College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China)

Abstract: This study incorporated grape skin powder into a cake formulation and replaced sucrose with xylitol. By investigating the effects of grape skin powder addition, xylitol addition, and baking powder addition on the sensory score, specific volume, and texture characteristics of the cake, the formulation of a grape skin powder sugar-free cake was optimized. The optimal formulation obtained through orthogonal experiments was as follows: egg 100 g, low-gluten wheat flour 75 g, grape skin powder 25 g, soybean oil 20 g, xylitol 75 g, water 20 g, and baking powder 1.3 g. The cake prepared with this formulation had an smooth and glossy surface without cracking, a slightly purplish tone, and uniform internal pores. It exhibited a delicate mouthfeel and moderate sweetness, with a slight sour and astringent taste brought by the grape skin powder. The taste was richer and more layered, with a unique flavor, and the sensory score (83.60) was higher than that of the traditional cake (78.50). The total flavonoid content in the grape skin powder sugar-free cake was 0.279 mg/g, which was 3.72 times that of the traditional cake.

Key words: grape skin powder; xylitol; baking powder; sugar-free cake; texture characteristics; flavonoid

引文格式:
张洋,姚远,张学蓉,等. 葡萄皮粉无糖蛋糕配方优化[J]. 食品研究与开发,2026,47(16):165-171.
ZHANG Yang, YAO Yuan, ZHANG Xuerong, et al. Optimization of the Formulation for Sugar-Free Cake Enriched with Grape Skin Powder[J]. Food Research and Development, 2026, 47(16): 165-171.

在葡萄酒酿造过程中会产生大量废弃的葡萄皮渣,如果不能对其进行有效利用,不仅易造成土壤、水体污染,还会导致原料资源浪费,同时也丧失了其潜在的经济价值与生态价值[1]。葡萄皮渣中含有多种有效成分,如白藜芦醇、原花青素、类黄酮、膳食纤维、果胶、多糖等[2],因此葡萄皮渣也可作为食品添加剂。研究发现,在曲奇饼干中添加葡萄皮粉,产品酥松可口、色泽适中、香气浓郁,感官品质和物理特性指标均明显提升[3];在玛格丽特饼干配方中加入葡萄皮粉,制成的饼干色泽均匀、呈现褐色光泽,酥松可口,味感丰富,且具有一定的保健功能[4];将葡萄皮粉加入蛋糕中,可以大幅提升蛋糕中白藜芦醇、原花青素和黄酮的含量[5]。

蛋糕口感松软、味道香甜,深受消费者的青睐,但是按照传统方法制作的蛋糕高糖、高脂,经常摄入易于引发肥胖、糖尿病等健康问题[6]。制作无糖或低糖蛋糕已然成为降糖饮食领域发展的趋势。关于降低蛋糕

作者简介:张洋(2003—),男(汉),本科,研究方向:葡萄皮粉功能成分及应用。

含糖量方面，目前常见的方法是利用功能性甜味剂替代蔗糖。功能性甜味剂包括单糖、低聚糖和多元糖醇三大类，其热量明显低于等量的蔗糖，在维持良好口感品质的同时，还兼具蔗糖的部分加工特性，且具有一定的营养保健功能[7]。据研究表明，低聚果糖具有降低胆固醇和脂质的作用，能够预防高血压、高血脂等疾病[8]；木糖醇具有预防龋齿、抑制肥胖、稳定血液中葡萄糖水平等功效[9]。

此外，由于蛋糕脂肪含量较高，在储存期间容易引起脂肪氧化酸败，导致产品品质和营养价值大幅下降[2]。葡萄皮渣中含有大量酚类物质，是天然的抗氧化剂，将其经过处理后添加于蛋糕中，有利于缓解脂肪氧化酸败的问题，还可以减少防腐剂的使用。

因此，本研究将葡萄皮粉加入蛋糕配方，并用木糖醇代替蔗糖，通过探索葡萄皮粉添加量、木糖醇添加量、泡打粉添加量对蛋糕感官评分、比容和质构特性的影响，对葡萄皮粉无糖蛋糕的配方进行优化，以期为功能性无糖蛋糕的工业化生产提供理论基础和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

传统蛋糕、低筋小麦粉、大豆油、鸡蛋：市售；赤霞珠葡萄皮渣：山西怡园酒庄；泡打粉：安琪酵母股份有限公司；木糖醇：山东福田药业有限公司；芦丁（分析纯）：上海蓝季科技发展有限公司；甲醇、氢氧化钠（均为分析纯）：天津市北辰区方正试剂厂；亚硝酸钠（分析纯）：天津市永大化学试剂有限公司；硝酸铝（分析纯）：天津市东丽区天大化学试剂厂。

1.2 仪器与设备

电热恒温干燥箱（GZX-GF101-0-S）：上海跃进医疗器械有限公司；高速多功能粉碎机（BJ-200）：德清拜杰电器有限公司；小型打蛋机（JJ-1 100W）：常州金坛良友仪器有限公司；质构分析仪（FT-320）：美国 Food Technology Corporation 公司；烤箱（YXD-2E）：上海奔世包装食品机械有限公司；电子天平（PL2002）：瑞士梅特勒-托利多公司。

