

# 胡麻油—玉米油对比对桃酥品质的影响

韩雨萌<sup>1</sup> 辛 远<sup>1</sup> 何新益<sup>1</sup> 张素梅<sup>2</sup> 廖振宇<sup>3</sup>

(1. 天津农学院食品科学与生物工程学院, 天津 300392; 2. 平凉市农业科学院, 甘肃 平凉 744000;  
3. 中国科学院天津工业生物技术研究所, 天津 300308)

**摘要:** [目的] 探究胡麻油—玉米油复配比例对桃酥品质的影响。[方法] 通过梯度试验分析桃酥的感官特性和理化特性, 采用感官评价、质构仪、电子鼻及气相色谱—质谱联用等方法, 结合水分、酸价和过氧化值测定, 综合评价不同配比下桃酥的品质。[结果] 当胡麻油—玉米油配比为 1:1 时, 桃酥的感官评分最高为 82.8, 其色泽金黄 ( $L^*$ 、 $b^*$  值突出), 香气浓郁, 质构均衡, 水分均一性优良, 半结合水比例最高, 可有效强化胡麻油特征风味。氧化稳定性分析表明, 当胡麻油—玉米油配比  $> 1:1$  时, 桃酥的酸价和过氧化值增速显著。[结论] 胡麻油—玉米油的最适配比为 1:1, 可在保留桃酥传统风味的同时提升其营养价值。

**关键词:** 胡麻油; 玉米油; 桃酥; 氧化稳定性; 挥发性成分

## Effects of different siritch and corn oil ratios on walnut cake quality

HAN Yumeng<sup>1</sup> XIN Yuan<sup>1</sup> HE Xinyi<sup>1</sup> ZHANG Sumei<sup>2</sup> LIAO Zhenyu<sup>3</sup>

(1. College of Food Science and Bioengineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300392, China;  
2. Pingliang Academy of Agricultural Sciences, Pingliang, Gansu 744000, China;  
3. Tianjin Institute of Industrial Biotechnology, Chinese Academy of Sciences, Tianjin 300308, China)

**Abstract:** [Objective] To investigate the effects of siritch-corn oil ratio on walnut cake quality. [Methods] Gradient experiments were conducted to analyze the sensory and physicochemical characteristics of walnut cake. Quality under different ratios was comprehensively assessed using sensory evaluation, texture analysis, electronic nose measurements, and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), combined with determination of moisture content, acid value, and peroxide value. [Results] When the siritch-corn oil ratio was 1:1, walnut cake achieved the highest sensory score of 82.8, exhibiting golden color (high  $L^*$  and  $b^*$  values), rich aroma, balanced texture, excellent moisture uniformity, and the highest semi-bound water content, effectively enhancing the characteristic flavor of siritch. Oxidative stability analysis showed that when the ratio exceeded 1:1, both acid value and peroxide value increased significantly. [Conclusion] The optimal siritch to-corn oil ratio is 1:1, which preserves the traditional flavor of walnut cake while improving its nutritional value.

**Keywords:** siritch; corn oil; walnut cake quality; oxidation stability; volatile components

2024 年, 中国烘焙零售规模达 6 110.7 亿元, 同比增长 8.8%, 预计 2029 年达 8 595.6 亿元<sup>[1]</sup>。桃酥作为传统烘焙食品, 其市场需求也在增长, 随着消费者健康意识的加强, 向桃酥制品中添加功能性成分可迎合消费需求<sup>[2]</sup>。传统桃酥制作多依赖氢化植物油与猪油, 存在饱和脂肪酸过高或反式脂肪酸残留等问题。近些年, 已有关于以植

物油替代氢化植物油或猪油的相关研究, 如棕榈油复配用于食品烘焙<sup>[3]</sup>, 添加茶油优化糕点配方<sup>[4]</sup>, 棉籽油代替黄油制备起酥油<sup>[5]</sup>, 水飞蓟籽油优化曲奇配方<sup>[6]</sup>等。研究表明, 以油脂包裹淀粉颗粒可增强体系稳定性<sup>[7]</sup>, 赋予产品酥质质地及脂香, 优化质地<sup>[8]</sup>。现有研究在减少饱和脂肪酸摄入和增添抗氧化作用方面取得了一定进展, 但多

**基金项目:** 国家特色油料产业技术体系胡麻平凉综合试验站项目 (编号: CARS-14-2-26)

**通信作者:** 何新益 (1974—), 男, 天津农学院教授, 博士。E-mail: hedevid@163.com

张素梅 (1981—), 女, 甘肃省平凉市农业科学院研究员, 硕士。E-mail: 271540855@qq.com

**收稿日期:** 2025-06-25 **改回日期:** 2025-10-06

**引用格式:** 韩雨萌, 辛远, 何新益, 等. 胡麻油—玉米油对比对桃酥品质的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(11): 177-183.

**Citation:** HAN Yumeng, XIN Yuan, HE Xinyi, et al. Effects of different siritch and corn oil ratios on walnut cake quality[J]. Food & Machinery, 2025, 41(11): 177-183.

