Hans Journal of Food and Nutrition Science 食品与营养科学, 2024, 13(2), 257-268
Published Online May 2024 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/hjfns
https://doi.org/10.12677/hjfns.2024.132033

Hans汉斯

葡萄皮膳食纤维桃酥配方的优化

李欣悦，毕锦泽，刘亚梅，周子坤，师晓营，魏嘉资，牟建楼*

河北农业大学食品科技学院，河北 保定

收稿日期：2024年3月25日；录用日期：2024年5月22日；发布日期：2024年5月30日

摘 要

在传统桃酥配方中加入葡萄皮膳食纤维，并以感官品质和质构为指标，通过单因素试验和正交试验优化得到葡萄皮膳食纤维桃酥适宜的配方：以面粉为100%计，黄油添加25%、糖粉(零卡糖:木糖醇 = 1:1)添加25%、改性SDF和IDF添加8%、改性SDF和IDF的添加比例为1:2、鸡蛋液10%、食用小苏打1.50%、泡打粉1.50%，在此工艺条件下感官评分为80.25分。膳食纤维桃酥的估计血糖生成指数值为59.89，比普通桃酥下降了1.22倍，属于中GI食品。

关键词

葡萄皮，葡萄皮膳食纤维桃酥，正交试验

Optimization of Grape Skin Dietary Fiber Peach Crisp Formula

Xinyue Li, Jinze Bi, Yamei Liu, Zikun Zhou, Xiaoying Shi, Jiazi Wei, Jianlou Mu*

School of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding Hebei

Received: Mar. 25th, 2024; accepted: May 22nd, 2024; published: May 30th, 2024

Abstract

Grape skin dietary fiber was added to traditional fiber crisp cake formulas, and sensory quality and texture were used as indicators. A suitable formula for grape skin dietary fiber crisp cake was optimized through single factor and orthogonal experiments: flour as 100%, butter as 25%, sugar powder (zero caramel:xylitol = 1:1) as 25%, modified SDF and IDF as 8%, modified SDF and IDF as 1:2, egg liquid as 10%, edible baking soda as 1.50%, and baking powder as 1.50%. Under these process conditions, the sensory score was 80.25 points. The estimated Glycemic Index (eGI) value of dietary fiber crisp cake is 59.89, which is 1.22 times lower than that of regular crisp cake and

*通讯作者。

文章引用: 李欣悦, 毕锦泽, 刘亚梅, 周子坤, 师晓营, 魏嘉资, 牟建楼. 葡萄皮膳食纤维桃酥配方的优化[J]. 食品与营养科学, 2024, 13(2): 257-268. DOI: 10.12677/hjfns.2024.132033

belongs to the category of medium GI foods.

Keywords

Grape Skin, Grape Skin Dietary Fiber Crisp Cake, Orthogonal Test

1. 引言

酿酒葡萄皮渣指的是在葡萄酒的酿制过程中，经过压榨取汁处理或发酵后的副产物，大约占原果重的 20%左右[1]。在葡萄皮渣中，果皮约占皮渣湿重的 50%~82%，果皮中含有丰富的膳食纤维、花青素和多酚类等活性物质，这些物质使得葡萄皮拥有良好的开发前景和经济价值[2]。其中，膳食纤维对维护人体健康中起着至关重要的作用，包括维持消化系统的健康，以及对心血管疾病、癌症、糖尿病等其它疾病的预防作用[3]。

膳食纤维在面制品中的应用非常广泛，通常被加入到面包、面条、曲奇和馒头等食品中。Lou 等[4]研究了不同添加水平的葡萄籽粉、葡萄皮粉和葡萄渣粉对小麦面团流变学特性和微观结构的影响，结果表明 3 种类型的葡萄粉均能显著增强面团体系的强度。Helen 等[5]将未成熟的香蕉和脱脂芝麻粉作为膳食纤维的来源添加到饼干中，结果表明添加未成熟的香蕉和脱脂芝麻粉的饼干具有更高的营养特性和膳食纤维组成。李旭燕等[6]利用膳食纤维制作低血糖生成指数(Glycemic Index, GI)高纤维面包，结果发现在燕麦 β-葡聚糖添加量为 8%时，面包的感官评分为 76，eGI 值为 52.63，总 DF 含量为 8.13/100g，属于低 GI 高纤维面包。

未见有将葡萄皮纤维应用于传统桃酥加工的报道。因此本研究对葡萄皮膳食纤维桃酥的配方进行开发，以感官评分和质构测定为指标，探究黄油添加量、糖粉添加量、可溶性膳食纤维和不溶性膳食纤维的添加量、可溶性膳食纤维和不溶性膳食纤维的添加比例对桃酥品质的影响，确定适宜的葡萄皮膳食纤维桃酥配方；并对葡萄皮膳食纤维桃酥的基本组成、色泽、摊裂度以及淀粉体外消化进行研究。从而实现提高葡萄皮渣的利用率。