1.3 试验方法

1.3.1 葡萄皮粉无糖蛋糕的制备

1.3.1.1 低筋小麦粉的预处理

参考文献[10]的方法，将赤霞珠葡萄皮渣去除葡萄籽，置于 60 ℃的电热恒温干燥箱中，烘干至恒重，然后将烘干的皮渣放入高速多功能粉碎机中粉碎，过 80 目筛，得到葡萄皮粉。将葡萄皮粉与低筋小麦粉按一定比例混合，备用。

1.3.1.2 葡萄皮粉无糖蛋糕基础配方

低筋小麦粉 100 g、木糖醇 75 g、鸡蛋 100 g、大豆油 20 g、水 20 g、泡打粉 1.3 g。

1.3.1.3 葡萄皮粉无糖蛋糕制备工艺

葡萄皮粉无糖蛋糕制备工艺参考文献[5]的方法。

蛋糕面糊的制作：在无水无油的搅拌缸放入鸡蛋和木糖醇，搅打至体积 3 倍大，颜色呈淡黄且浓稠；加入用水溶解的泡打粉，3 档速度搅打 4 min，6 档速度搅打 12 min；少量多次拌入含葡萄皮粉的低筋小麦粉，慢速搅拌，确保无粉结块；加入大豆油，混合均匀。

装模：将蛋糕面糊均匀倒入预先涂好油的圆形蛋糕模具中。

预热：将烤箱预热至面火和底火均为 180 ℃，以确保蛋糕均匀受热。

烘烤：将蛋糕放入烤箱 180 ℃烘烤 15 min。

冷却、脱膜：烘烤结束后，小心取出蛋糕，立即倒置在冷却架上自然冷却；在蛋糕完全冷却后脱模。

1.3.2 感官评价

邀请 10 名具有一定品评经验的食品专业师生对葡萄皮粉无糖蛋糕的外观、色泽、组织结构、柔弹性、口感 5 个方面进行评定打分，结果取平均值[11]，葡萄皮粉无糖蛋糕感官评价标准如表 1 所示。

表 1 葡萄皮粉无糖蛋糕感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for sugar-free cake with grape skin powder

项目	评价标准	评分
外观（20）	块形丰满，无开裂，无塌陷	16~20
	比正常隆起稍高或稍低，稍开裂	12~<16
	表面粗糙，开裂严重，塌陷严重	1~<12
色泽（20）	色泽鲜艳，富有光泽，无焦糊	16~20
	颜色中等	12~<16
	颜色发灰、发暗	1~<12
组织结构（20）	剖面呈细密蜂窝状，气孔分布均匀，无硬块	16~20
	剖面气孔分布不均匀，无硬块	12~<16
	剖面气孔分布不均匀，有硬块	1~<12
柔弹性（20）	发起均匀，富有弹性，无僵硬感	16~20
	弹性中等	12~<16
	弹性较差	1~<12
口感（20）	有葡萄皮粉蛋糕特有的风味，口感松软，甜而不腻	16~20
	有葡萄皮粉蛋糕的风味，较适口	12~<16
	酸涩味过重，粗糙，粘牙	1~<12

1.3.3 蛋糕比容测定

蛋糕比容的测定参照 GB/T 14611—2008《粮油检验 小麦粉面包烘焙品质试验 直接发酵法》中的方法，将经烘烤并冷却至室温的蛋糕切成长、宽、高均为 2 cm 的立方块，测定其质量记为 m(g)。用小米置换法测量其体积（v，mL），蛋糕比容（B，mL/g）的计算公式如下。每组蛋糕重复测量 3 次，结果取平均值。

$$B = \frac{v}{m}$$

1.3.4 蛋糕质构特性测定

用质构分析仪测定蛋糕质构特性，采用全质构分析（texture profile analysis，TPA）模式，选用 TA/100 测

试探头，触发力 0.5 N，量程 1 000 N，压缩率 50%，两次压缩的时间间隔 2.0 s，测试速率 60 mm/min。从 TPA 曲线上得到葡萄皮粉无糖蛋糕的 4 个参数值（弹性、硬度、黏附性、咀嚼性）[12]。试验设 3 次重复，结果取平均值。

1.3.5 蛋糕总类黄酮含量测定

1.3.5.1 样品提取液的制备

将蛋糕放入电热恒温干燥箱中干燥，经粉碎机粉碎后过 80 目筛，准确称取 1 g 蛋糕粉，加入 30 mL 70% 甲醇溶液，在 55 ℃、80 W 条件下超声提取 30 min，8 000 r/min 离心 15 min，取上清液，用 0.45 μm 无菌滤膜过滤，样品提取液置于 4 ℃冰箱中待测。