数研究以单一植物油替代动物油,缺乏植物油复配,且综合考量面团相互作用的研究较少,缺乏对感官、质构、水分分布、氧化稳定性及挥发性风味成分等方面协同效应的探究。

胡麻油是多不饱和脂肪酸含量最高的油脂之一,是《中国居民膳食指南》推荐的油脂,其 $\alpha$ -亚麻酸和亚油酸总量达 60% 以上<sup>[9]</sup>,是人体必需脂肪酸,只能通过膳食摄入<sup>[10]</sup>,可降压、降脂、降糖和提高免疫力<sup>[11-13]</sup>,且已有相关研究聚焦于开发风味物质<sup>[14]</sup>,维持胡麻油品质并提高其抗氧化能力<sup>[15-16]</sup>等方面。玉米油含多种矿物质、维生素及不饱和脂肪酸,可降胆固醇、预防“三高”。但将胡麻油与玉米油复配应用于桃酥的研究仍属空白,更缺乏复配比例与产品品质关联性的探究。

研究拟以纯玉米油桃酥为参照,探究胡麻油—玉米油配比(0:1,1:4,1:1,1:0)对桃酥品质的影响,采用感官评价、质构检测、电子鼻分析、气相色谱—质谱联用多维度分析手段,结合水分与氧化稳定性评估,分析复配油脂对桃酥品质的影响,旨在为营养美味的烘焙产品开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

胡麻油:甘肃省静宁县宁宁油坊;

玉米油、黄油、香油、细砂糖、白栖、鸡蛋、低筋小麦粉、酵母、碳酸氢铵等:市售。

1.1.2 主要仪器设备

气相色谱—质谱联用仪:8890-5977C 型,安捷伦科技有限公司;

快速电子气味分析仪:HERACLES II 型,法国 Alpha MOS 公司;

核磁共振成像仪:NMI20 型,上海纽迈电子科技有限公司;

质构仪:SMS 型,英国 Stable Micro System 公司;

色差仪:HP-2132 型,汉谱光彩科技有限公司;

烤箱:ZKQD40-Q-DY20 型,浙江苏泊尔股份有限公司;

电热恒温水浴锅:SY-601 型,天津欧诺仪器股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品制备 胡麻油与玉米油总质量 40 g,胡麻油—玉米油配比分别为 0:1,1:4,1:1,1:0 4 组,其他原料固定:低筋小麦粉 100 g、细砂糖 43.2 g、黄油 11.2 g、鸡蛋 6.24 g、白栖 5 g、香油 2.5 g、酵母 1.25 g、碳酸氢铵 0.35 g。

1.2.2 桃酥制备 原料混匀后揉合至面团轻压回弹、无干粉,分割每份面团至(25.0±0.5) g,定型为直径 5 cm、厚 1 cm 带有浅坑的圆饼,180 ℃烘烤 7 min,降温后装袋,干燥避光保存。

1.2.3 感官评定 建立如表 1 所示的评分体系,总分 100 分,感官评分成员独立评分,不同样品间清水漱口感官复位,按标准进行感官评分。

表 1 桃酥感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for walnut cake		
指标	评分标准	分值
色泽	色泽均匀,呈金黄色	11~15
	局部轻微焦黄或发白	5~10
	明显焦黑、过白或斑驳	1~4
形态	圆整,厚薄平衡,裂纹均匀	13~20
	厚薄不均,裂纹过少或过度	7~12
	严重变形、塌陷,碎裂严重	1~6
组织	断面孔隙细腻均匀	13~20
	局部大孔较多	7~12
	结构粗糙,孔洞杂乱	1~6
香味	香气浓郁,烘烤香突出	17~25
	香气较淡,烘烤香不明显	9~16
	有油脂哈败味	1~8
口感	酥脆,无油腻感	11~20
	轻微粘牙或油腻	5~10
	过硬、过软或油腻感重	1~4

1.2.4 色泽测定 采用色差仪测定桃酥的 $L^*$ 值、 $a^*$ 值和 $b^*$ 值。选取 3 个中心及边缘不同位点,且避免周围光影响测定数值。

1.2.5 质构分析 根据 Felisiak 等<sup>[17]</sup>的方法稍作改进。质构仪测试模式 TPA,探头 P/75S,测前速度 1.0 mm/s,测中速度 0.5 mm/s,测后速度 1.0 mm/s,感应力 0.05 N,压缩比 30%,两次压缩间隔 5 s,平行 5 次取平均值。

1.2.6 酸价和过氧化值测定 按 GB 5009.229—2016 和 GB 5009.227—2016 执行。

1.2.7 水分分布测定 根据朱莹莹等<sup>[18]</sup>的方法稍作改进,采用低场核磁共振分析仪分析弛豫时间。采用 CPMG 脉冲序列,主频(SF)22 MHz、扫描次数(NS)8 次、回波时间(TE)0.193 ms,峰偏移校正值 0.000 ms。