2. 材料与方法

2.1. 材料与仪器

白葡萄皮可溶性膳食纤维(MSDF)和不溶性膳食纤维(MIDF)，实验室提取；安佳黄油，新加坡商永纽股份有限公司；小苏打和泡打粉，上海枫未实业有限公司。

海氏 C41 烤箱，青岛海氏烘焙电器有限公司。

2.2. 试验方法

2.2.1. 葡萄皮膳食纤维桃酥生产工艺流程及操作要点

葡萄皮膳食纤维桃酥的工艺流程：原辅料预处理→揉制面团→分坯整型→放入托盘→烘烤→冷却→成品。

原辅料预处理：分别将膳食纤维粉和面粉过 40 目筛。

面团调制：准确称取适量黄油，分 3 次加入糖粉(零卡糖:木糖醇 = 1:1)并低速搅拌，直至黄油与糖粉完全融合且体积膨大至原来的 1.5 倍。然后将鸡蛋液分两次加入，充分搅拌至蛋液和黄油糖粉完全融合。筛入准确称取的面粉和膳食纤维粉及膨松剂(小苏打:泡打粉 = 1:1)顺时针低速拌匀防止面团起筋。

分坯整型：室温下放置 15 min 后将面团分割成 15 g 左右的面胚并将其搓圆并按压成饼状。

烘烤：使用上温 160℃、底火 160℃焙烤 20 min 后待其自然冷却。

2.2.2. 葡萄皮膳食纤维桃酥配方优化试验设计

以感官评分结合质构数据为指标，对黄油添加量、糖粉添加量、MSDF 和 MIDF 的添加量、MSDF 和 MIDF 的比例进行单因素和正交试验，以获得膳食纤维桃酥的适宜配方。

(1) 葡萄皮膳食纤维桃酥配方单因素试验

以感官评分结合质构数据为指标，以面粉为 100%计，固定鸡蛋液添加 10%、食用小苏打添加 1.50%、泡打粉添加 1.50%，分别研究黄油添加(25%、35%、45%、55%、65%)、糖粉添加(20%、25%、30%、35%、40%)、MSDF 和 MIDF 的添加量(2%、4%、6%、8%、10%)、MSDF 和 MIDF 的添加比例(3:0、2:1、1:1、1:2、0:3)对桃酥感官品质和质构的影响。

(2) 葡萄皮膳食纤维桃酥配方正交优化试验设计

在单因素试验结果的基础上，以黄油添加量、糖粉添加量、MSDF 和 MIDF 的添加量、MSDF 和 MIDF 的比例为变量，以感官评分为指标，采用 $L_9(3^4)$正交设计优化膳食纤维桃酥配方。因素水平设计见表 1。

Table 1. Orthogonal test factor levels of grape skin dietary fiber crisp cake
表 1. 葡萄皮膳食纤维桃酥制作正交试验因素水平

水平	因素			
	黄油添加量/%	糖粉添加量/%	MSDF 和 MIDF 的添加量/%	MSDF 和 MIDF 的比例
1	25	25	6	1:1
2	35	30	8	1:2
3	45	35	10	0:3

2.3. 试验结果测定方法

2.3.1. 葡萄皮膳食纤维桃酥基本组分

蛋白质含量，脂肪含量，淀粉含量，膳食纤维含量和灰分含量分别按照 GB 5009.5-2016，GB 5009.6-2016，GB 5009.9-2016，GB 5009.88-2014 和 GB 5009.4-2016 测定。

2.3.2. 葡萄皮膳食纤维桃酥感官评分标准

参考了 GB/T20977-2007 和 GB 7099-2015，从形态、色泽、组织、滋味和口感四个指标来对桃酥进行感官评价。挑选 10 名经过培训的实验室专业人员进行膳食纤维桃酥感官评定，感官评分标准见表 2。

Table 2. Sensory scoring table
表 2. 感官评分表

项目	评分标准	评分/分
形态(25)	外形整齐，底部平整，厚薄均匀，表面摊裂明显	18~25
	外形略有瑕疵，底部较平整，厚薄较均匀，表面摊裂较明显	11~17
	外形不整齐，底部不平整，厚薄不均匀，表面摊裂不明显	≤10

续表

色泽(25)	表面颜色均匀一致，呈棕黄色	18~25
	表面颜色较均匀，大部分呈棕黄色	11~17
	表面颜色不均匀，呈焦黑色	≤10
组织(25)	蜂窝空隙均匀，无不规则大空洞，无糖粒和粉块	18~25
	蜂窝空隙均匀，有轻微糖粒和粉块	11~17
	蜂窝空隙不均匀，有大块糖粒和粉块	≤10
滋味和口感(25)	口感疏松酥脆，不油腻，甜度适中，香味浓郁，无异味	18~25
	口感疏松酥脆，较油腻，甜味较重或较淡，香味较浓郁，无异味	11~17
	口感不疏松酥脆，油腻，有异味	≤10

2.3.3. 葡萄皮膳食纤维桃酥质构测定

利用质构仪测定桃酥硬度、弹度、胶粘性、咀嚼性。选用带刀刃型的探头，探头下压 2 次；测试参数为测前速度 30.00 mm/min、测试速度 30.00 mm/min、测后速度 30.00 mm/min；型变量 30%模式为压缩，起始距离 25.00 mm，触发力 1 N。

