

猴头菇-低筋小麦混合面团流变学特性及猴头菇酥性饼干挥发性风味成分的分析

周明¹, 朱晓娟¹, 尧梅香^{1,2*}, 熊莺³, 付玉梅¹, 秦巧莉¹, 谢伟¹, 李人赵¹, 肖建辉⁴, 周维清¹

(1. 江中食疗科技有限公司研发中心, 江西南昌 330000) (2. 南昌大学食品科学与资源挖掘全国重点实验室, 江西南昌 330000) (3. 江中药业股份有限公司, 江西南昌 330000) (4. 江西农业大学江西省天然产物与功能食品重点实验室, 江西南昌 330000)

摘要: 该实验通过添加不同比例的100目猴头菇粉(0%、3%、6%、9%, *m/m*), 探究其对低筋小麦粉面团的流变特性、粉质情况和拉伸状态等物性指标的影响, 并分析猴头菇粉对酥性饼干挥发性风味成分的改变。随着猴头菇粉添加量增加, 面团吸水量、形成时间、弱化值等表现上升趋势, 含6%添加量面团的弱化值是对照组的1.85倍, 但稳定时间、粉质质量指数、储能模量、损耗模量和5种拉伸特性指标表现降低趋势, 含0%与3%猴头菇粉的面团粉质与拉伸特性指标差异不显著($P<0.05$)。与对照组酥性饼干比, 猴头菇酥性饼干挥发性风味成分种类更多, 达23种, 醛类是主要挥发性物质, 其中2-庚酮含量最高, 达930.54 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 但2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、2-壬酮、甲氧基苯基酚是猴头菇酥性饼干贡献最大的特征香气成分。综上, 猴头菇粉添加量为3%时, 面团的加工特性较好, 且猴头菇粉的添加增加了酥性饼干的挥发性风味成分种类, 赋予饼干更多的香气特征。

关键词: 猴头菇; 低筋小麦粉; 面团流变学; 挥发性风味成分

文章编号: 1673-9078(2025)02-192-203

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.2.0154

Rheological Properties of *Hericium erinaceus*-low-gluten Wheat Mixed Flour Dough and Volatile Flavor Components of Derived Crisp Cracker

ZHOU Ming¹, ZHU Xiaojuan¹, YAO Meixiang^{1,2*}, XIONG Ying³, FU Yumei¹, QIN Qiaoli¹, XIE Wei¹,
LI Renzhao¹, XIAO Jianhui⁴, ZHOU Weiqin¹

(1. Jiangzhong Dietary Co. Ltd., R&D Center, Nanchang 330000, China)

(2. State Key Laboratory of Food Science and Resources, Nanchang University, Nanchang 330000, China)

(3. Jiangzhong Pharmaceutical Machinery Co. Ltd., Nanchang 330000, China) (4. Jiangxi Key Laboratory of Natural Products and Functional Foods, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330000, China)

Abstract: In this experiment, the effects of addition of 100 mesh *Hericium erinaceus* powder in different proportions
引文格式:

周明,朱晓娟,尧梅香,等.猴头菇-低筋小麦混合面团流变学特性及猴头菇酥性饼干挥发性风味成分的分析[J].现代食品科技,2025,41(2):192-203.

ZHOU Ming, ZHU Xiaojuan, YAO Meixiang, et al. Rheological properties of *Hericium erinaceus*-low-gluten wheat mixed flour dough and volatile flavor components of derived crisp cracker [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(2): 192-203.

收稿日期: 2024-02-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(31860444); 江西省科技厅重大科技研发专项(20212AA F01005)

作者简介: 周明(1993-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向: 食品加工与组分变化, E-mail: zhouming@jzsl.net

通讯作者: 尧梅香(1977-), 女, 博士, 高级工程师, 研究方向: 中医食疗理论及产业化, E-mail: ymx@jzsl.net

(0%, 3%, 6%, 9%, *m/m*) on the rheological properties, flour quality and tensile properties of low-gluten wheat flour dough were investigated, and the changes in volatile components of crispy cracker caused by *Hericium erinaceus* powder were analyzed. With the increase in the addition amount of *Hericium erinaceus* powder, the water absorption, formation time and weakening value of the dough showed an upward trend, the weakening value of the dough with 6% addition amount was 1.85 times that of the control group (0% addition), but the stabilization time, flour quality index, storage modulus, loss modulus and five tensile property indicators showed a decreasing trend, and there was insignificant difference in flour quality and tensile properties indicators between the doughs with 0% and 3% addition ($P<0.05$). Compared with the control crispy cracker, the *Hericium erinaceus* cracker had more volatile flavor components (up to 23 kinds). Aldehydes were the main volatile substances, among which the content of 2-heptanone was the highest (reaching 930.54 $\mu\text{g}/\text{kg}$). However, 2-methylbutanal, 3-methylbutanal, 2-nonanone and methoxyphenyloxime were the characteristic aroma components that contributed the most to the *Hericium erinaceus* crispy cracker. In summary, when the addition amount of *Hericium erinaceus* powder was 3%, the processing characteristics of the dough were better, and the addition of *Hericium erinaceus* powder increased the types of volatile flavor components of the crispy cracker and gave the cracker more aroma characteristics.

Key words: *Hericium erinaceus*; low gluten wheat flour; dough rheology; volatile flavour compounds

市售多数酥性饼干均是以低筋小麦粉为基料,添加白砂糖、食用植物油及配料,经搅拌、成型、烘烤等工艺制备而成。当前,酥性饼干口感单一、功效价值较低,这与消费者对饼干的口感风味和功效增强的需求性相矛盾^[1]。将蘑菇、大豆、荞麦等天然健康食材添加至小麦粉中并加工成饼干是提升饼干健康功效的措施之一^[2]。研究表明,面团的粉质、拉伸等流变学特性与产品烘烤品质密切相关,外源无麸质食材全粉部分代替小麦粉在一定程度上会稀释面筋并对面团加工特性和烘焙品质产生消极的影响^[3,4]。此外,挥发性风味对于饼干产品的消费量与接受度也是一个重要影响因素^[5]。因此,系统分析外源添加物对低筋小麦粉的面团流变学特性影响和饼干成品挥发性风味成分研究,对指导饼干的产品开发与品质提升具有重要意义。

在低筋小麦粉中添加橄榄核粉可以增强面团膳食纤维含量和功效价值,但随着其添加量的增加,面团吸水量、硬度与粘聚性也随之增加,面团延伸性与拉伸阻力呈降低的趋势,面团品质受到了一定程度的破坏^[6]。类似的,添加10%罗望子种子全粉的低筋小麦粉面团的吸水量、硬度、稠度等均较对照组高,延伸性与拉伸阻力值较对照组低^[7]。Yang等^[8]研究发现,随着低筋小麦粉中的小麦芽粉占比增加,吸水量、面团形成时间、面团稳定时间等呈现降低的趋势,弱化度呈现增加的趋势,同时饼干的厚度、硬度、脆性等物性指标也随着小麦芽粉添加量的增加呈现降低的趋势。此外,研究表明在低筋小麦粉中加入红豆、小米、马铃薯、苹果、鱼油乳液等食品配料并加工制备成饼干可以赋予产品更