1.2.8 气味差异分析 根据高恩红等<sup>[19]</sup>的方法稍作改进,取 2.00 g 样品于 20 mL 顶空瓶,进样体积 5 000  $\mu$ L,进样速度 250  $\mu$ L/s,进样口温度 200 ℃,持续 25 s,捕集时间 30 s,采集时间 170 s,检测器温度 280 ℃。

1.2.9 挥发性成分分析 根据韩冰霜等<sup>[20]</sup>的方法稍作改进,使用气相色谱—质谱联用仪进行测定。取 3.00 g 样品于 20 mL 顶空瓶,60 ℃顶空萃取 40 min。程序升温:初始 40 ℃保持 3 min,以 4 ℃/min 升至 150 ℃,保持 1 min,以 10 ℃/min 升至 250 ℃,保持 7 min。离子源温度 200 ℃,接口温度 220 ℃。MS 条件:质量扫描范围 33~500  $m/z$ 。

1.2.10 数据统计与分析 采用 Excel 2021 软件进行数据预处理,采用 Origin 2024 软件完成数据可视化,采用 SPSS

28.0 软件进行统计学分析,组间多重比较采用 Duncan's 新复极差法。

## 2 结果与分析

### 2.1 感官评定分析

由图 1 可知,当胡麻油—玉米油配比为 1:1 时,桃酥的感官得分最高,5 个维度均表现优异。胡麻油中多不饱和脂肪酸含多个双键可适度氧化并分解产生醛、酮,作为

Strecker 降解的触发因子,促进氨基酸生成挥发性醛类,且玉米油中的抗氧化成分可稳定底物环境,避免哈败气味,二者协同生成吡嗪类香气物质<sup>[21-22]</sup>。油脂复配优化了面团的延展性,玉米油中饱和脂肪酸以直链结构构建结晶骨架,可填补胡麻油多不饱和脂肪酸的扭结空隙,提升油脂熔点,且甾醇协同形成以  $\beta'$  型为主的晶体网络,可避免过度流动,且形成弹性支撑,内部蒸汽逸出更顺畅,形成的孔隙结构使产品酥脆,生成裂纹,品质稳定。

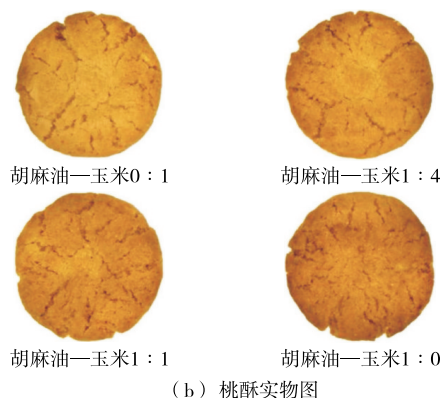
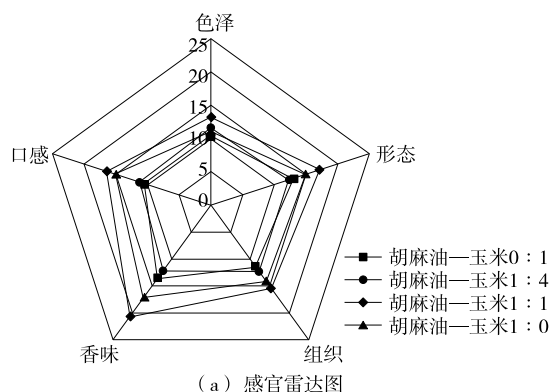


图 1 不同胡麻油—玉米油配比桃酥的感官评价雷达图

Figure 1 Sensory evaluation radar chart of different proportions of siritch and corn oil in walnut cake

### 2.2 色泽分析

由图 2 可知,当胡麻油—玉米油配比为 1:1 时,桃酥的呈色最佳,  $L^*$  值、 $b^*$  值高,标准差小,明亮金黄色突出且稳定。多不饱和脂肪酸在焙烤中可释放自由基,加速氨基酸和还原糖的缩合反应,生成浅色中间体,延缓美拉德反应中类黑素的积累<sup>[23]</sup>。维生素 E 与胡麻油中木酚素可中和自由基,油酸中的单不饱和脂肪酸结构稳定性强,可减少自身氧化产生的自由基,多不饱和脂肪酸热氧化释放的自由基总量减少,且可抑制自由基过度,共同维持色泽稳定性。纯胡麻油组因高不饱和脂肪酸含量加剧热氧