2.3.4. 桃酥色泽测定

将桃酥磨碎后用色差仪测定 L^*、a^*、b^*值。每个样品重复 3 次，取平均值。

2.3.5. 桃酥摊裂度测定

$$\text{摊裂度} = \frac{d}{h} \tag{1}$$

式中：d 为桃酥直径，mm；h 为桃酥厚度，mm。

2.3.6. 桃酥淀粉体外消化特性测定

淀粉体外消化的测定方法是在 Englyst [7]的方法基础上进行适当修改。称取 2.00 g 置于锥形瓶内，依次加入醋酸钠缓冲溶液(0.1 M, pH 5.2) 40 mL，玻璃珠和混合酶液(α-淀粉酶 290 U/mL，糖化酶 50 U/mL) 10 mL 后，在 37℃、150 r/min 的转速下振荡反应，分别在 0、20、60、90、120、180 min 时取 0.2 mL 消化液并用蒸馏水定容至 1 mL。灭酶后的消化液离心取上清液用 GOD-POD 试剂盒测定水解产生的葡萄糖含量，参照柳芳伟[8]的方法计算样品淀粉水解率，公式如下所示：

$$S_H = 0.9 * \frac{G_P}{S_I} * 100 \tag{2}$$

式中：S_H 为淀粉水解率，%；G_P 为消化过程中产生的葡萄糖量，mg；S_I 为淀粉的初始量，mg；葡萄糖换算成淀粉的换算系数为 0.9。

2.3.7. eGI 的计算

eGI 值的计算公式如下所示。

$$HI = \frac{AUG_{\text{样品}}}{AUG_{\text{白面包}}} * 100 \tag{3}$$

$$0.862HI + 8.198 \tag{4}$$

式中：HI 为淀粉水解指数；AUC 样品为样品的淀粉水解曲线下面积；AUC 白面包为白面包的水解曲线下面积。

2.4. 试验结果统计分析方法

试验结果均以平均数 ± 标准差表示，绘图采用 Origin2021 软件，运用 SPSS 24.0 及 Excel 2019 软件对单因素和正交试验结果以及显著性进行分析，利用 Design-Expert 13 对响应面结果进行分析，$P < 0.05$ 被认为具有统计学意义。

3. 结果与分析

3.1. 葡萄皮膳食纤维桃酥单因素试验结果

3.1.1. 黄油添加量对葡萄皮膳食纤维桃酥品质的影响

黄油添加量对桃酥质构的影响如表 3 所示，对感官评分的影响如图 1 所示。

由表 3 可知，保持糖粉添加量 30%、MSDF 和 MIDF 的添加量 6%和 MSDF 和 MIDF 添加比例为 1:1 时，随着黄油添加量的增加，硬度、弹性和咀嚼性呈减小的趋势，这可能是由于黄油在面筋蛋白及淀粉颗粒周围形成油膜，阻碍了面筋的胀润性，面筋颗粒由于油膜的隔离互相黏合形成面筋网络，因而导致硬度、弹性和咀嚼性减小。黄油添加量在 25%~65%时胶粘性无显著性变化。当黄油添加量在 35%，其硬度[9]和咀嚼性适中，桃酥口感酥脆，组织呈蜂窝状；当添加量大于 35%时，桃酥硬度较低，易碎裂。因此综合考虑黄油添加量在 35%时质构品质较为适宜。

Table 3. Effect of butter addition on the texture of grape skin dietary fiber crisp cake
表 3. 黄油添加量对葡萄皮膳食纤维桃酥质构的影响

黄油添加量/%	硬度/N	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mJ
25	24.05 ± 0.95^{a}	1.34 ± 0.25^{ab}	0.45 ± 0.13^{a}	1.54 ± 0.27^{a}
35	20.15 ± 1.09^{b}	1.44 ± 0.5^{a}	0.43 ± 0.06^{a}	0.55 ± 0.02^{b}
45	16.26 ± 0.38^{c}	1.39 ± 0.29^{ab}	0.67 ± 0.25^{a}	0.36 ± 0^{bc}
55	15.25 ± 1.24^{c}	0.82 ± 0.08^{b}	0.71 ± 0.08^{a}	0.33 ± 0.01^{bc}
65	14.49 ± 0.38^{c}	0.89 ± 0.19^{ab}	0.61 ± 0.02^{a}	0.27 ± 0.06^{c}

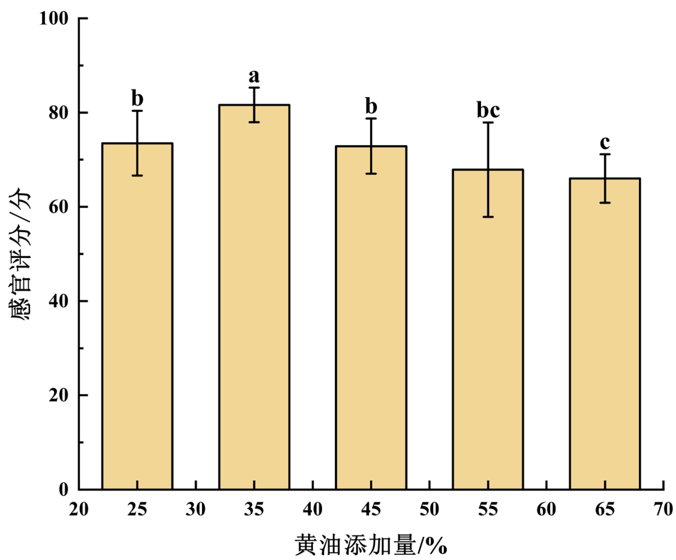

Figure 1. The effect of butter addition on the sensory properties of grape skin dietary fiber crisp cake
图 1. 黄油添加量对葡萄皮膳食纤维桃酥感官的影响

由图 1 可知，保持糖粉添加量 30%、MSDF 和 MIDF 的添加量 8%和 MSDF 和 MIDF 添加比例为 1:2，黄油添加量在 25%~65%时，随着黄油添加量的增多，感官评分呈先上升再下降的趋势，在添加量为 35%时，感官评分最大(81.63 分)，与其他添加量表现为差异显著($P < 0.05$)。黄油添加量与葡萄皮膳食纤维桃酥的外观和口感有关，添加量较低时，桃酥面团过于干燥，难以成型，影响外观，导致口感粗糙，吞咽困难；添加量较高时，在面团表面会溢出多余的油，导致桃酥口感油腻。因此选取 25%、35%、45%作为正交试验三个水平。