多的挥发性风味成分和感官属性,给消费者一种区别于传统饼干特殊口感风味的体验^[9-12]。

研究表明,猴头菇含有多糖、黄酮等多种植物化学物,具有增强机体免疫力、抗胃溃疡、抗幽门螺杆菌等功效,其子实体被用于预防和治疗消化系统疾病已经2000多年^[13,14]。当前,猴头菇主要应用于小麦粉制品中,小麦粉根据蛋白质含量差异分为高筋、中筋、低筋小麦粉,关于猴头菇粉对中筋小麦面团流变学的影响已有相关报道^[15]。中筋小麦粉一般用于面条、挂面、包子、馒头及发酵(苏打)饼干等产品的加工,而酥性饼干的制作需要用低筋小麦粉,市面上虽已出现猴头菇酥性饼干,但猴头菇粉-低筋小麦混合面团流变学分析尚未见报道,猴头菇粉对低筋小麦面团内在品质的影响尚不得而知,因此拓展猴头菇对低筋小麦粉面团流变学特性影响具有重要的应用意义。猴头菇功效价值较高,将猴头菇添加至低筋小麦粉中也可赋予小麦粉含有更多的功能成分,提升酥性饼干产品的营养与功效价值。研究表明风味对饼干整体的食用品质影响较大,查阅文献发现当前猴头菇酥性饼干挥发性风味成分的相关研究暂无报道。

本研究拟将猴头菇粉添加到低筋小麦粉中,借助粉质仪、动态流变仪等设备来系统分析不同添加量猴头菇粉对面团流变学特性的影响,并采用顶空固相微萃取与气相色谱-质谱连用技术(Head Space Solid-Phase Microextraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry, HS-SPME-GC-MS)鉴定猴头菇酥性饼干的挥发性成分,旨在为猴头菇酥性饼干品质的改良提升和新产品开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

低筋小麦粉, 益海嘉里(周口)食品工业有限公司; 鲜猴头菇, 亳州中信食品有限公司; 硫酸铜、硫酸钾、硫酸、盐酸、硼酸、氢氧化钠、石油醚、甲基红、溴甲酚绿、亚甲基蓝、乙醇、苯酚等试剂分析纯, 天津市永大化学试剂有限公司; C₅~C₂₀ 正构烷烃混合标准品色谱纯, 上海安谱实验科技股份有限公司。

BAS124S 型分析天平, 赛多利斯科学仪器有限公司; Foss8400 型全自动凯氏定氮仪, 丹麦 FOSS 公司; Farinograph-E 自动型粉质仪与 Extensograph-E 型拉伸仪, 德国布拉本德公司; Discovery HR-1 型流变仪, 美国 TA 仪器有限公司; DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器, 巩义市予华仪器有限责任公司; 7890B-5977B 型 GC-MS 连用仪, 美国 Agilent 公司; 嗅闻仪 ODP3, 德国 Gerstel 公司; SPME 装置的手柄、固定搭载装置及 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头, 美国 Supelco 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 基本组分测定方法

水分含量的测定按 GB 5009.3-2016 第一法执行, 蛋白质含量的测定按 GB 5009.5-2016 第一法执行, 脂肪含量的测定按 GB 5009.6-2016 第一法执行, 膳食纤维含量的测定按 GB 5009.88-2014 执行, 湿面筋含量的测定按 GB/T 5506.2-2008 执行, 粗多糖含量的测定按 NY/T 1676-2023 执行。

1.2.2 混合粉的制备

将新鲜猴头菇进行热风干燥(55 °C、6 h), 冷却后粉碎, 过 100 目的筛网, 制备成 100 目的猴头菇粉。

将 100 目猴头菇粉与低筋小麦粉以 0:100、3:97、6:94、9:91 的比例(*m/m*)混合均匀作为不同添加量猴头菇粉对面团影响的研究材料。

1.2.3 面团粉质特性与拉伸特性的测定

面团吸水量、形成时间、稳定时间、弱化度、粉质质量指数等粉质特性指标的测定按 GB/T 14614-2019 执行, 面团拉伸阻力、延伸度、最大拉伸阻力、拉伸比例、最大拉伸比例等拉伸特性指标的测定按 GB/T 14615-2019 执行。

1.2.4 面团动态流变学的测定

面团的制备方法: 称取 100 g 猴头菇粉-低筋

小麦粉混合粉, 按粉质仪测定得到的吸水量添加纯净水, 置于粉质仪揉面钵搅拌形成光滑的面团。

面团动态流变学采用 Han 等^[16]的方法, 略有改进。试验采用振荡模式下的频率扫描, 选用直径 40 mm 的夹具平板, 称取 3 g 面团置于流变仪平板上, 等待时间为 3 min, 主要是起到平衡应力及面团温度的作用, 狭缝间距设置为 1.5 mm, 温度设置为 25 °C, 频率扫描应变力为 0.1%, 扫描频率为 0.1~10.0 Hz。为了防止面团测定过程中水分挥发, 采用二甲基硅油密封面团。

1.2.5 饼干样品的制备

对照组酥性饼干基础配方(不添加猴头菇粉): 低筋小麦粉 100 g、白砂糖 45 g、安佳黄油 23 g、食用植物油 23 g、鲜鸡蛋 10 g、全脂乳粉 7 g、食用盐 0.45 g、碳酸氢钠 0.25 g、碳酸氢铵 0.20 g、纯净水 8 g。

猴头菇酥性饼干基础配方(猴头菇粉占低筋小麦粉 3%): 低筋小麦粉 97 g、猴头菇粉 3 g、白砂糖 45 g、安佳黄油 23 g、食用植物油 23 g、鲜鸡蛋 10 g、全脂乳粉 7 g、食用盐 0.45 g、碳酸氢钠 0.25 g、碳酸氢铵 0.20 g、纯净水 8 g。

酥性饼干制备工艺: 首先将软化的安佳黄油与白砂糖置于搅拌锅中, 慢速搅拌 1 min, 快速搅拌 4 min, 打发均匀; 将食用植物油、鲜鸡蛋、全脂乳粉、食用盐、碳酸氢钠、碳酸氢铵、纯净水等原料加入到安佳黄油与白砂糖中, 慢速搅拌 2 min, 快速搅拌 6 min, 打发均匀, 形成均一的乳浊液; 将低筋小麦粉与乳浊液混合, 慢速搅拌 1~2 min 形成饼干面团, 用保鲜膜覆盖并静置 20 min, 手工压片成型制备成直径 3 cm、厚度 3 mm 的圆形饼干生坯; 将饼干生坯置于烤箱中, 上火 180 °C, 下火 160 °C, 烘烤 8~10 min, 视上色程度决定烘烤终点; 烘烤后置于室温下冷却 10 min, 包装即得饼干成品。