化,促使类黑素快速生成,导致色泽深且不均匀。此外,胡麻油—玉米油配比为 1:1 可平衡美拉德反应进程与油脂氧化。

### 2.3 质构特性分析

由表 2 可知,当胡麻油—玉米油配比为 1:1 时,桃酥的质构参数具有最优平衡性,硬度、弹性、黏聚性及咀嚼度等参数平衡。通过油脂比例优化,游离脂肪酸与淀粉螺旋结构嵌合,油脂、蛋白质与淀粉协同形成网络,优化面团的延展性和持气性,避免粉质感或油腻感,使桃酥蓬松不松散,酥脆不干硬,证实 1:1 的复配对桃酥的质构具有调控作用。胡麻油—玉米油配比过高(1:0),不饱和脂肪酸含量过高,其流动性强,可渗透至面筋蛋白分子间,削弱疏水相互作用、二硫键交联,减少面筋网络的刚性,使孔隙分布杂乱,硬度、咀嚼度骤降,口感欠佳。当胡麻油—玉米油配比为 1:1 时,油脂与面团成分的相互作用可使面筋—淀粉—油脂网络稳定,使桃酥质构酥脆平衡。

### 2.4 酸价和过氧化值分析

由图 3 可知,低替代量阶段,胡麻油与玉米油中的维生素 E、油酸抗氧化,与甾醇、木酚素形成协同抗氧化体系,胡麻油木酚素可清除脂质过氧化初期自由基,玉米油中维生素 E 可阻断氧化链条,谷维素、甾醇与木酚素促氧化金属离子螯合,减少  $\alpha$ -亚麻酸等氧化,多重作用覆盖氧化反应的多个环节。胡麻油—玉米油配比过高,易氧化底物浓度显著增加,多不饱和脂肪酸双键处亚甲基氢原子易被自由基夺取,链式反应不断生成氢过氧化物并积

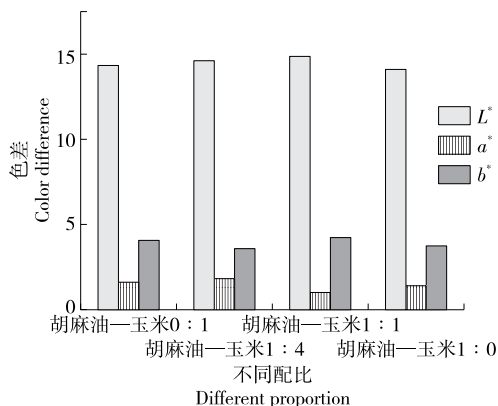


图 2 胡麻油—玉米油对比对桃酥色度的影响

Figure 2 Influence of different ratios of siritch to corn oil on the color of walnut cake

表 2 不同胡麻油—玉米油配比桃酥的质构特性

胡麻油—玉米油配比	硬度/N	弹性	黏聚性	胶着度/N	咀嚼度/(N·mm)	回复性
0:1	2 843.42	0.65	0.58	1 649.18	1 071.97	0.31
1:4	2 060.52	0.58	0.43	886.02	513.89	0.27
1:1	2 740.98	0.56	0.48	1 315.67	736.77	0.33
1:0	2 278.06	0.47	0.33	751.76	353.33	0.22

累,过氧化值、酸价上升。当胡麻油—玉米油配比为 1:1 时,可通过抗氧化成分协同作用抑制高不饱和胡麻油的氧化酸败。

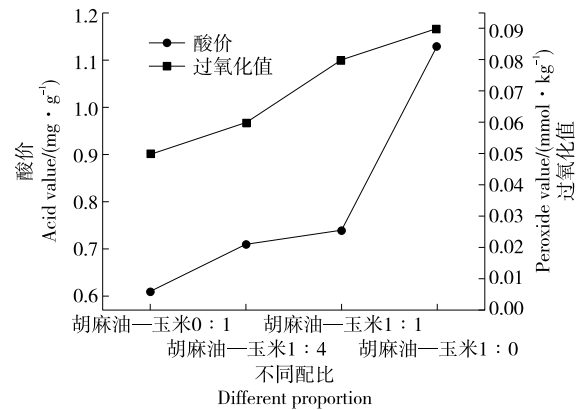


图 3 不同胡麻油—玉米油配比对桃酥酸价和过氧化值的影响

Figure 3 Changes in acid value and peroxide value of walnut cake with different ratios of siritch to corn oil

2.5 水分分布状态分析

由图 4 可知,在弛豫时间谱中,4 组样品均在 100 ms 左右出现主峰信号,对应半结合水,且胡麻油—玉米油配比为 1:1 时,桃酥的半结合水信号强度高于其他组,且峰形更尖锐。长弛豫时间区对应自由水,其信号强度均较低(<1.0)。当胡麻油—玉米油配比为 1:1 时,半结合水通过氢键与蛋白质、淀粉等大分子物质弱结合,其含量高且分布集中,水分被有效束缚在物料结构中,流动性低,优化淀粉、蛋白网络可使疏水—亲水界面更平衡,增强水分子与固形物的结合能力,支撑孔隙结构,防止塌陷。弱结合水中的羟自由基被蛋白质结合位点捕获,降低了自由基对油脂的氧化攻击,氧化稳定性增强<sup>[24]</sup>。而纯胡麻油组因油脂极性过低,无法与蛋白质有效结合,导致水分游离度增加。当胡麻油—玉米油配比为 1:1 时,可通过优化面团微观结构提高半结合水比例和稳定性,使桃酥质构酥脆不干硬,水分与感官优势及氧化稳定性指标协同,优化产品品质。