1.3.5.2 芦丁标准曲线绘制

参考程莹[13]的方法绘制标准曲线，以芦丁浓度为横坐标，吸光度为纵坐标，绘制芦丁标准曲线为 $Y=5.875X+0.053$，$R^2=0.998$。

1.3.5.3 总类黄酮含量的测定

向 10 mL 容量瓶中加入 1 mL 样品提取液、0.3 mL 5% $NaNO_2$ 溶液，摇匀后静置 5 min，加入 0.3 mL 10% $Al(NO_3)_3$ 溶液，摇匀后放置 6 min，加入 2 mL 4% NaOH 溶液，用 70% 甲醇溶液定容至 10 mL，摇匀后静置 15 min，在 510 nm 处测定吸光度[13]。代入芦丁标准曲线，得到总类黄酮含量。

1.3.6 单因素试验

在 1.3.1.2 葡萄皮粉无糖蛋糕基础配方条件下，探究葡萄皮粉添加量（15%、20%、25%、30%、35%）、木糖醇添加量（25、50、75、100、125 g）、泡打粉添加量（0.7、1.0、1.3、1.6、1.9 g）对蛋糕感官评分、比容和质构特性的影响。

1.3.7 正交试验

在单因素试验基础上，采用三因素三水平正交试验，以感官评分为指标，确定葡萄皮粉无糖蛋糕的最佳配方，正交试验因素与水平如表 2 所示。

表 2 正交试验因素与水平

Table 2 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	因素		
	A 葡萄皮粉添加量/%	B 木糖醇添加量/g	C 泡打粉添加量/g
1	20	50	1.0
2	25	75	1.3
3	30	100	1.6

1.4 统计分析

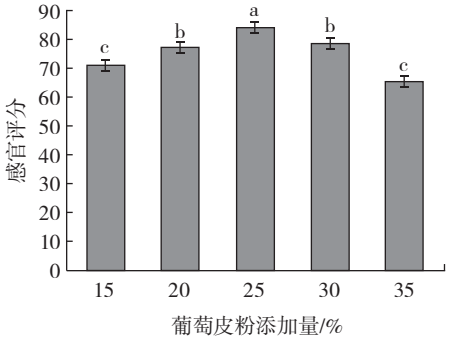
使用 SPSS 26.0 数据分析软件进行方差分析，显著性水平为 $p<0.05$。

2 结果与分析

2.1 葡萄皮粉添加量对蛋糕品质的影响

2.1.1 葡萄皮粉添加量对蛋糕感官评分的影响

葡萄皮粉添加量对蛋糕感官评分的影响见图 1。



不同字母表示差异显著（$p<0.05$）。

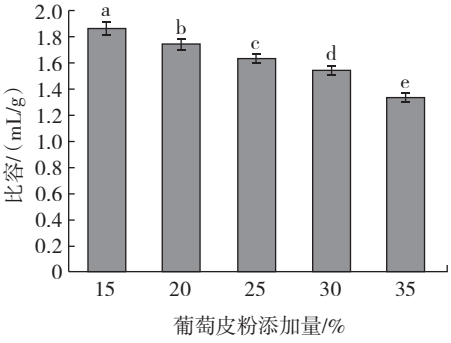
图 1 葡萄皮粉添加量对蛋糕感官评分的影响

Fig.1 Effect of grape skin powder addition on the sensory score of cake

由图 1 可知，随着葡萄皮粉添加量的增加，蛋糕的感官评分呈现先上升后下降的趋势。当葡萄皮粉添加量达到 25% 时，蛋糕的感官评分最高，为 85.9。当葡萄皮粉渣添加量小于 25% 时，葡萄风味不突出；当葡萄皮粉添加量大于 25% 时，感官评分显著降低，一方面葡萄皮渣中的不溶性膳食纤维，使蛋糕口感粗糙生硬、膨胀率低，另一方面葡萄皮渣中的单宁带有苦涩味，也会对蛋糕的风味带来不良影响。

2.1.2 葡萄皮粉添加量对蛋糕比容的影响

在制作蛋糕时，持续的搅拌操作促使原料中混入大量的空气，混入的空气越多，蛋糕的比容就越大，组织就越松软[5]。这是因为在烤制过程中，先前融入的空气会在蛋糕内部转化为细小的气孔，这些气孔的形成不仅增强了蛋糕的组织结构，还赋予其松软且富有弹性的口感。葡萄皮粉添加量对蛋糕比容的影响见图 2。



不同字母表示差异显著（$p<0.05$）。

图 2 葡萄皮粉添加量对蛋糕比容的影响

Fig.2 Effect of grape skin powder addition on the specific volume of cake

由图 2 可知，葡萄皮粉添加量与蛋糕的比容之间存在负相关关系。在低筋小麦粉中加入葡萄皮粉，使面筋蛋白比例下降，从而降低了蛋糕的比容。当葡萄皮粉添加量达到 35% 时，蛋糕口感较为坚硬，蓬松度明显不足。因此，为保持蛋糕的优质口感，建议将葡萄