1.2.6 猴头菇粉与酥性饼干挥发性风味成分的测定与分析

HS-SPME 方法参照李国琰等^[17]进行, 略有改动。准确称取 1.5 g 对照组饼干/猴头菇饼干/猴头菇粉样品放入顶空固相微萃取样品瓶中, 采用饱和氯化钠溶液稀释到 6 g 并加入 2 μL 0.1 μL/mL 己酸乙酯内标物质, 将老化的 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头插入样品瓶中, 于 50 °C 环境下吸附 30 min, 萃取完后, 迅速将萃取头插入 GC 进样口, 250 °C 解吸 5 min 并启动设备采集数据。

表 1 低筋小麦粉组分分析 (%)

Table 1 Analysis of low gluten wheat flour components

指标	水分	蛋白质	脂肪	总膳食纤维	湿面筋含量
含量	8.02 ± 0.13	8.50 ± 0.10	1.60 ± 0.10	2.08 ± 0.26	22.6 ± 0.47

表 2 猴头菇粉组分分析 (%)

Table 2 Analysis of the components of *Hericium erinaceus* powder components

指标	水分	蛋白质	脂肪	总膳食纤维	粗多糖
含量	13.69 ± 0.12	12.81 ± 0.10	2.60 ± 0.10	45.31 ± 0.26	6.21 ± 0.02

色谱条件与质谱条件参照 An 等^[18]进行, 略有改动。其中色谱条件为: DB-5MS 弹性毛细管柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm); 载气为氦气; 进样口温度为 250 °C; 载气 (氦气) 流量为 1.7 mL/min; 色谱柱升温程序: 初始温度为 40 °C, 保持 3.5 min, 随后以 5 °C/min 的速度升温至 90 °C, 保持 5 min, 再以 12 °C/min 的速度升温至 220 °C 保持 7 min。采用不分流进样模式。质谱条件为: 采用全扫描模式 (Scan mode) 采集信号, 电离方式 EI, 电子轰击能量为 70 eV; 接口温度 280 °C, 离子源温度为 230 °C, 四级杆温度为 150 °C, 扫描质量范围为 35~350 u, 倍增器电压 (自动调谐 +200V); 扫描速度: 5.2 次/s。

定性: 与标准信息库 NIST16 进行比对定性, 采用正构系列烷烃混合标样 C₅~C₂₀ 计算挥发性成分的保留指数, 保留指数 (RI) 计算公式如下:

$$RI = 100N + \frac{100(t_{Ra} - t_{RN})}{t_{R(N+1)} - t_{RN}} \quad (1)$$

式中:

N——目标挥发性风味成分左侧正构烷烃的 C 原子数;

N——位于目标挥发性风味成分两侧正构烷烃的 C 原子数之差;

t_{Ra} 、 t_{RN} 和 $t_{R(N+1)}$ ——分别是待测挥发性风味成分、待测挥发性风味成分左侧和右侧正构烷烃的保留时间。

定量: 采用内标半定量法计算样品中挥发性风味成分的含量, 即根据挥发性风味成分峰面积及内标峰面积比值计算。

气相色谱-嗅闻 (Gas Chromatography-Olfactometry, GC-O) 方法采用 Liu 等^[19]的方法进行, 略有改动。经过 HS-SPME 前处理后, 通过 GC 分离后, 以 3:1 的分流比分别进入嗅觉检测器和质谱检测器进行分析检测。检测时嗅闻口温度为 150 °C, 同时通入一定流量 (60 mL/min) 的加湿氮气, 防止嗅闻人员鼻腔干燥, 影响嗅闻实验结果, GC-O 色谱条件同上。本实验中, 将嗅闻到次的物质确定为香气活性化合

物, 同时记录所闻到的气味特征、保留时间, 并采用 4 点法来进行强度分析 (1- 较弱、2- 较强、3- 强、4- 极强), 最终挥发性风味成分的香气强度值以总强度的平均值取整数后计。

1.3 数据分析

采用 Excel 2018 与 Origin 2021b 软件制表与绘图; 采用 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析 (ANOVA) 和 Duncan 法多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与讨论

2.1 猴头菇粉与低筋小麦粉组分分析

低筋小麦粉基本组成成分如表 1 所示, 其中蛋白质含量为 8.50%, 湿面筋含量为 22.6%, 符合低筋小麦粉的质量要求。

猴头菇粉基本组成成分如表 2 所示, 总膳食纤维含量为 45.31%, 粗多糖含量为 6.21%, 表明猴头菇粉中主要的组分是膳食纤维, 这是猴头菇对人体肠胃具有改善功能的原因之一。

2.2 猴头菇粉添加量对面团粉质特性的影响

研究表明添加含有较高膳食纤维的食材, 会与小麦中的面筋蛋白发生竞争水分效应, 影响面筋网络结构的形成、稳定和面团的吸水量、延展特性, 并对麦谷蛋白大聚体的分子聚集与组织内气泡的扩展产生抑制作用^[20,21]。由表 3 可知, 向低筋小麦粉中添加猴头菇粉后, 面团整体的粉质特性发生了变化。随着猴头菇粉的添加量逐渐增多, 面团的吸水量、面团形成时间和弱化值等指标均呈现逐渐增加的趋势; 但猴头菇粉的添加使得面团稳定时间和粉质质量指数表现出逐渐降低的趋势。随着猴头菇粉的添加量逐渐增多, 面团的吸水量由 52.50% 增加至 57.52%, 呈显著性差异 ($P < 0.05$), 这可能是

因为猴头菇粉含有较高的膳食纤维与粗多糖, 导致面团吸水量增加^[22]。猴头菇粉的添加导致面团的弱化值由 74.40 BU 增加到 138.08 BU, 面团形成时间由 1.42 min 增至 4.84 min, 而粉质质量指数由 80.01 降低至 45.09, 均具有显著性差异 ($P < 0.05$)。猴头菇粉的添加增加了面团中膳食纤维和粗多糖的含量, 但会导致整体的面筋蛋白含量被稀释, 面团网络结构也在一定程度上被破坏, 从而使得面团弱化值和面团形成时间的增加, 以及面团稳定时间和粉质质量指数的降低^[23]。此外, 面团形成时间的延长可能是因为猴头菇粉-低筋小麦粉混合面团网络结构的破坏延缓了面团中蛋白质吸水与水合作用, 进而导致形成时间的增加^[24]。一方面猴头菇粉可能会影响面筋蛋白与淀粉颗粒的微观分布及两者之间的相互作用来破坏面团的内在品质^[25], 另一方面猴头菇中的多糖、膳食纤维等组分与面筋蛋白之间的联系反应也可能导致面筋蛋白的三维网络结构受到一定程度的破坏^[26]。此外, 猴头菇粉添加量为 3% 的面团与不添加猴头菇粉的面团在吸水量、面团形成时间、面团稳定时间、弱化值、粉质质量指数等指标差异不显著 ($P > 0.05$), 这表明猴头菇粉添加量为 3% 时, 对面团整体的特性没有产生显著的影响 ($P > 0.05$)。