3.1.2. 糖粉添加量对葡萄皮膳食纤维桃酥品质的影响

糖粉添加量对桃酥质构的影响如表 4 所示，对感官评分的影响如图 2 所示。

由表 4 可知，保持黄油添加量 35%、MSDF 和 MIDF 的添加量 6%、MSDF 和 MIDF 添加比例为 1:1 时，随着糖粉添加量的增加，硬度、弹性和咀嚼性呈减小的趋势，这是由于零卡糖和木糖醇均有吸水性，与面团混合后使内部结构松散、孔洞增加；随着糖粉的添加量的增多，与黄油一起打发后饼干内部更加松散，从而导致桃酥的硬度、弹性和咀嚼性均降低。当糖粉添加量在 30%时，其硬度和咀嚼性适中，桃酥表面摊裂良好；当糖粉添加量大于 30%时，桃酥的硬度显著降低，导致桃酥容易破碎，影响外观和保存。因此综合考虑糖粉添加量在 30%时质构品质较为适宜。

Table 4. Effect of sugar powder addition on the texture of grape skin dietary fiber crisp cake
表 4. 糖粉添加量对葡萄皮膳食纤维桃酥质构的影响

糖粉添加量/%	硬度/N	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj
20	23.1 ± 0.58^{a}	1.29 ± 0.07^{a}	0.52 ± 0.09^{c}	1.11 ± 0.14^{a}
25	22.54 ± 2.34^{a}	1.12 ± 0.11^{ab}	0.81 ± 0.08^{b}	0.73 ± 0.09^{b}
30	18.22 ± 1.54^{b}	1.11 ± 0.04^{ab}	0.75 ± 0.1^{b}	0.5 ± 0.06^{c}
35	14.34 ± 0.83^{c}	$0.75 \pm 0.4b^{c}$	1.18 ± 0.15^{a}	0.46 ± 0.14^{c}
40	14.59 ± 1.95^{c}	0.44 ± 0.46^{c}	0.9 ± 0.05^{b}	0.4 ± 0.06^{c}

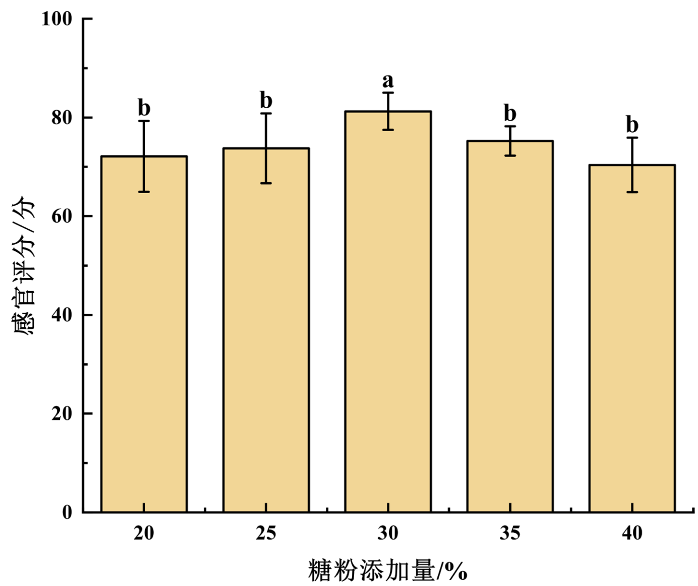

Figure 2. The effect of sugar powder addition on the sensory properties of grape skin dietary fiber crisp cake
图 2. 糖粉添加量对葡萄皮膳食纤维桃酥感官的影响

由图 2 可知，保持黄油添加量 35%、MSDF 和 MIDF 的添加量 6%、MSDF 和 MIDF 添加比例为 1:1，糖粉添加量在 20%~40%时，随着糖粉添加量的增多，感官评分呈先上升再下降的趋势，在添加量为 30%时，感官评分最大(81.25 分)，与其他糖粉添加量表现为差异显著($P < 0.05$)。糖粉添加量与葡萄皮膳食纤维桃酥的口感、色泽等有关，糖粉添加较低时，桃酥面团偏硬，不易成型，且桃酥甜味不足，口感较差。糖粉添加量较高时，导致桃酥表面焦糖化过度，颜色加深，口感甜腻发苦。因此选取 25%、30%、35%作为正交试验三水平。

3.1.3. MSDF 和 MIDF 的添加量对葡萄皮膳食纤维桃酥品质的影响

MSDF 和 MIDF 的添加量对桃酥质构的影响如表 5 所示，对感官评分的影响如图 3 所示。

Table 5. The effect of fiber addition on the texture of grape skin dietary fiber crisp cake
表 5. 纤维添加量对葡萄皮膳食纤维桃酥质构的影响