皮粉添加量控制在 30% 以下。

2.1.3　葡萄皮粉添加量对蛋糕质构特性的影响

弹性、硬度、黏附性和咀嚼性是评价蛋糕品质的重要指标。蛋糕的硬度和咀嚼性越高，口感越粗糙。蛋糕弹性越高，口感越好，良好的弹性会赋予蛋糕松软的优良特性[5]。葡萄皮粉添加量对蛋糕质构特性的影响见表 3。

表 3　葡萄皮粉添加量对蛋糕质构特性的影响

Table 3　Effect of grape skin powder addition on the texture characteristics of cake

葡萄皮粉添加量/%	弹性/mm	硬度/N	黏附性/mJ	咀嚼性/mJ
15	4.43±0.09^{e}	56.17±1.44^{d}	0.87±0.03^{d}	90.13±4.13^{e}
20	5.30±0.08^{d}	55.93±1.30^{d}	0.93±0.02^{c}	115.96±5.42^{d}
25	6.62±0.05^{a}	67.07±1.29^{c}	1.07±0.02^{a}	132.39±5.18^{c}
30	6.30±0.08^{b}	74.91±1.70^{b}	0.99±0.02^{b}	173.57±5.45^{b}
35	5.56±0.08^{c}	87.28±1.46^{a}	0.86±0.02^{d}	215.91±2.38^{a}

注：同列不同字母表示差异显著（$p<0.05$）。

由表 3 可知，蛋糕的硬度和咀嚼性整体随着葡萄皮粉添加量的增加而增大，即葡萄皮粉添加量越高，蛋糕质地越硬，越耐咀嚼。蛋糕弹性和黏附性在葡萄皮粉添加量为 25% 时达到最大值，此时蛋糕弹性良好、口感松软，与感官评价结果一致。当葡萄皮粉添加量超过 25% 后，蛋糕弹性逐渐降低，可能是由于添加葡萄皮粉降低了体系中的面筋含量，面筋网络对蛋糕的支撑力减小。

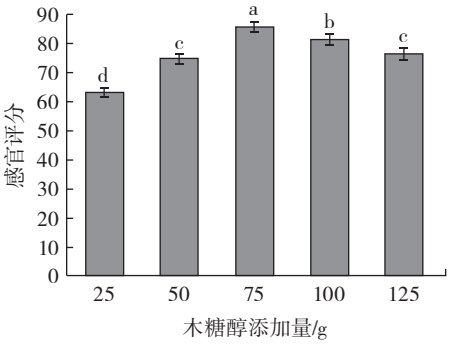
综上，选择葡萄皮粉添加量 20%、25%、30% 进行后续正交试验。

2.2　木糖醇添加量对蛋糕品质的影响

木糖醇的甜度与蔗糖相近，但其热量仅为 2.4 kJ/g，蔗糖热量为 3.9 kJ/g，木糖醇在体内参与新陈代谢不会引发胰岛素含量水平的改变，具有稳定血糖的功能[13]。

2.2.1　木糖醇添加量对蛋糕感官评分的影响

木糖醇添加量对蛋糕感官评分的影响见图 3。



不同字母表示差异显著（$p<0.05$）。

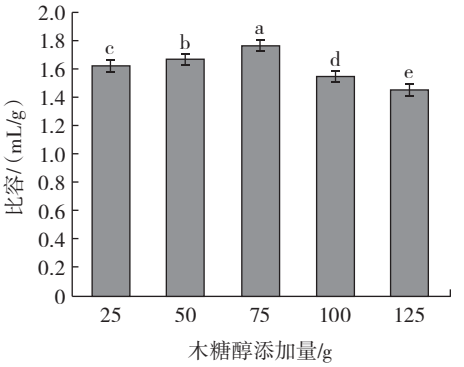
图 3　木糖醇添加量对蛋糕感官评分的影响

Fig.3　Effect of xylitol addition on the sensory score of cake

由图 3 可知，随着木糖醇添加量的增加，蛋糕的感官评分呈现先上升后下降的趋势。当木糖醇添加量达到 75 g 时，蛋糕的感官评分最高，为 83.4，蛋糕的整体品质达到最佳状态。当木糖醇添加量较低时，甜味较淡，而木糖醇添加量过高则导致蛋糕过于甜腻。

2.2.2　木糖醇添加量对蛋糕比容的影响

木糖醇添加量对蛋糕比容的影响见图 4。



不同字母表示差异显著（$p<0.05$）。

图 4　木糖醇添加量对蛋糕比容的影响

Fig.4　Effect of xylitol addition on the specific volume of cake

由图 4 可知，随着木糖醇添加量的增加，蛋糕的比容同样呈现先上升后降低的趋势。当木糖醇添加量为 75 g 时，蛋糕的比容最大（1.77 mL/g）。蛋糕的比容反映了蛋糕的膨胀度及持气能力，会影响蛋糕的外观及口感。有研究表明，无糖蛋糕比容较小是因为面糊持气性较差，面糊黏度下降，气泡面积变大，气泡在烘烤过程中上浮破裂，导致面糊稳定性下降。此外，无糖蛋糕在较低温度时就开始形成固化的网状结构，传热速率下降，气体膨胀不足，导致蛋糕的体积变小，这也是无糖蛋糕比容较小的原因之一[11]。