2.3 猴头菇粉添加量对面团拉伸特性的影响

随着猴头菇粉添加量的增加, 面团的拉伸阻力、延伸度、最大拉伸阻力等拉伸特性指标均呈现降低的趋势, 当猴头菇粉添加量较高时, 均呈显著差异 ($P < 0.05$)。猴头菇粉添加量到 9% 时, 面团的 5 种拉伸特性指标降至最低, 其中拉伸阻力为 87.18 BU, 延伸度为 82.33 mm, 最大拉伸阻力为 156.45 BU。推测可能是因为猴头菇粉添加量的增加导致面筋蛋白含量、面团筋力的降低和面团网络结构的破坏, 可塑性与可拉伸性降低, 面团加工性能较差^[27]。类似的, 猴头菇粉添加量为 3% 的面团与不添加猴头菇粉的面团在拉伸阻力、延伸度、最大拉伸阻力、拉伸比例、最大拉伸比例等指标差异不显著 ($P > 0.05$)。拉伸阻力、最大拉伸阻力、拉伸比例等指标与面团的强度、持气能力有关, 而延伸度反映了面团延展性, 本文试验结果表明增加猴头菇粉添加量对面团的强度、持气性、延伸度影响较大^[28]。

2.4 猴头菇粉添加量对面团动态流变学的影响

储能模量 (G')、损耗模量 (G'') 分别代表面

团的弹性、黏性, 损耗角正切值 ($\tan\delta$) 是黏弹性比 (G''/G'), 反映了面团的聚合度, $\tan\delta$ 越大, 说明聚合度越低, 面团整体品质越差^[29,30]。从图 1 可以看出, 随着角频率的增加, G' 与 G'' 也表现增加的趋势, 这显示猴头菇低筋小麦面团具有典型的黏弹特性。不同添加量的猴头菇粉-低筋小麦粉面团的 G' 均高于 G'' , $\tan\delta$ 均低于 1, 这显示面团处于不可流动的状态, 是以弹性为主的假塑性流体特征, 表现出固体性质^[31]。随着猴头菇添加量的增加, 相同角频率下, G' 与 G'' 均呈现逐渐降低的趋势, 而 $\tan\delta$ 逐渐增加, 这主要是因为猴头菇粉添加量较大导致面团面筋蛋白三维网络结构破坏严重或形成相对较为松散的面筋蛋白^[32,33]。此外, 也有可能是混合面团包裹淀粉的能力降低, 引起了面筋蛋白的弱化与分子动能的增加, 面团变软且黏弹性降低^[34]。李经纬等^[35]将 5% 的豌豆全粉添加至小麦面团中也发现混合面团的 G' 与 G'' 均降低。

Li 等^[36]研究表明以膳食纤维为主要组分的麦麸吸水羟基基团较多, 会与面团中的大量水分子紧密结合, 导致面团的机械性能与黏弹性增加, 这与本试验得出的结论相反, 推测可能是麦麸中其他组分与面筋蛋白交联形成较为稳定的体系或麦麸促进了面筋蛋白之间的分子交联, 形成了较好面筋网络结构, 导致面团黏弹性增加。陶虹伶等^[37]试验结果表明低添加量的松茸粉 (3%、6%) 会导致面团的 G' 与 G'' 均显著低于对照组 ($P < 0.05$), 但添加量高于 6% 时, 随着松茸粉添加量的增加, 亲水性膳食纤维增加, 面筋网络结构增强, 面团 G' 与 G'' 也增加。此外, 也有学者发现低添加量的银耳多糖会与面筋蛋白竞争性吸水, 造成体系黏弹性降低, 高添加量的银耳多糖会提升整个面团体系的持水性, 增加 G' 与 G'' ^[38]。在本实验中, 只考察了 3%、6%、10% 猴头菇粉对面团动态流变的影响, 当添加量高于 10% 时, 面团中的膳食纤维和粗多糖等组分含量也会增加, 猴头菇粉是不是会导致面团的 G' 与 G'' 增加和面筋网络结构得到增强, 需要进一步的试验验证。

2.5 猴头菇粉与猴头菇酥性饼干挥发性风味成分分析

目前, 猴头菇添加到烘焙中的研究主要集中在物性分析和外型表征上, 对于猴头菇对酥性饼干的挥发性风味成分与香气物质的研究较少。如表 5 所示, 在对照组酥性饼干、猴头菇酥性饼干、猴头菇粉中

分别检测到 21 种、23 种、56 种挥发性风味成分，包括醇类、醛类、酮类、萜烯类、烷烃类、芳香族、杂环类、其他类等 8 类，三者的挥发性风味物质组成与含量存在较大的差异。其中，猴头菇粉中萜烯类物质种类最多，达 21 种，其次是烷烃类和醛类，研究表明，烷烃类挥发性物质的风味阈值一般较高，

风味特征不明显，对整体的风味可能贡献不强^[39]。猴头菇粉挥发性风味成分中，右旋萜二烯含量最高，达 2 968.60 μg/g，其次是甲氧基苯基胍、己醛，这与张毅航等^[40]在猴头菇不同部位挥发物质研究中所得出结论不同，推测可能是猴头菇的栽培基质、采收期、干燥方法不同所导致的。

表 3 猴头菇粉添加量对面团粉质特性的影响

Table 3 The effect of adding amount of *Hericium erinaceus* powder on the flour properties of dough

指标	吸水量/%	面团形成时间/min	面团稳定时间/min	弱化值/BU	粉质质量指数
0%	52.50 ± 0.52 ^c	1.42 ± 0.82 ^c	7.00 ± 0.40 ^a	74.40 ± 5.29 ^c	80.01 ± 2.00 ^a
添加量 (m/m)	3% 53.20 ± 0.79 ^{bc}	1.50 ± 0.40 ^c	6.74 ± 0.56 ^a	77.28 ± 6.24 ^c	78.20 ± 6.56 ^a
6%	54.41 ± 1.06 ^b	3.23 ± 0.72 ^b	5.43 ± 0.35 ^b	103.06 ± 7.55 ^b	56.11 ± 4.58 ^b
9%	57.52 ± 0.82 ^a	4.84 ± 0.66 ^a	4.31 ± 0.66 ^c	138.08 ± 5.29 ^a	45.09 ± 5.29 ^c