纤维添加量/%	硬度/N	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj
2	21.18 ± 1.85^{a}	0.85 ± 0.19^{ab}	0.29 ± 0.08^{a}	0.95 ± 0.37^{a}
4	20.23 ± 0.54^{a}	1.06 ± 0.04^{a}	0.29 ± 0.05^{a}	0.67 ± 0.03^{ab}
6	20.01 ± 0.81^{a}	0.76 ± 0.14^{b}	0.36 ± 0.1^{a}	0.34 ± 0.08^{bc}
8	17.82 ± 0.74^{b}	0.72 ± 0.17^{b}	0.36 ± 0.1^{a}	0.45 ± 0.02^{bc}
10	17.38 ± 0.85^{b}	0.69 ± 0.08^{b}	0.46 ± 0.14^{a}	0.29 ± 0.08^{c}

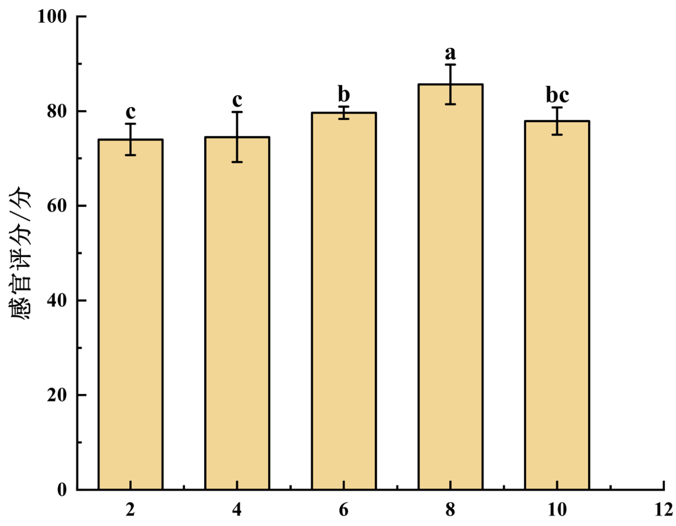

Figure 3. The effect of fiber addition on the sensory properties of grape skin dietary fiber crisp cake
图 3. 纤维添加量对葡萄皮膳食纤维桃酥感官的影响

由表 5 可知，保持黄油添加量为 35%、糖粉添加量 30%、MSDF 和 MIDF 的比例 1:1 时，纤维添加量在 2%~6%时，随着纤维量的添加其硬度降低但无显著性变化，在 8%~10%时有显著性降低($P < 0.05$)；硬度的降低是由于 MSDF 和 MIDF 良好的持水性，使得桃酥中的水分增多，导致桃酥硬度降低；同时随着 MSDF 和 MIDF 的添加，由于 MSDF 和 MIDF 内部结构较为多孔疏松，可能会导致桃酥具有更加较为松散的内部结构，从而影响其硬度。如果桃酥硬度偏高，则会影响口感和桃酥的酥脆；如果硬度偏低，会使桃酥易碎，不易运输和影响食品美观。弹性在 2%~4%未有显著性增大，在 6%~10%也未有显著性变化，

表明 MSDF 和 MIDF 的添加对桃酥的弹性影响不显著。胶粘性在 MSDF 和 MIDF 添加量 2%~10%在时未有显著性变化。咀嚼性是固体食品咀嚼成能吞咽状态所需的能量。咀嚼性太大或太小，都会影响桃酥的口感，桃酥硬度的降低也会对其咀嚼性产生影响[10]。因此综合考虑 MSDF 和 MIDF 的添加量在 8%时质构品质较为适宜。

由图 3 可知，保持黄油添加量为 35%、糖粉添加量 30%、MSDF 和 MIDF 的比例 1:1 时，MSDF 和 MIDF 的添加量在 2%~8%时，随着添加量的增大，感官评分呈显著上升趋势($P < 0.05$)，在 8%时，感官评分最大(85.63 分)，与其他添加量表现为差异显著($P < 0.05$)，随着 MSDF 和 MIDF 添加量的进一步增加，感官评分呈下降趋势。这是由于当 MSDF 和 MIDF 添加量较低时，桃酥的硬度与咀嚼性大导致口感较差；当添加量过多时，会导致膳食纤维桃酥颜色过深影响其色泽。因此选取 6%、8%、10%作为正交试验的三水平。

3.1.4. MSDF 和 MIDF 添加的比例对葡萄皮膳食纤维桃酥品质的影响

MSDF 和 MIDF 的添加的比例对桃酥质构的影响如表 6 所示，对感官的影响如图 4 所示。

Table 6. The effect of fiber ratio on the texture of grape skin dietary fiber crisp cake
表 6. 纤维比例对葡萄皮膳食纤维桃酥质构的影响

纤维比例(MSDF:MIDF)	硬度/N	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj
3:0	10.36 ± 0.23^{d}	1.16 ± 0.51^{a}	0.88 ± 0.17^{a}	0.38 ± 0.25^{a}
2:1	11.19 ± 0.62^{cd}	1.02 ± 0.16^{a}	0.79 ± 0.05^{ab}	0.59 ± 0.1^{a}
1:1	12.16 ± 0.53^{c}	0.95 ± 0.11^{a}	0.6 ± 0.18^{bc}	0.68 ± 0.11^{a}
1:2	16.58 ± 1.25^{b}	1.04 ± 0.39^{a}	0.51 ± 0.03^{c}	0.42 ± 0.01^{a}
0:3	18.25 ± 0.41^{a}	1.05 ± 0.01^{a}	0.49 ± 0.06^{c}	0.64 ± 0.03^{a}