2.2.3　木糖醇添加量对蛋糕质构特性的影响

木糖醇添加量对蛋糕质构特性的影响见表 4。

表 4　木糖醇添加量对蛋糕质构特性的影响

Table 4　Effect of xylitol addition on the texture characteristics of cake

木糖醇添加量/g	弹性/mm	硬度/N	黏附性/mJ	咀嚼性/mJ
25	4.88±0.08^{e}	44.91±2.15^{e}	0.47±0.02^{e}	114.26±2.46^{e}
50	5.57±0.10^{d}	55.99±1.22^{d}	0.61±0.06^{d}	134.35±2.98^{d}
75	6.75±0.17^{a}	65.62±2.62^{c}	0.76±0.03^{c}	158.34±3.93^{c}
100	6.36±0.11^{b}	72.58±1.73^{b}	0.85±0.03^{b}	189.09±4.95^{b}
125	5.90±0.05^{c}	87.26±1.46^{a}	0.98±0.04^{a}	216.37±3.10^{a}

注：同列不同字母表示差异显著（$p<0.05$）。

由表 4 可知，随着木糖醇添加量的增加，蛋糕的硬度、黏附性、咀嚼性均呈现出稳步上升的趋势。木糖醇与面团的蛋白质间形成氢键作用力，帮助面团增强自身结构，进而提升面团的黏度[14]，并且面团中的游离水能与木糖醇分子中的羟基结合，因此，增加木糖醇添加

量，可以提高面团的内聚力，从而在一定范围内增强面团的咀嚼性[15]。蛋糕的弹性在木糖醇添加量为75 g时达到最高，为6.75 mm，此时蛋糕口感松软，弹性良好，与感官评分结果一致。然而，随着木糖醇添加量的进一步增加，蛋糕的弹性逐渐减弱，这可能与蛋糕内部网络结构变得紧密有关。

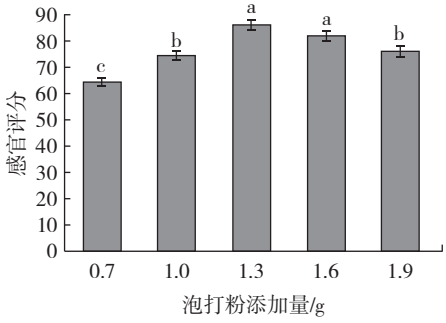
综上，选择木糖醇添加量50、75、100 g进行后续正交试验。

2.3 泡打粉添加量对蛋糕品质的影响

泡打粉是一种食用型添加剂，它是苏打粉配合其他酸性材料，以玉米粉为填充剂的白色粉末，主要用于面制食品的快速疏松[12]。

2.3.1 泡打粉添加量对蛋糕感官评分的影响

泡打粉添加量对蛋糕感官评分的影响见图5。



不同字母表示差异显著（$p<0.05$）。

图5 泡打粉添加量对蛋糕感官评分的影响

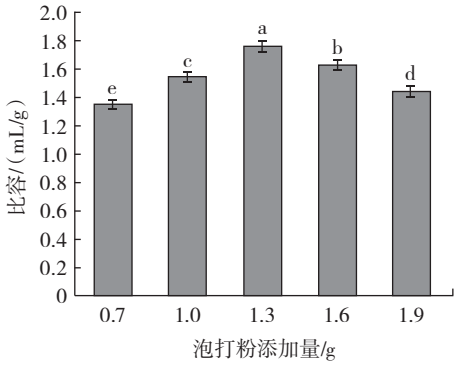
Fig.5 Effect of baking powder addition on the sensory score of cake

由图5可知，泡打粉的添加量从0.7 g增加到1.3 g时，蛋糕内部出现大量蜂窝状小孔，这不仅增强了蛋糕的松软度，还使口感更加细腻，感官评分也相应提高。在泡打粉添加量达到1.3 g时，蛋糕的感官评分达到峰值，为86.3。随着泡打粉添加量的进一步增加，蛋糕内部孔洞分布不均匀，导致口感粗糙和干燥。当泡打粉添加量为1.6 g时，蛋糕带有苦涩味，而当泡打粉添加量为1.9 g时，苦涩味变得尤为显著，几乎掩盖了蛋糕原有的香甜风味，此时蛋糕的感官评分降低至76.1。

2.3.2 泡打粉添加量对蛋糕比容的影响

泡打粉添加量对蛋糕比容的影响见图6。

由图6可知，随着泡打粉添加量的增加，蛋糕比容呈现先上升后降低的趋势。当泡打粉添加量达到1.3 g时，蛋糕的比容达到最大值，为1.76 mL/g；当泡打粉添加量达到1.9 g时，蛋糕的比容显著下降至1.45 mL/g，此时蛋糕顶部出现严重凹陷，表面皱缩，且内部出现明显的大孔洞。这一结果表明，适量添加泡打粉能够有效增大蛋糕体积，但过量添加则会导致蛋糕坯无法有效包裹多余气体，进而引发蛋糕破裂和塌陷[16]。