注：结果为平均值 ± 标准偏差 (n=3)，不同小写字母表示差异显著 (P<0.05)，下同。

表 4 猴头菇粉添加量对面团拉伸特性的影响

Table 4 The effect of adding amount of *Hericium erinaceus* powder on the tensile properties of dough

指标	拉伸阻力/BU	延伸度/mm	最大拉伸阻力/BU	拉伸比例	最大拉伸比例
0%	356.21 ± 9.54 ^a	137.18 ± 7.00 ^a	418.29 ± 2.65 ^a	2.90 ± 0.36 ^a	3.40 ± 0.44 ^a
添加量 (m/m)	3% 351.32 ± 7.00 ^a	135.27 ± 4.36 ^a	416.15 ± 6.00 ^a	2.70 ± 0.17 ^a	3.31 ± 0.26 ^a
6%	170.05 ± 6.24 ^b	122.05 ± 6.08 ^b	177.04 ± 3.61 ^b	1.41 ± 0.10 ^b	1.90 ± 0.17 ^b
9%	87.18 ± 7.94 ^c	82.33 ± 5.57 ^c	156.45 ± 4.58 ^c	1.10 ± 0.26 ^b	1.52 ± 0.10 ^b

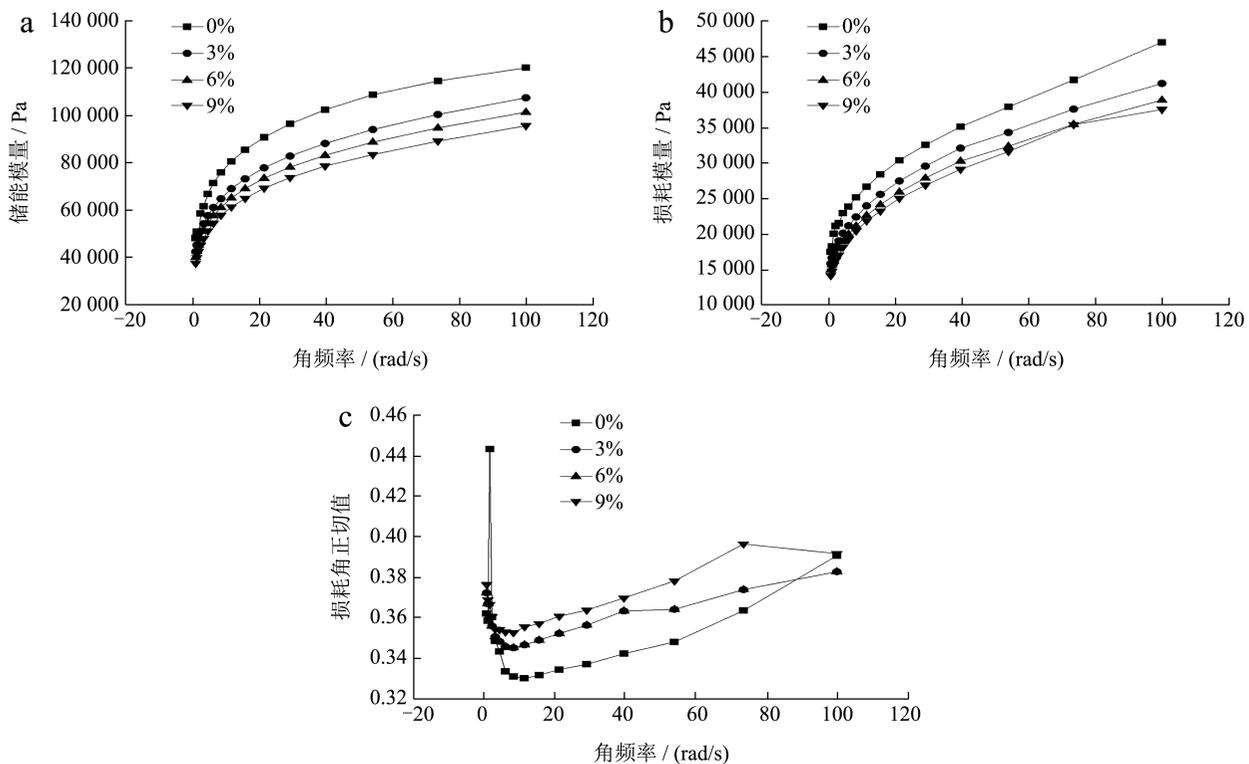


图 1 猴头菇粉添加量对面团动态流变的影响

Fig.1 The effect of adding amount of *Hericium erinaceus* powder on the dynamic rheological properties of dough

表 5 猴头菇粉与酥性饼干挥发性风味成分分析

化合物	保留时间/min	保留指数	挥发性物质	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)				香气强度			香气属性
				对照组酥性饼干-CK	猴头菇酥性饼干-HTG	猴头菇粉-HTGF	CK	HTG	HTGF		
醇类	9.64	917	1-己醇	355.59±6.45 ^a	280.48±5.46 ^b	28.96±0.48 ^c	3	3	1	水果香味	
	13.20	1020	1-辛烯-3-醇	46.02±1.83 ^a	48.18±4.65 ^a	44.15±2.56 ^a	2	3	2	蘑菇味	
	20.80	1201	2-苧醇	0	0	6.18±1.25					
	21.13	1215	萜品烯四醇	0	0	7.35±0.40					
	21.49	1231	α -松油醇	10.84±0.66 ^b	0	30.83±1.54 ^a					
醛类	3.98	652	2-甲基丁醛	391.15±16.33 ^b	662.36±37.94 ^a	110.11±8.95 ^c	4	4	2	水果与坚果香味	
	4.14	660	3-甲基丁醛	369.27±13.83 ^b	737.35±40.16 ^a	106.19±4.95 ^c	2	4	1	柑橘味、苹果味	
	7.39	849	己醛	905.45±69.23 ^a	800.61±29.00 ^b	248.05±12.47 ^c	4	3	2	青草味	
	9.12	902	糠醛	0	0	7.63±0.47			3	杏仁味	
	10.63	946	庚醛	97.12±7.68 ^a	115.40±13.51 ^a	49.00±3.46 ^b					
	12.64	1005	苯甲醛	0	0	42.86±2.47			2	杏仁味	
	15.52	1082	苯乙醛	0	46.50±1.48 ^b	56.93±1.58 ^a		2	2	花香味	
	18.28	1146	壬醛	47.93±3.31 ^c	108.69±9.84 ^a	89.87±7.46 ^b	3	3	3	柑橘味	
	10.30	937	2-庚酮	970.29±30.60 ^a	930.54±47.47 ^a	38.14±2.06 ^b	4	3	2	成熟果实香味	
	17.63	1132	2-壬酮	209.48±8.27 ^b	231.38±10.04 ^a	36.49±3.73 ^c	3	4	3	水果香味、甜香味	
萜烯类	24.84	1411	环己酮	0	0	31.99±2.87					
	11.66	976	α -蒎烯	0	0	16.87±2.07			4	花香味	
	12.14	991	苧烯	0	0	6.53±0.29			3	樟脑味	
	13.05	1016	β -罗勒烯	0	0	15.54±1.27			3	青草味、花香味	
	14.16	1046	3-萜烯	25.98±1.20 ^b	33.06±2.18 ^a	0					
14.87	1065	右旋萜二烯	168.77±10.71 ^b	178.93±4.63 ^b	2968.60±104.55 ^a	2	2	4	柠檬味		