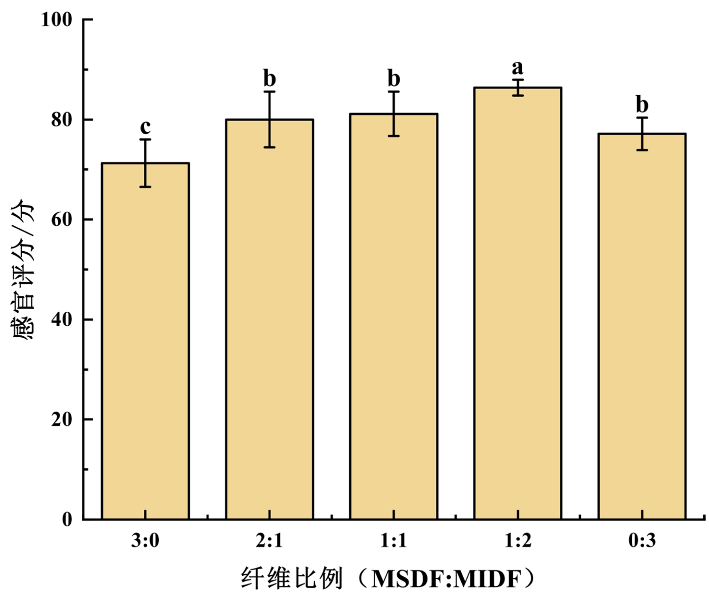

Figure 4. The effect of fiber ratio on the sensory properties of grape skin dietary fiber crisp cake
图 4. 纤维比例对葡萄皮膳食纤维桃酥感官的影响

由表 6 可知，保持黄油添加量为 35%、糖粉添加量 30%、MSDF 和 MIDF 的添加量 8%时，葡萄皮膳食纤维桃酥的硬度在 MSDF:MIDF 为 3:0 和 2:1 时无显著性差异；在 2:1 和 1:1 时无显著性差异；当

MSDF:MIDF 在 1:1、1:2、0:3 时，硬度呈增大趋势，且比例间差异显著($P < 0.05$)。硬度升高可能是随着 MSDF 添加比例的增大对桃酥面团的面筋网络结构性能产生影响，面团筋力下降，焙烤时持气性变差，导致桃酥的硬度增大。弹性在不同的 MSDF 和 MIDF 添加的比例下无显著性变化。胶粘性在 MSDF:MIDF 为 3:0 和 2:1 时无显著性变化。咀嚼性在不同的 MSDF 和 MIDF 添加的比例下无显著性变化。因此综合考虑在 MSDF:MIDF 为 1:2 时质构品质较为适宜。

由图 4 可知，保持黄油添加量为 35%、糖粉添加量 30%、MSDF 和 MIDF 的添加量 8%时，葡萄皮膳食纤维桃酥的感官评分随着 MSDF 和 MIDF 的比例变化，呈先上升再下降的趋势。MSDF 和 MIDF 添加的比例在 1:2 时，感官评分最大(86.38 分)，与其他添加比例表现为差异显著($P < 0.05$)。这主要是由于随着 MSDF 和 MIDF 添加比例的变化，对葡萄皮膳食纤维桃酥的口感和色泽的影响导致。因此选取 1:1、1:2、0:3 作为正交试验三水平。

3.2. 葡萄皮膳食纤维桃酥正交试验结果

葡萄皮膳食纤维桃酥制备的正交试验结果如表 7 所示，方差分析结果如表 8 所示。由表 7 可知，各因素对葡萄皮膳食纤维桃酥感官评分的影响的主次顺序为 D > C > A > B，即 MSDF 和 MIDF 的添加比例 > MSDF 和 MIDF 的添加量 > 黄油添加量 > 糖粉添加量。由表 8 方差分析结果可知，黄油添加量、MSDF 和 MIDF 的添加量以及 MSDF 和 MIDF 的添加比例对桃酥感官评分影响极显著($P < 0.01$)，糖粉添加量对桃酥感官评分影响不显著。因此适宜改性工艺组合是 $A_1B_1C_2D_2$，即黄油添加量 25%、糖粉添加量 25%、MSDF 和 MIDF 的添加量 8%、MSDF 和 MIDF 的添加比例 1:2、鸡蛋液 10%、食用小苏打 1.50%、泡打粉 1.50%。在此条件下，进行验证试验，得到的葡萄皮膳食纤维桃酥外形整齐，表面色泽良好，口感疏松酥脆，香味浓郁，甜度适中，感官评分为 80.25 ± 2.18 分。

Table 7. Orthogonal analysis results
表 7. 正交分析结果

试验号	因素				感官评分/分		
	A	B	C	D			
1	1	1	1	1	73.5	74.8	76
2	1	2	2	2	79.75	78.8	79.4
3	1	3	3	3	75.63	75.2	75.8
4	2	1	2	3	76.5	77.6	77
5	2	2	3	1	70.63	71	70
6	2	3	1	2	77.13	75.8	76
7	3	1	3	2	78.25	77.4	78
8	3	2	1	3	76.63	74.4	77.8
9	3	3	2	1	77.5	74.8	72
K1	688.88	689.05	682.06	660.23			
K2	671.66	678.41	693.35	700.53			
K3	686.78	679.86	671.91	686.56			
k1	76.54	76.56	75.78	73.36			
k2	74.63	75.38	77.04	77.84			
k3	76.31	75.54	74.66	76.28			
R	1.91	1.18	2.38	4.48			

Table 8. Analysis of variance results
表 8. 方差分析结果

因素	离差平方和	自由度	均方	F 值	*P* 值	显著性
A	19.613	2	9.807	6.442	0.008	**
B	7.399	2	3.699	2.430	0.116	
C	25.561	2	12.781	8.396	0.003	**
D	93.056	2	46.528	30.564	0.000	**
误差	27.402	18	1.522			