不同字母表示差异显著（$p<0.05$）。

图6 泡打粉添加量对蛋糕比容的影响

Fig.6 Effect of baking powder addition on the specific volume of cake

2.3.3 泡打粉添加量对蛋糕质构特性的影响

泡打粉添加量对蛋糕质构特性的影响见表5。

表5 泡打粉添加量对蛋糕质构特性的影响

Table 5 Effect of baking powder addition on the texture characteristics of cake

泡打粉添加量/g	弹性/mm	硬度/N	黏附性/mJ	咀嚼性/mJ
0.7	4.45±0.08^{e}	63.30±0.87^{a}	0.23±0.02^{e}	151.40±1.30^{a}
1.0	5.39±0.14^{d}	57.20±0.45^{b}	0.33±0.02^{c}	147.00±1.37^{b}
1.3	6.80±0.13^{a}	45.93±0.35^{e}	0.46±0.03^{a}	132.13±0.67^{c}
1.6	6.25±0.17^{b}	47.90±0.62^{d}	0.37±0.02^{b}	122.27±0.55^{e}
1.9	5.69±0.18^{c}	55.10±0.70^{c}	0.27±0.02^{d}	126.89±0.65^{d}

注：同列不同字母表示差异显著（$p<0.05$）。

由表5可知，随着泡打粉添加量的增加，蛋糕的弹性先上升后下降，原因可能是泡打粉添加量过大，蛋糕内部形成较多气孔，组织粗糙，且崩顶破损显著加重[17]；若泡打粉添加量不足，面团内部结构会较为紧密，导致产品质地较硬，口感不佳[18]。当泡打粉添加量为1.3 g时，蛋糕的弹性达到最大值，为6.80 mm，此时蛋糕的质地均匀，其芯部结构状态达到最佳。

综上，选择泡打粉添加量1.0、1.3、1.6 g进行后续正交试验。

2.4 正交试验结果

为了获得葡萄皮粉无糖蛋糕的最优配方，进行三因素三水平正交试验，结果如表6所示。

表6 正交试验结果

Table 6 Orthogonal experiment results

试验号	因素			感官评分
	A	B	C	
1	1	1	1	74.2
2	1	2	2	81.4
3	1	3	3	76.1
4	2	1	2	81.0
5	2	2	3	83.6
6	2	3	1	81.7

续表 6　正交试验结果

Continue table 6　Orthogonal experiment results

试验号	因素			感官评分
	A	B	C	
7	3	1	3	80.9
8	3	2	1	84.2
9	3	3	2	79.3
K_1	231.7	236.1	240.1	
K_2	246.3	249.2	241.7	
K_3	244.4	237.1	240.6	
k_1	77.23	78.70	80.03	
k_2	82.10	83.07	80.57	
k_3	81.47	79.03	80.20	
R	4.87	4.37	0.53	

由表 6 可知，9 组试验中感官评分最高的是 $A_3B_2C_1$，达到 84.2。由极差分析可知，3 个因素对葡萄皮粉无糖蛋糕感官评分的影响排序为葡萄皮粉添加量>木糖醇添加量>泡打粉添加量。由 k 值可知，葡萄皮粉无糖蛋糕的最佳配方组合为 $A_2B_2C_2$。对正交试验结果进行验证，结果显示，按照 $A_2B_2C_2$ 配方制作的葡萄皮粉无糖蛋糕感官评分达 86.0。由此确定，葡萄皮粉无糖蛋糕的最优配方为葡萄皮粉添加量 25%、木糖醇添加量 75 g、泡打粉添加量 1.3 g。

2.5　葡萄皮粉无糖蛋糕品质分析

葡萄皮粉无糖蛋糕与传统蛋糕的品质分析见表 7。

由表 7 可知，与传统蛋糕相比，葡萄皮粉无糖蛋糕的比容和弹性较差，而硬度、黏附性和咀嚼性较高，整体的质构特性稍逊于传统蛋糕。主要原因是添加葡萄皮粉降低了体系中面筋蛋白的含量，另一方面使用木糖醇替代蔗糖，持气能力及膨胀性减弱，从而影响蛋糕的质构特性。此外，葡萄皮粉无糖蛋糕表面油润有光泽，无开裂状况，略带紫色色调，内部气孔均匀，口感细腻，甜度适中，具有葡萄皮粉带来的一丝酸涩味，口感更加丰富有层次，风味独特，感官评分（83.60）高于传统蛋糕（78.50），说明葡萄皮粉无糖蛋糕在质构方面的差异是可以被接受的。从质构特性看，葡萄皮粉的添加虽会略微降低蛋糕的比容和弹性，但其高纤维含量能有效增强产品的硬度和咀嚼性，这一现象在饼干[3]、面包[19]、馒头[20]中亦存在类似规律。