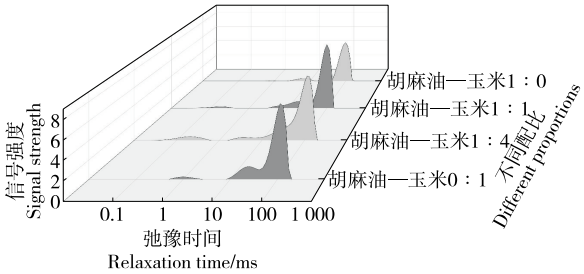


图 4 胡麻油—玉米油配比对桃酥水分分布状态的影响  
Figure 4 Influence of different ratios of siritch to corn oil on the moisture distribution state of walnut cake

2.6 气味差异分析

由图 5 可知,第一、二主成分的累积贡献率高达 93.869%,较好地代表 4 种样品的总体特征。胡麻油—玉米油配比为 1:4,1:1 两组样品在 PCA 图上位置接近,气味特征相似且较为理想。胡麻油—玉米油配比为 0:1,1:0 两组样品在 PCA 图上独立分布,气味差异显著。当胡麻油—玉米油配比为 1:1 时,美拉德反应与油脂氧化的协同作用较好地平衡了自由基浓度,可有效防止风味劣变。玉米油的适当添加可提供部分烘焙香气,且其抗氧化成分有助于抑制胡麻油过度氧化产生的负面气味,促进胡麻油特征风味的适度释放。电子鼻分析表明,胡麻油—玉米油配比为 1:1 能产生协同效应,形成更丰富、协调的整体气味轮廓,显著优于单一油脂的使用。

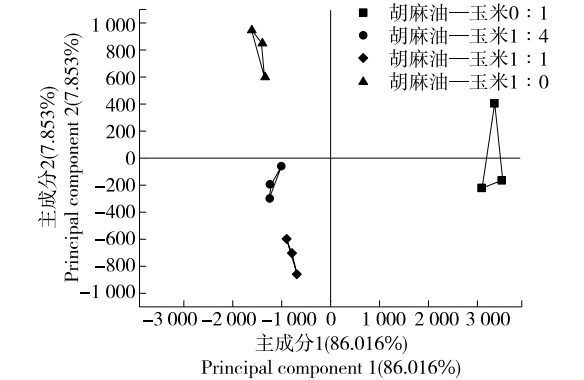


图 5 胡麻油—玉米油配比对桃酥气味的影响  
Figure 5 Influence of different ratios of siritch to corn oil on the aroma of walnut cake



2.7 挥发性成分分析

由表3可知,当胡麻油—玉米油配比为1:1时,桃酥的风味层次表现最突出。坚果香气由美拉德反应及热解反应生成的2-甲基吡嗪、吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪提供,2,3-二甲基吡嗪、2-呋喃基甲基酮等提供基底甜香,可增强甜感和持久性。庚醛、壬醛、2-庚酮等具有柑橘、玫瑰香,

可提升花果香层次。当胡麻油—玉米油配比为1:1时,桃酥中新增了丁醛、2-丁酮的青草香、薄荷甜味清新感,削弱了油脂厚重感,形成了风味梯度,新增的愈创木酚以及乙偶姻带来的烟熏香、奶油香味丰富了风味层次,辅助调和香味。胡麻油—玉米油配比为1:0组的良好风味比其他组少,胡麻油—玉米油配比为0:1,1:4组均检出了具有轻

表3 不同胡麻油—玉米油配比桃酥的挥发性成分<sup>†</sup>  
Table 3 Volatile components of walnut cake with different ratios of siritch to corn oil