注：$^{**}P < 0.01$，差异极显著。

3.3. 葡萄皮膳食纤维桃酥的理化指标

3.3.1. 葡萄皮膳食纤维桃酥基本成分测定

膳食纤维桃酥基本成分如表 9 所示，膳食纤维桃酥的总膳食纤维的含量为 6.12 g/100g，符合 GB 28050-2011《预包装食品营养标签通则》中规定的高或富含膳食纤维(≥6 g/100g)，可以称为高纤维桃酥。

Table 9. Basic ingredients of dietary fiber crisp cake (g/100g)
表 9. 膳食纤维桃酥基本成分(g/100g)

样品	蛋白质	脂肪	淀粉	总膳食纤维	灰分
膳食纤维桃酥	5.08 ± 0.24	25.51 ± 0.11	36.00 ± 0.10	6.12 ± 0.13	1.11 ± 0.02

3.3.2. 色泽测定

膳食纤维桃酥和普通桃酥的颜色如表 10 所示。由表 10 可知，膳食纤维桃酥的亮度 L^*、黄色度 b^*和颜色差异ΔE 显著低于普通桃酥($P < 0.05$)，而绿色度 a*值则显著高于普通桃酥($P < 0.05$)。这种颜色差异是由于葡萄皮 MIDF 的棕褐色所致。

Table 10. The color of crisp cake
表 10. 桃酥的色泽

样品	L^*	a^*	b^*	ΔE
普通桃酥	46.25 ± 0.11^a	4.69 ± 0.06^b	28.08 ± 0.13^a	54.31 ± 0.08^a
膳食纤维桃酥	32.18 ± 0.12^b	6.14 ± 0.02^a	13.84 ± 0.06^b	35.56 ± 0.13^b

3.3.3. 摊裂度

葡萄皮膳食纤维桃酥和普通桃酥的摊裂度如表 11 所示。由表 11 可知，膳食纤维桃酥的直径与普通桃酥无显著性差异，厚度有显著性差异($P < 0.05$)，可能是由于膳食纤维桃酥中加入的 MSDF 和 MIDF 增加了桃酥面团的黏度，从而减小了桃酥的伸展，导致直径稍大[11]。然而膳食纤维桃酥和普通桃酥的摊裂度之间无显著性差异，说明添加膳食纤维对桃酥的形态影响不显著。

Table 11. The cracking degree of crisp cake
表 11. 桃酥的摊裂度

样品	直径/mm	厚度/mm	摊裂度
普通桃酥	45.7 ± 0.61^a	17.83 ± 0.76^b	25.66 ± 1.26^a
膳食纤维桃酥	45.67 ± 1.44^a	19.17 ± 0.29^a	23.83 ± 0.66^a

3.3.4. 淀粉体外消化特性测定

白面包、葡萄皮膳食纤维桃酥和普通桃酥的淀粉体外消化曲线如图 5 所示。由图 5 可知，膳食纤维桃酥和普通桃酥的淀粉体外消化曲线的变化趋势与白面包基本一致，膳食纤维桃酥和普通桃酥的淀粉消化率在 0~90 min 内快速升高，随后逐渐缓慢增加，在 120 min~180 min 内趋于平衡。这与罗白玲[12]在饼干内添加咖啡果皮粉的体外淀粉消化结果相一致。膳食纤维桃酥的淀粉体外消化率显著低于普通桃酥，膳食纤维桃酥和普通桃酥在 180 min 时的淀粉消化率分别为 43.60%和 55.22%。说明由于 MSDF 和 MIDF 的添加使得一些淀粉颗粒周围形成了保护层，减少了与消化酶的接触面积，从而降低了淀粉的消化率。

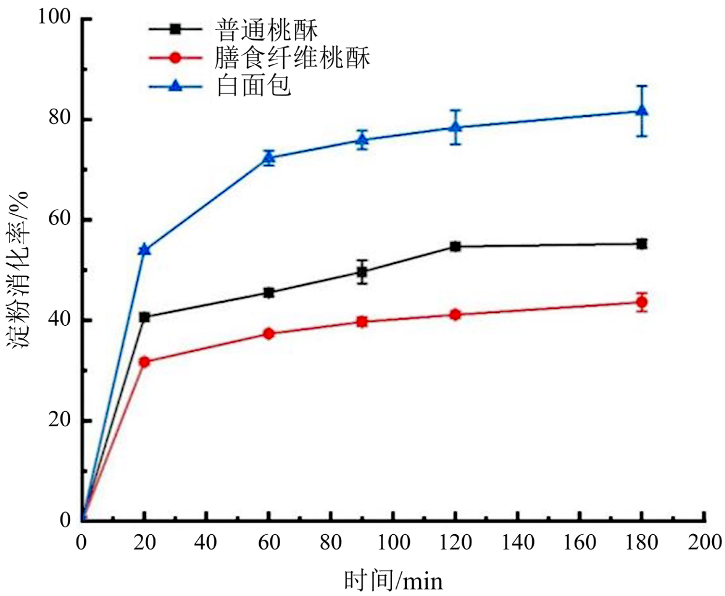

Figure 5. *In vitro* starch digestion curve of grape skin dietary fiber crisp cake
图 5. 葡萄皮膳食纤维桃酥的淀粉体外消化曲线