表 7　葡萄皮粉无糖蛋糕与传统蛋糕的品质分析

Table 7　Quality analysis of sugar-free cake with grape skin powder and traditional cake

样品	比容/(mL/g)	弹性/mm	硬度/N	黏附性/mJ	咀嚼性/mJ	总类黄酮含量/(mg/g)	感官评分
葡萄皮粉无糖蛋糕	1.34±0.08	6.46±0.13	54.50±0.25	0.99±0.05	128.32±3.05	0.279±0.028	83.60±0.85
传统蛋糕	1.95±0.04	6.83±0.11	37.10±2.53	0.67±0.06	98.51±3.58	0.075±0.004	78.50±1.01

葡萄皮粉无糖蛋糕的总类黄酮含量是传统蛋糕的 3.72 倍，说明添加葡萄皮粉可以提高蛋糕的营养价值，并延长保质期。黄酮类物质具有降糖、降脂、抗菌等功能，还能通过清除自由基抑制美拉德反应中 1，2-二羰基化合物和晚期糖基化终末产物（advanced glycation end products，AGEs）的产生[21]。段丽丽等[5]在蛋糕中加入葡萄皮粉后，硬度、黏附性和咀嚼性增大，弹性减小，但是蛋糕中白藜芦醇、原花青素和黄酮含量显著增加，营养价值和保健作用大大提高，与本研究结果一致。不同的是，本研究中的葡萄皮粉无糖蛋糕属于无糖蛋糕，食物热量更低，更符合健康理念。该搭配显著提升了蛋糕的感官品质与营养价值，对其他烘焙食品（如面包、饼干、馒头等）的配方设计具有重要启示。

3　结论

葡萄皮渣作为酿酒工业的副产物，其在烘焙食品中的应用不仅解决了资源浪费问题，还为功能性食品开发提供了新思路。本研究将葡萄皮粉添加到蛋糕配方中，并用木糖醇完全代替蔗糖，通过正交试验得出葡萄皮粉无糖蛋糕的最佳配方为鸡蛋 100 g、低筋小麦粉 75 g、葡萄皮粉 25 g、大豆油 20 g、木糖醇 75 g、水 20 g、泡打粉 1.3 g，此条件下制作的葡萄皮粉无糖蛋糕质地松软，组织细腻，味感丰富，具有独特的葡萄风味，且类黄酮含量较高。本研究为普通消费者、糖尿病人及肥胖人群提供了一种高膳食纤维、高抗氧化活性的功能性无糖蛋糕配方，不仅提高了蛋糕的营养价值，改善了蛋糕的风味，还提高了酿酒葡萄皮渣的利用率。

总之，葡萄皮渣与功能性甜味剂的协同应用在烘焙食品中的应用潜力不仅限于蛋糕，未来研究还可聚焦于面包、饼干等不同的食品基质。此类协同应用模式通过成分功能互补，为烘焙食品的营养强化与品质提升提供了多元解决方案，展现出酿酒副产物在功能性食品领域的广阔开发前景。

参考文献：

[1]　李霞，高恒芳，白皙，等．葡萄皮渣多酚-壳聚糖复合可食膜的性能及应用[J]. 包装与食品机械，2024，42(2)：26-34.
LI Xia, GAO Hengfang, BAI Xi, et al. Properties and application of grape pomace polyphenol-chitosan composite edible film[J]. Packaging and Food Machinery, 2024, 42(2): 26-34.

[2]　张玉清，聂小伟，何粉霞，等．酿酒葡萄皮渣在烘焙食品中的应用现状[J]. 粮食与油脂，2020，33(12)：10-11.
ZHANG Yuqing, NIE Xiaowei, HE Fenxia, et al. Application of wine grape skin pomace in baking food[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(12): 10-11.

[3]　王君，李玉娥，杨华，等．酿酒葡萄皮渣对曲奇饼干感官品质和

物理特性的影响[J]. 食品科学技术学报, 2017, 35(5): 66-71.
WANG Jun, LI Yu′e, YANG Hua, et al. Effects of wine grape pomace on sensory qualities and physical characteristics of cookies[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 35(5): 66-71.

[4] 郭欣 . 葡萄皮玛格丽特饼干的研制[J]. 漳州职业技术学院学报, 2022, 24(1): 78-85.
GUO Xin. A study of the formula of Margaret biscuits with grape skins[J]. Journal of Zhangzhou Institute of Technology, 2022, 24(1): 78-85.

[5] 段丽丽, 贾洪锋, 徐向波, 等 . 葡萄皮粉在蛋糕中的应用[J]. 食品与发酵科技, 2017, 53(1): 53-55, 104.
DUAN Lili, JIA Hongfeng, XU Xiangbo, et al. Application of grape skin powder in cake[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2017, 53(1): 53-55, 104.