名称	气味描述	胡麻油	胡麻油—玉米油配比			
			0:1	1:4	1:1	1:0
2,3-二氢呋喃	微弱醚样气味	✓	ND	✓	✓	✓
2,3-二氢-5-甲基呋喃	焦糖甜香	ND	ND	✓	ND	ND
吡嗪	烤坚果香	✓	✓	✓	✓	✓
2-甲基吡嗪	咖啡香	ND	ND	✓	✓	✓
2,6-二甲基吡嗪	坚果香	ND	ND	✓	ND	ND
2,5-二甲基吡嗪	巧克力、坚果香	✓	✓	✓	✓	✓
2-乙基吡嗪	坚果香、面包香	ND	ND	✓	ND	ND
2-乙基吡嗪	青草香	✓	✓	✓	✓	✓
2,3-二甲基吡嗪	焦香	✓	✓	✓	✓	✓
2,3,5-三甲基吡嗪	花生香、咖啡香	✓	✓	ND	✓	✓
2-甲基-6-乙基吡嗪	青草香	ND	✓	ND	ND	ND
丁醛	青草香	ND	ND	ND	✓	ND
正己醛	青草香、水果香	✓	✓	✓	✓	ND
庚醛	柑橘香	ND	✓	✓	✓	ND
辛醛	柑橘香	✓	✓	✓	✓	✓
壬醛	玫瑰香、柑橘香	✓	✓	✓	✓	✓
乙酸乙酯	水果香	ND	ND	✓	ND	ND
糠醇	焦糖甜香	✓	ND	✓	ND	✓
正己醇	青草香	✓	✓	✓	✓	✓
(2S,3S)-(+)-2,3-丁二醇	甜香	ND	ND	ND	✓	✓
愈创木酚	烟熏味、药香	ND	ND	ND	✓	ND
麦芽酚	焦糖香	ND	ND	✓	ND	ND
乙基麦芽酚	焦糖香	ND	✓	✓	ND	ND
乙酸	酸味	✓	✓	✓	✓	✓
己酸	酸味	✓	✓	✓	✓	✓
戊酸	奶酪味	✓	✓	ND	ND	ND
辛酸	轻微油脂酸败味	✓	✓	✓	ND	ND
2-丁酮	薄荷香	✓	ND	ND	✓	ND
2,3-戊二酮	黄油香	ND	✓	✓	✓	✓
2-庚酮	水果甜香	✓	✓	ND	✓	✓
乙偶姻	奶油香、焦糖香	ND	ND	ND	✓	ND
2-呋喃基甲基酮	焦糖香、咖啡香	✓	ND	✓	✓	✓
3-戊烯-2-酮	果香	✓	ND	ND	ND	ND
蒎烯	柑橘香	ND	✓	✓	✓	✓
5-甲基-1-己烯	微弱脂肪气息	ND	✓	ND	✓	ND
辛烷	无味	✓	✓	✓	✓	✓

<sup>†</sup> ND表示未检出。

微油脂酸败味的辛酸成分,风味层次欠佳,尤其是不添加胡麻油的桃酥香气较单一,缺少部分烘烤香气和焦糖甜香。胡麻油—玉米油配比为 1:1 组的香气美好,负面气味少,不饱和脂肪酸氧化产生适量的醛、酮及  $\alpha$ -二羰基化合物等中间产物,可与面粉中游离氨基酸发生 Strecker 降解,通过氨基酮环化等反应形成吡嗪类化合物,且玉米油中饱和脂肪酸化学稳定性强,可调控氧化程度,减缓美拉德反应过度氧化。胡麻油—玉米油配比为 1:1 可通过多种反应途径的协同作用,规避胡麻油易氧化的缺点,实现挥发性风味物质平衡,强化胡麻油特征风味。

### 3 结论

通过系统分析胡麻油替代量对桃酥品质的影响,证实胡麻油—玉米油 1:1 为较优配比,此时桃酥的感官评分最高,品质稳定,质构均衡稳定,与水分相协同,酸价与过氧化值均在安全阈值内,且胡麻油特征香气得以释放。未来可结合微胶囊包埋技术解决热敏性难题<sup>[25-26]</sup>,开发植物精油成分<sup>[27-28]</sup>或多酚类物质<sup>[29]</sup>抗氧化,真空氮包装抑制贮藏过程中品质劣变<sup>[30]</sup>,低温分段烘烤使风味优化<sup>[30-31]</sup>,引入单甘酯为乳化剂改善复合油脂与面团的相容性<sup>[32]</sup>,以油凝胶替代黄油等固体脂肪减少烹饪过程中的营养损失<sup>[33]</sup>,推动传统糕点向营养精准化方向升级。