续表5

化合物	保留时间/min	保留指数	挥发性物质	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)				香气强度			香气属性
				对照组酥性饼干-CK	猴头菇酥性饼干-HTG	猴头菇粉-HTGF	CK	HTG	HTGF		
	15.18	1 073	β -罗勒烯	0	0	14.20 \pm 0.85					
	16.01	1 096	γ -萜品烯	90.52 \pm 1.84 ^b	0	130.00 \pm 5.50 ^a					
	17.43	1 127	α -异松油烯	0	0	16.81 \pm 1.39					
	24.97	1 421	柯巴烯	0	0	140.01 \pm 4.45			4		松香味
	25.07	1 428	β -人参烯	0	0	29.02 \pm 1.19					
	25.25	1 442	雪松烯	0	8.74 \pm 0.13 ^b	15.19 \pm 0.72 ^a			2	3	木香味
	25.33	1 449	香柏烯	0	0	12.52 \pm 1.05					
	25.59	1 469	石竹烯	0	0	24.14 \pm 0.72					
萜烯类	25.76	1 482	白萜烯	0	0	28.15 \pm 1.29					
	25.93	1 495	β -法尼烯	0	0	39.00 \pm 1.31				4	青草味
	26.02	1 502	α -甜没药烯	0	0	31.30 \pm 2.04				3	辛辣味
	26.13	1 512	1,4-辛二烯	0	0	12.24 \pm 1.34				1	蒸番薯味
	26.26	1 524	γ -摩勒烯	0	0	37.73 \pm 1.60				1	清新香味
	26.42	1 538	α -愈创烯	0	0	19.83 \pm 0.83				1	烧烤味
	26.71	1 564	杜松烯	0	0	8.18 \pm 0.54					
	26.97	1 587	香橙烯	0	0	23.19 \pm 1.42				2	清新香味
	27.04	1 594	α -二去氢萹蒎烯	0	0	10.16 \pm 0.72					
	9.36	909	4-甲基辛烷	0	0	11.54 \pm 0.97					
烷烃类	14.49	1 055	2,5-二甲基壬烷	0	0	19.64 \pm 1.50					
	15.96	1 094	4,7-二甲基十一烷	0	48.88 \pm 1.70 ^a	48.74 \pm 0.87 ^a					

续表5

化合物	保留时间/min	保留指数	挥发性物质	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)				香气强度			香气属性
				对照组酥性饼干-CK	猴头菇酥性饼干-HTG	猴头菇粉-HTGF	CK	HTG	HTGF		
烷烃类	16.20	1 101	2,4,6-三甲基癸烷	35.51 \pm 3.12 ^a	20.57 \pm 2.44 ^b	19.90 \pm 1.36 ^b					
	17.27	1 124	邻伞花烃	0	0	21.17 \pm 2.49					
	18.79	1 157	3,7-二甲基癸烷	35.46 \pm 1.15 ^a	25.65 \pm 1.45 ^b	21.30 \pm 1.34 ^c					
芳香族	20.04	1 184	7-甲基十五烷	0	0	21.47 \pm 2.26					
	20.22	1 188	4-乙基癸烷	0	0	13.03 \pm 0.63					
	20.68	1 198	十九烷	0	0	12.54 \pm 1.44					
	20.88	1 204	3,8-二甲基癸烷	23.60 \pm 1.37 ^b	13.97 \pm 1.65 ^c	44.70 \pm 3.83 ^a			2		巧克力味
	21.67	1 238	十二烷	101.68 \pm 6.39 ^a	61.98 \pm 5.31 ^b	111.67 \pm 7.47 ^a				1	油脂味
	24.70	1 400	4-甲基-十四烷	0	0	11.72 \pm 1.30					
	27.16	1 605	2-甲基二十烷	0	0	8.37 \pm 0.36					
杂环类	27.46	1 635	十六烷	0	0	3.29 \pm 0.19					
	6.56	824	甲苯	146.10 \pm 5.51 ^a	125.45 \pm 7.30 ^b	26.12 \pm 1.13 ^c	3	2	1		树脂味
	26.63	1 557	丁基羧基甲苯	0	0	23.75 \pm 1.18				1	油脂味
其他类	17.15	1 121	2-乙基吡啶	0	39.65 \pm 1.62	0			2		辛辣味
	24.54	1 390	人参皂苷	13.15 \pm 1.97 ^b	12.51 \pm 0.63 ^b	19.92 \pm 1.76 ^b	3	3	4		苦涩味
	11.03	958	甲氧基苯基胍	101.33 \pm 4.70 ^c	145.78 \pm 4.65 ^b	312.43 \pm 16.26 ^a	2	4	4		肉香味
13.55	1 029	2-戊基咪喃	83.34 \pm 3.42 ^b	92.71 \pm 3.62 ^b	161.77 \pm 9.68 ^a				2		泥土味