[6] 吴艳钦, 张锶莹, 翁馨, 等 . 响应面法优化蛹虫草猴头菇银耳复合蛋糕加工工艺[J]. 宁德师范学院学报(自然科学版), 2024, 36(2): 174-180.
WU Yanqin, ZHANG Siying, WENG Xin, et al. Study on formula optimization of *Cordyceps militaris*, *Hericium erinaceus* and *Tremella fuciformis* composite cake by response surface methodology [J]. Journal of Ningde Normal University (Natural Science), 2024, 36(2): 174-180.

[7] 刘婉, 田菊平 . 高糖饮食危害及西点减糖策略研究[J]. 食品安全导刊, 2023(18): 175-178.
LIU Wan, TIAN Juping. Study on the harm of high sugar diet and the strategy of reducing sugar with west point[J]. China Food Safety Magazine, 2023(18): 175-178.

[8] 于萌萌, 段元良, 周清涛, 等 . 功能性甜味剂的特性及应用[J]. 精细与专用化学品, 2022, 30(2): 1-4.
YU Mengmeng, DUAN Yuanliang, ZHOU Qingtao, et al. Characteristics and application of functional sweeteners[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2022, 30(2): 1-4.

[9] 廖琼 . 功能性甜味剂木糖醇在食品加工中的应用[J]. 食品安全导刊, 2024(31): 160-162.
LIAO Qiong. Application of functional sweetener xylitol in food processing[J]. China Food Safety Magazine, 2024(31): 160-162.

[10] 田晓玲 . 葡萄皮曲奇饼干研制[J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2018, 20(3): 9-10.
TIAN Xiaoling. Research on making cookies with grape-peel power [J]. Journal of Liaoning Agricultural Technical College, 2018, 20 (3): 9-10.

[11] 牛立沙 . 糖醇在海绵蛋糕中的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
NIU Lisha. Study on the application of sugar alcohols in sponge cake[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.

[12] 徐克 . 双效泡打粉对戚风蛋糕品质影响的研究[J]. 科教文汇(中旬刊), 2020(8): 123-126.
XU Ke. Study on the effect of double-effect baking powder on the quality of chiffon cake[J]. The Science Education Article Collects, 2020(8): 123-126.

[13] 程莹 . 黄精杂粮蛋糕的研制及其品质研究[D]. 成都: 成都大学, 2023.
CHENG Ying. Study on the preparation and quality of *Polygonatum* coarse grain cake[D]. Chengdu: Chengdu University, 2023.

[14] 王媛媛, 许宝亮, 张歆茹, 等 . 黑蒜板栗蛋糕的研制及质构特性分析[J]. 食品科技, 2025, 50(1): 163-171.
WANG Yuanyuan, XU Baoliang, ZHANG Xinru, et al. Preparation and texture characteristics analysis of chestnut cake with black garlic[J]. Food Science and Technology, 2025, 50(1): 163-171.

[15] 刁子蔚, 包海波, 乔翠红 . 木糖醇对面团特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(6): 95-99.
DIAO Ziwei, BAO Haibo, QIAO Cuihong. The influence of xylitol on dough properties[J]. Food Research and Development, 2017, 38 (6): 95-99.

[16] 张晓双, 赵二霞, 王永巍, 等 . 馒头制作常见问题分析[J]. 现代食品, 2023, 29(10): 25-28.
ZHANG Xiaoshuang, ZHAO Erxia, WANG Yongwei, et al. Analysis of common problems in making steamed bread[J]. Modern Food, 2023, 29(10): 25-28.

[17] 付文军, 向晨曦, 刘晓媛, 等 . 响应面法优化桂花蛋糕工艺[J]. 农产品加工, 2024(18): 54-58.
FU Wenjun, XIANG Chenxi, LIU Xiaoyuan, et al. Optimization of processing technology of *Osmanthus* cake by response surface methodology[J]. Farm Products Processing, 2024(18): 54-58.

[18] 王珠琳, 段晋娇, 王茜 . 响应面优化低糖富硒葛根桃酥配方[J]. 粮食与食品工业, 2024, 31(6): 36-41.
WANG Zhulin, DUAN Jinjiao, WANG Qian. Formula optimization of low sugar and selenium—enriched *Pueraria* shortcake by response surface method[J]. Cereal & Food Industry, 2024, 31(6): 36-41.

[19] 段丽丽, 戢得蓉, 徐向波, 等 . 葡萄皮粉面包配方优化研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(12): 106-109.
DUAN Lili, JI Derong, XU Xiangbo, et al. The preparation of grape skin powder bread recipe optimization research[J]. Food Research and Development, 2018, 39(12): 106-109.

[20] 邹磊 . 葡萄皮渣对馒头感官品质和抗氧化能力的影响[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(7): 19-22.
ZOU Lei. Effect of grape pomace on the sensory quality and antioxidant capacity of steamed bread[J]. Cereals & Oils, 2016, 29(7): 19-22.

[21] 陆敏 . 黄酮抑制蛋糕体系美拉德反应有害产物的研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2016.
LU Min. Study of inhibitory effect of flavonoids on harmful products from Maillard reaction in cakes[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2016.

加工编辑:张昱
收稿日期:2025-06-26