### 参考文献

- [1] 朱美乔. 烘焙食品行业迎来发展新机遇[N]. 中国食品报, 2025-01-09(005).  
ZHU M Q. New opportunities for the development of the baking food industry[N]. China Food News, 2025-01-09 (005).
- [2] 左丹, 赵开飞. 功能性成分在烘焙制品中的应用与研究进展[J]. 食品工业, 2024, 45(7): 229-234.  
ZUO D, ZHAO K F. Application and research progress of functional ingredients in bakery products[J]. The Food Industry, 2024, 45(7): 229-234.
- [3] 吴苏喜, 肖志红, 季敏. 棕榈油复配物代替猪油用于桃酥制作[J]. 食品科学, 2011, 32(20): 323-326.  
WU S X, XIAO Z H, JI M. Substitution of palm oil blend for lard used in Chinese crisp peach cookie[J]. Food Science, 2011, 32(20): 323-326.
- [4] 叶丹榕, 彭小燕, 蔡香珍, 等. 响应面法优化茉莉花茶风味茶油桃酥配方[J]. 热带农业科学, 2020, 40(7): 95-102.  
YE D R, PENG X Y, CAI X Z, et al. Optimization of formula of jasmine tea flavor tea-seed oil crisp cakes based on response surface methodology[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2020, 40(7): 95-102.
- [5] 宋振佳. 棉籽油制备零反式脂肪酸烘焙型起酥油的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023: 1-86.  
SONG Z J. Study on preparation of zero trans fatty acid baked shortening from cottonseed oil[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2023: 1-86.
- [6] 张卓, 李琦, 陈宇飞, 等. 响应面法水飞薏苡油曲奇配方优化[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(10): 96-99, 103.  
ZHANG Z, LI Q, CHEN Y F, et al. Optimization of the formula of *Silybum marianum* (L.) Gaertn. seed oil cookies by response surface methodology[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(10): 96-99, 103.
- [7] 赵新颖, 阮长青, 李志江, 等. 淀粉—脂质复合物的性质、生理功能及应用进展[J]. 食品工业科技, 2025, 46(10): 12-20.  
ZHAO X Y, RUAN C Q, LI Z J, et al. Properties, physiological functions and applications of starch-lipid complexes[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(10): 12-20.
- [8] 马启昱. 油脂对面团特性及饅饼品质的影响研究[D]. 南宁: 广西大学, 2022: 1-90.  
MA Q Y. Effect of oil on dough characteristics and Naan quality [D]. Nanning: Guangxi University, 2022: 1-90.
- [9] 穆艳鑫. 胡麻脂肪酸相关 SNP 位点的 KASP 基因分型及其验证[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2023: 1-62.  
MU Y X. KASP genotyping and verification of fatty acid-related SNP loci in flax[D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2023: 1-62.
- [10] 黄和, 任波, 孙小曼.  $\omega$ -3 多不饱和脂肪酸健康机制及应用研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(5): 1-12.  
HUANG H, REN B, SUN X M. Research progress on health mechanism and application of omega-3 polyunsaturated fatty acids[J]. Journal of Food Science and Technology, 2024, 42(5): 1-12.
- [11] 李新明, 李群. 胡麻油对高脂模型小鼠血脂代谢的保护作用[J]. 生物化工, 2024, 10(1): 5-9.  
LI X M, LI Q. Protective effect of flax oil on blood lipid metabolism in hyperlipidemia model mice[J]. Biological Chemical Engineering, 2024, 10(1): 5-9.
- [12] YADAV B, KAUR V, NARAYAN O P, et al. Integrated omics approaches for flax improvement under abiotic and biotic stress: current status and future prospects[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 931275.
- [13] BLERVACQ A S, MOREAU M, DUPUTIÉ A, et al. Comparative analysis of G-layers in bast fiber and xylem cell walls in flax using Raman spectroscopy[J]. Biomolecules, 2023, 13(3): 435.
- [14] 荣荟. 胡麻油氧化—美拉德反应制备植物源肉味香基的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2021: 1-77.  
RONG H. Study on the plant derived meat flavor base by oxidation Maillard reaction of flax oil[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2021: 1-77.
- [15] 李新明, 李群. 苹果多酚延长胡麻油贮藏期和维持较好品质的研究[J]. 农产品加工, 2024(15): 12-14.  
LI X M, LI Q. Research on prolonging the storage period and maintain better quality of flax oil with apple polyphenols[J]. Farm Products Processing, 2024(15): 12-14.
- [16] 王彦博, 石燕, 袁毅君. 秦岭山脉野生蒲公英提取物的抗氧化活性及其对胡麻油氧化稳定性的影响[J]. 中国油脂, 2020, 45(5): 42-47.