酥性饼干主要采用小麦粉、油脂、糖、全脂乳粉、全蛋液等原辅料加工而成,主要组分包括蛋白质、氨基酸、碳水化合物、脂肪等,美拉德反应、焦糖化反应、脂质热降解、氨基酸热降解等途径是形成饼干风味的主要路径^[41]。从表5可以看出,猴头菇酥性饼干的挥发性风味成分种类比对照组酥性饼干多2种且在猴头菇酥性饼干中检测出了杂环类成分,这表明猴头菇中挥发性风味成分赋予了猴头菇饼干特殊香气成分。猴头菇酥性饼干与对照组酥性饼干共有的挥发性风味成分有19种,包括1-己醇、1-辛烯-3-醇、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、己醛、庚醛、壬醛等,对照组酥性饼干特有的挥发性风味成分有2种,为 α -松油醇、 γ -萜品烯,猴头菇酥性饼干特有的挥发性风味成分有苯乙醛、雪松烯、4,7-二甲基十一烷、2-乙基吡啶等4种。在对照组酥性饼干还是猴头菇酥性饼干的挥发性风味成分中,醛类物质的种类是最多且含量最高,分别为5种、6种,是形成酥性饼干风味的重要组分。对照组酥性饼干与猴头菇酥性饼干挥发性风味成分中含量较高的均为2-庚酮、己醛、3-甲基丁醛、2-甲基丁醛,除2-庚酮外,其他三种挥发性风味成分含量均差异显著($P < 0.05$)。研究表明,醛、酮类物质主要是不饱和脂肪氧化、氨基酸的氧化降解和基于Strecker途径的美拉德初级产物降解还原等方式形成^[42,43]。推测在酥性饼干加工过程中,烤炉高温烘烤引起了食用植物油中的不饱和脂肪酸氧化、小麦粉氨基酸与乳粉氨基酸的降解、小麦蛋白与乳粉氨基酸之间糖基化反应,释放了较多醛、酮类物质。在对照组酥性饼干与猴头菇酥性饼干中,也检测到了醇类挥发性物质,醇类主要是糖代谢、氨基酸脱羧脱氢、脂肪氧化等过程形成的,其风味阈值一般高于醛类^[44]。在对照组酥性饼干和猴头菇酥性饼干中,均检测到了甲氧基苯基肼和2-戊基呋喃,其中甲氧基苯基肼属于含氮化合物,赋予了饼干的肉香味,2-戊基呋喃属于亚油酸氧化降解的产物且在GB 2760食品添加剂使用标准中被列入允许使用的食品用合成香料名单^[45]。挥发性风味成分差异是导致饼干香气差异的主要原因,其中特有挥发性物质会导致对照组酥性饼干与猴头菇酥性饼干特殊的香气。此外,在猴头菇粉中检测出的挥发性风味成分,在猴头菇酥性饼干中并未检测出,一方面可能是因为部分挥发性风味物质热稳定性差,经受不住200~250℃的高温烘烤,如

萜烯类物质,另一方面可能是猴头菇粉添加量比较少,检测不出导致的^[46]。

为进一步分析判断对照组酥性饼干、猴头菇酥性饼干与猴头菇粉存在的特征香气成分,采用GC-O结合香气强度法鉴定三者的特征香气成分。在对照组酥性饼干中鉴定出12种特征香气成分,其中香气强度为4的挥发性风味成分有2-甲基丁醛、己醛、2-庚酮,分别呈现水果坚果香气、青草味、成熟果实风味。在猴头菇酥性饼干中鉴定出15种特征香气成分,种类数高于对照组饼干,其中香气强度为4的挥发性风味成分有2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、2-壬酮、甲氧基苯基肼,分别呈现水果坚果香气、柑橘味与苹果味、水果香味与甜香味、肉香味。在猴头菇粉鉴定出30种特征香气成分,其中香气强度为4的挥发性风味成分有右旋萜二烯、柯巴烯、 β -法尼烯、人参皂苷、甲氧基苯基肼,分别呈现柠檬香、松香味、青草味、苦涩味、肉香味。后期可以采用感官评定法进一步确定其香气轮廓。

3 结论

猴头菇粉主要组分是膳食纤维,含量达45.31%,粗多糖含量也达6.21%。猴头菇粉的添加(3%、6%、9%, m/m)均对低筋小麦面团品质造成了一定程度的破坏,且随着猴头菇粉添加量的增加,可能影响了面筋网络结构的形成,面团稳定时间、粉质质量指数、延伸度、储能模量、损耗模量等品质指标也在不断地降低,添加量6%的面团粉质质量指数最低仅为45.09,弱化值达到了最高,为138.08,添加量高使得猴头菇酥性饼干品质变差,口感不像酥性饼干。因此在生产加工猴头菇酥性饼干产品时,为保证加工性能与食用品质较好,需要控制添加量,建议控制添加量为3%。在对照组酥性饼干、猴头菇酥性饼干、猴头菇粉中分别检测到21种、23种、56种挥发性风味成分,不同挥发性风味成分组成导致饼干产生不同的香气特征,醛类物质是两种酥性饼干主要的挥发性风味物质种类,猴头菇酥性饼干醛类物质总含量为2470.91 $\mu\text{g}/\text{kg}$,且2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、2-壬酮、甲氧基苯基肼是猴头菇酥性饼干贡献最大的特征香气成分。猴头菇粉的添加越多,其酥性饼干的猴头菇特殊香味会越浓郁,可能会掩盖酥性饼干中的奶香味。本文研究结果为猴头菇酥性饼干品质的改良提升和新产品开发提供了一定的理论依据。