3.3.5. 估计血糖生成指数及动力学参数

白面包、膳食纤维桃酥和普通桃酥的淀粉消化一阶非线性拟合模型的参数及 eGI 值如表 12 所示。由表 12 可知，白面包、膳食纤维桃酥和普通桃酥的 R^2 分别为 0.906、0.955 和 0.946，表明它们的消化进程均符合一阶动力学方程。普通桃酥的 C_∞比膳食纤维桃酥显著增大了 26.90%，说明普通桃酥淀粉水解更充分；两种桃酥的 k 值均小于白面包的 k 值，且普通桃酥的 k 值大于膳食纤维桃酥。膳食纤维桃酥的 eGI 值为 59.89，属于中 GI 食品(55 < GI < 70)；普通桃酥的 eGI 值为 73.07，属于高 GI 食品(GI > 70)。说明 MSDF 和 MIDF 的添加对降低桃酥的 GI 值有积极影响。

Table 12. Fitting model parameters and eGI values of grape skin dietary fiber crisp cake
表 12. 葡萄皮膳食纤维桃酥的拟合模型参数及 eGI 值

样品	C_∞	k	R^2	HI	eGI
白面包	72.06 ± 0.325^a	0.024 ± 0.002^a	0.946	100	94.40 ± 0.00^a
普通桃酥	54.54 ± 0.36^b	0.022 ± 0.001^b	0.955	75.25 ± 0.43^a	73.07 ± 0.37^b
膳食纤维桃酥	43.56 ± 0.11^c	0.019 ± 0.001^c	0.941	59.97 ± 0.19^b	59.89 ± 0.17^c

4. 结论

确定了葡萄皮膳食纤维桃酥的配方。以感官评分为指标，通过单因素和正交试验，结合质构指标优化得到的葡萄皮膳食纤维桃酥适宜的工艺参数为：以面粉为 100%计，黄油添加量 25%、糖粉添加量 25%、MSDF 和 MIDF 添加量 8%、MSDF 和 MIDF 的添加比例为 1:2、鸡蛋液 10%、食用小苏打 1.50%、泡打粉 1.50%；焙烤得到的膳食纤维桃酥和普通桃酥表面摊裂度无显著性差异，亮度显著低于普通桃酥。对膳食纤维桃酥和普通桃酥的淀粉体外消化性能进行了测定，发现添加了 MSDF 和 MIDF 的膳食纤维桃酥的淀粉体外消化率降低，且膳食纤维桃酥的 eGI 值为 59.89，相比于普通桃酥的 73.07，显著降低了 1.22 倍，属于中 GI 食品。

基金项目

河北省重点研发计划“葡萄酒酿造关键技术研究”(19227120D)。

参考文献

[1] 张立娟，刘元，姚骏，等. 葡萄酿酒副产物膳食纤维提取与应用研究进展[J]. 食品研究与开发，2020，41(22): 192-196.

[2] 杨晨露，杨晨露，施雪晴，等. 葡萄皮渣的生物价值及综合利用综述[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2020(6): 48-53.

[3] Yang, H., Sun, Y.R., Cai, R., *et al*. (2020) The Impact of Dietary Fiber and Probiotics in Infectious Diseases. *Microbial Pathogenesis*, **140**, Article 103931. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103931

[4] 王天，江含秀，路丽妮，等. 藜麦可溶性膳食纤维提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂，2022, 33(2): 137-146.

[5] Morrison, D.J., Preston, T., *et al*. (2016) Formation of Short Chain Fatty Acids by the Gut Microbiota and Their Impact on Human Metabolism. *Gut Microbes*, **7**, 189-200. https://doi.org/10.1080/19490976.2015.1134082

[6] Kunzmann, A.T., Coleman, H.G., Huang, W.Y., *et al.* (2015) Dietary Fiber Intake and Risk of Colorectal Cancer and Incident and Recurrent Adenoma in the Prostate, Lung, Colorectal, and Ovarian Cancer Screening Trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, **102**, 881-890. https://doi.org/10.3945/ajcn.115.113282

[7] 王梦阳. 香蕉皮膳食纤维的理化性质及其降血糖效果的研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥：合肥工业大学, 2022.

[8] 林良美. 笋壳活性膳食纤维的提取及降糖降脂功能特性研究[D]: [硕士学位论文]. 福州：福建农林大学, 2016.

[9] Ma, M.M. and Mu, T.H. (2016) Effects of Extraction Methods and Particle Size Distribution on the Structural, Physicochemical, and Functional Properties of Dietary Fiber from Deoiled Cumin. *Food Chemistry*, **194**, 237-246. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.095

[10] Zhang, J. and Wang, Z.W. (2012) Thermal Analysis and Physiological Behavior of Cellulose/Pectin Complex from Canna Edulis Ker by Product. *Carbohydrate Polymers*, **87**, 1153-1158. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.089

[11] Yassin, Z.A.R., Halim, F.N.B.A., Taheri, A., *et al*. (2023) Effects of Microwave, Ultrasound, and High-Pressure Homogenization on the Physicochemical Properties of Sugarcane Fibre and Its Application in White Bread. *LWT-Food Science and Technology*, **184**, Article 115008. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115008

[12] Ajila, C.M., Leelavathi, K., Rao, U.J.S.P., *et al.* (2008) Improvement of Dietary Fiber Content and Antioxidant Properties in Soft Dough Biscuits with the Incorporation of Mango Peel Powder. *Journal of Cereal Science*, **48**, 319-326. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.10.001