- WANG Y B, SHI Y, YUAN Y J. Antioxidant activity of wild dandelion extracts from Qinling mountains and its effects on oxidation stability of flaxseed oil[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(5): 42-47.
- [17] FELISIAK K, PRZYBYLSKA S, TOKARCZYK G, et al. Effect of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour incorporation on quality, antioxidant properties, and bioactive compounds of shortbread cookies[J]. Foods, 2024, 13(15): 2 356.
- [18] 朱莹莹, 卢丙, 杨培强, 等. 基于低场核磁共振技术构建韧性饼干中水分含量无损定量预测模型[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(2): 463-468.
- ZHU Y Y, LU B, YANG P Q, et al. Construction of non-destructive quantitative prediction model of the moisture content of tough biscuits based on low-field nuclear magnetic resonance[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(2): 463-468.
- [19] 高恩红, 常道柯, 田潇凌, 等. 彩麦全麦粉特性及其对饼干品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(18): 114-122.
- GAO E H, CHANG X K, TIAN X L, et al. Characteristics of color wheat whole wheat flour and its influence on biscuit quality[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(18): 114-122.
- [20] 韩冰霜, 吴晶, 陈婉莹, 等. 紫甘薯曲奇饼干配方优化与风味成分分析[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版), 2021, 35(2): 33-38.
- HAN B F, WU J, CHEN W Y, et al. Formula optimization and flavor components analysis of purple sweet potato cookies[J]. Journal of Lanzhou University of Arts and Science (Natural Sciences), 2021, 35(2): 33-38.
- [21] ZHANG H, CUI H P, XIA X, et al. Control formation of furans and pyrazines resulting from dual glycation sites in  $N_{\alpha}$ ,  $N_{\epsilon}$ -di(1-deoxy-d-xylulos-1-yl)lysine via elevating thermal degradation temperatures[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2024, 72(45): 25 261-25 274.
- [22] RODRIGUEZ-AMAYA D B, AMAYA-FARFAN J. The Maillard reactions: pathways, consequences, and control[J]. Vitamins and Hormones, 2024, 125: 149-182.
- [23] LUO Y, ZHU S Y, PENG J, et al. Formation of volatile pyrazinones in amadori rearrangement products and Maillard reaction systems and the major formation pathways[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2024, 72(18): 10 570-10 578.
- [24] 潘治利, 吴阳阳, 申佳晋, 等. 磁场辅助冻结对冷冻熟制面条品质的影响[J]. 农业工程学报, 2022, 38(14): 312-318.
- PAN Z L, WU Y Y, SHEN J J, et al. Effects of magnetic field-assisted freezing on the quality of frozen noodles[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(14): 312-318.
- [25] 周范琳, 陈堪, 张团结, 等. 油茶籽油提取和包埋技术研究进展[J]. 食品科学, 2025, 46(6): 354-370.
- ZHOU F L, CHEN G, ZHANG T J, et al. Advances in extraction and encapsulation technologies for camellia seed oil[J]. Food Science, 2025, 46(6): 354-370.
- [26] 张伟翔, 张伟科. 微胶囊包埋技术在增强食品稳定性中的作用[J]. 食品安全导刊, 2024(13): 169-171.
- ZHANG W X, ZHANG W K. The role of microencapsulation technology in enhancing food stability[J]. China Food Safety Magazine, 2024(13): 169-171.
- [27] 黄佳琳, 白卫东, 刘功良, 等. 植物精油的化学组成、功效及递送体系研究进展[J]. 食品与机械, 2025, 41(4): 197-205.
- HUANG J L, BAI W D, LIU G L, et al. Progress in chemical composition, efficacy, and delivery systems of plant essential oils[J]. Food & Machinery, 2025, 41(4): 197-205.
- [28] 屈岩峰, 郭晓婵, 唐嘉瞳, 等. 花椒中天然成分提取工艺及在食品中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2024, 40(5): 234-240.
- QU Y F, GUO X C, TANG J T, et al. Research progress on the extraction process of natural components from *Zanthoxylum bungeanum* and its application in food[J]. Food & Machinery, 2024, 40(5): 234-240.
- [29] 蓝静, 任香芸, 苏昊, 等. 儿茶素协同亚硫酸解聚山葡萄籽高聚原花青素及抗氧化研究[J]. 食品与机械, 2025, 41(7): 149-157.
- LAN J, REN X Y, SU H, et al. Synergistic depolymerization of polymeric proanthocyanidins from *Vitis amurens* seeds by catechin and sulfurous acid and their antioxidant activity[J]. Food & Machinery, 2025, 41(7): 149-157.
- [30] 杨从发, 邓翔, 李祥, 等. 低温烘焙桑葛无糖饼干的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(13): 84-88.
- YANG C F, DENG X, LI X, et al. Baking technology of mulberry leaf and kudzu vine root sugar-free biscuits at low temperature[J]. Food Research and Development, 2022, 43(13): 84-88.
- [31] 刘晓丹, 肖瀛, 吴金鸿, 等. 加热对美拉德反应产物主要成分及其抗氧化活性的影响[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(3): 139-143.
- LIU X D, XIAO Y, WU J H, et al. Effect of heating on the main components and antioxidant activities of Maillard reaction products[J]. Cereals & Oils, 2024, 37(3): 139-143.
- [32] 罗凯文. 不饱和单甘酯对可颂冷冻面胚结构特性的影响[J]. 食品安全导刊, 2024(35): 135-138, 143.
- LUO K W. The effect of unsaturated monoglyceride on the structural characteristics of curzon frozen dough embryo[J]. China Food Safety Magazine, 2024(35): 135-138, 143.
- [33] 屈岩峰, 刘偲铭, 孔珍, 等. 油凝胶的制备及在食品中应用研究进展[J]. 食品与机械, 2025, 41(3): 221-227.
- QU Y F, LIU R M, KONG Z, et al. Research progress on oleogel preparation and application in food[J]. Food & Machinery, 2025, 41(3): 221-227.