参考文献

- [1] GHNIMI H, ENNOURI M, CHÈNÉ C, et al. A review combining emerging techniques with classical ones for the determination of biscuit quality: advantages and drawbacks [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2023, 63(21): 5009-5032.
- [2] GOUBGOU M, SONGRÉ-OUATTARA L T, BATIONO F, et al. Biscuits: a systematic review and meta-analysis of improving the nutritional quality and health benefits [J]. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2021, 3(1): 1-18.
- [3] CHIKPAH S K, KORESE J K, HENSEL O, et al. Rheological properties of dough and bread quality characteristics as influenced by the proportion of wheat flour substitution with orange-fleshed sweet potato flour and baking conditions [J]. *LWT-Food science and Technology*, 2021, 147: 111515.
- [4] TURKSOY S, ERTURK M Y, KOKINI J. Behavior of semolina, hard, soft wheat flour dough at different aging times and temperatures through LAOS properties and molecular interactions of proteins [J]. *Journal of Food Engineering*, 2021, 301: 110549.
- [5] NIKOLAOU E N, KARVELA E D, MARINI E, et al. Enrichment of bakery products with different formulations of bioactive microconstituents from black Corinthian grape: Impact on physicochemical and rheological properties in dough matrix and final product [J]. *Journal of Cereal Science*, 2022, 108: 103566.
- [6] BOLEK S. Olive stone powder: A potential source of fiber and antioxidant and its effect on the rheological characteristics of biscuit dough and quality [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2020, 64: 102423.
- [7] BOLEK S. Valorization of microwave roasted *Tamarindus indica* seed in functional biscuit production and effects on rheological and textural properties of biscuit dough [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2022, 59(5): 2080-2086.
- [8] YANG B, GUO M, ZHAO Z. Incorporation of wheat malt into a cookie recipe and its effect on the physicochemical properties of the corresponding dough and cookies [J]. *LWT-Food science and Technology*, 2020, 117: 108651.
- [9] ANNELIE D, MUSTONEN S A, DOROTA O, et al. Food fortification using spray-dried emulsions of fish oil produced with maltodextrin, plant and whey proteins-effect on sensory perception, volatiles and storage stability [J]. *Molecules*, 2022, 27(11): 3553.
- [10] BI S, WANG A, LAO F, et al. Effects of frying, roasting and boiling on aroma profiles of adzuki beans (*Vigna angularis*) and potential of adzuki bean and millet flours to improve flavor and sensory characteristics of biscuits [J]. *Food Chemistry*, 2021, 339: 127878.
- [11] FARCAS A C, SOCACI S A, CHIS M S, et al. Analysis of fatty acids, amino acids and volatile profile of apple by-products by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Molecules*, 2022, 27(6): 1987.
- [12] XU D, ZHOU X, LEI C, et al. Development of biscuits and cookies using raw dehydrated potato flour and its nutritional quality and volatile aroma compounds evaluation [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 44(7): e14528.
- [13] FAN X Z, YAO F, YIN C M, et al. Mulberry twig and pueraria root residue improve the biological efficiency and potential functional value of *Hericium erinaceus* [J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 286: 110214.
- [14] HOU X X, LIU J Y, LI Z Y, et al. Fruiting body polysaccharides of *Hericium erinaceus* induce apoptosis in human colorectal cancer cells via ROS generation mediating caspase-9-dependent signaling pathways [J]. *Food Function*, 2020, 11(7): 6128-6138.
- [15] 杨宇,方丝云,高嘉星,等.添加猴头菇粉对面团流变学特性及挂面品质的影响[J].*粮食与油脂*,2021,34(3):17-20.
- [16] HAN J, PANG L, BAO L, et al. Effect of white kidney bean flour on the rheological properties and starch digestion characteristics of noodle dough [J]. *Foods*, 2022, 11(22): 3680.
- [17] 李国琰,张雁,廖娜,等.甜玉米成熟过程中挥发性风味物质的变化规律[J].*食品科学*,2022,43(10):271-280.
- [18] AN K, LIU H, FU M, et al. Identification of the cooked off-flavor in heat-sterilized Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) juice by means of molecular sensory science [J]. *Food Chemistry*, 2019, 301: 125282.
- [19] LIU H, XU Y, WU J, et al. GC-IMS and olfactometry analysis on the tea aroma of Yingde black teas harvested in different seasons [J]. *Food Research International*, 2021, 150: 110784.
- [20] 冯钰琳,张慧娟,王静.膳食纤维和阿魏酸对面团醒发过程中麦谷蛋白大聚体聚集态的影响及其分子间相互作用[J].*中国食品学报*,2023,23(6):92-102.
- [21] 钱鑫,连胜青,谢乐,等.辣椒/牛肉粉对小麦面团复合体系流变学特性的影响[J].*食品与发酵工业*,2023,49(20): 151-158.
- [22] 汪金萍,曹蒙,王雪菲,等.抹茶粉对面团流变学特性及面条品质的影响[J].*现代食品科技*,2022,38(8):229-235, 115.
- [23] 汪名春,钱秀丽,夏传礼,等.黄秋葵全粉对小麦面团流变学特性的影响[J].*食品工业科技*,2022,43(22):122-128.
- [24] TEBBEN L, SHEN Y, LI Y. Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects

- on dough properties and bread quality [J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 81: 10-24.
- [25] XU J, LI Y, ZHAO Y, et al. Influence of antioxidant dietary fiber on dough properties and bread qualities: A review [J]. Journal of Functional Foods, 2021, 80: 104434.
- [26] MA M, XIE Y, WANG C. Effect of anthocyanin-rich extract from black soybean coat on wheat dough rheology and noodle texture [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 45: 1-8.
- [27] 刘新华,韩风,朱潇,等.马铃薯全粉面团特性及其韧性饼干制备[J].粮食与油脂,2023,36(3):31-35.
- [28] 冯利萍,王凤成.荞麦粉添加量对混合粉面团流变特性及发面饼品质的影响[J].食品与机械,2023,39(5):16-20,76.
- [29] JEONG S, PARK Y, LEE S. Assessment of turanose as a sugar alternative in a frozen dough system: Rheology, tomography, and baking performance [J]. LWT-Food Science & Technology, 2021, 141: 110869.
- [30] 周锦枫,吴磊燕,钟雅云,等.三种甘油酯对冷冻面团及其面包品质的对比分析[J].现代食品科技,2020,36(3):38-47,112.
- [31] 陈金凤,张盛贵,马云翔,等.马铃薯淀粉对低筋粉面团特性的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(10):66-71.
- [32] 刘亚平,李文钊,曾琦琦,等.发芽青稞粉对青稞-小麦面团特性及非油炸麻花品质的影响[J].中国粮油学报,2021, 36(6):45-51,65.
- [33] 汪金萍,曹蒙,王雪菲,等.抹茶粉对面团流变学特性及面条品质的影响[J].现代食品科技,2022,38(8):229-235, 115.
- [34] 戴瑞,杜密英,付晶晶,等.桑叶粉添加量对生鲜面条品质及抗氧化活性的影响[J].现代食品科技,2023,39(12): 226-233.
- [35] 李经伟,李玲伊,刘建福.豌豆全粉对小麦面团特性和面包品质的影响[J].中国粮油学报,2020,35(8):35-41.
- [36] LI X, WANG L, JIANG P, et al. The effect of wheat bran dietary fibre and raw wheat bran on the flour and dough properties: A comparative study [J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 173: 114304-114311.
- [37] 陶虹伶,王丹,马宁,等.松茸粉对面团流变特性及饼干品质的影响[J].食品科学,2019,40(5):51-56.
- [38] 刘炳莉,樊红秀,邵添,等.银耳多糖抑制鲜湿面水分迁移及改善黏连的作用[J].食品科学,2023,44(2):79-86.
- [39] 李锐,孙祖莉,李来好,等.不同热加工方式对罗非鱼片食用品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(14):127-135.
- [40] 张毅航,方东路,仲磊,等.热风干燥和真空冷冻干燥对猴头菇不同部位风味物质的影响[J].食品工业科技,2022, 43(8):58-67.
- [41] YANG Y, ZHAO X, WANG R. Research progress on the formation mechanism and detection technology of bread flavor [J]. Journal of Food Science, 2022, 87(9): 3724-3736.
- [42] LIU C, HOU Y, SU R, et al. Effect of dietary probiotics supplementation on meat quality, volatile flavor compounds, muscle fiber characteristics, and antioxidant capacity in lambs [J]. Food Science & Nutrition, 2022, 10(8): 2646-2658.
- [43] 鲍雨婷,孙玥,李雪玲,等.滁菊粉对面团特性和面包风味及其抗氧化活性的影响[J].食品科学,2023,44(4):107-114.
- [44] ZHANG L, HU Y, WANG Y, et al. Evaluation of the flavour properties of cooked chicken drumsticks as affected by sugar smoking times using an electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME/GC-MS [J]. LWT-Food Science & Technology, 2021, 140: 110764.
- [45] 徐玉霞,王羽桐,谢建春.烤牛肉饼香气成分分析[J].食品与发酵工业,2022,48(11):259-267.
- [46] MASYITA A, SARI R M, ASTUTI A D, et al. Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives [J]. Food Chemistry, 2022, 13: 100217.