

杂粮复合粉添加量对饅品质及其挥发性物质变化的影响

祖力皮亚·艾麦提¹, 祖力皮牙·买买提², 于明², 毛红艳², 岳丽², 王佳敏², 尼格尔热依·亚迪卡尔^{1*}

(1. 新疆农业大学食品科学与药学院, 乌鲁木齐 830052)

(2. 新疆农业科学院粮食作物研究所, 乌鲁木齐 830091)

摘要: 该文旨在探讨了当小麦中加入杂粮复合粉后对饅品质的影响, 通过测定糊化特性、面团流变学特性、饅的质构特性、色泽以及感官评价, 研究小麦粉中被添加不同比例的(0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%)杂粮粉后的影响, 并采用气相色谱-离子迁移色谱(Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry, GC-IMS)分析了杂粮饅的挥发性物质。结果显示, 随着杂粮复合粉添加量的增长, 饅的糊化温度从 67 °C 上升到 84.20 °C; 弱化度从 16 FU 上升到 36.50 FU; 形成时间从 6.60 min 下降到 5.25 min; 最大拉伸阻力从 478.25 BU 下降到 169.60 BU。面团的粉质、拉伸特性、饅的质构、色泽以及感官评价均随着杂粮复合粉的添加而发生了不同程度的变化。综合考虑, 认为 20% 的杂粮复合粉被添加到小麦粉中较为合适。通过 GC-IMS 共鉴定出 55 种挥发性物质, 包括环类化合物 2 种、呋喃类 3 种、酸类 4 种、酮类 5 种、醛类 9 种、醇类 9 种、酯类 15 种, 其他类 8 种。与普通饅相比, 杂粮饅中酯类(14.44%~19.36%)、醇类(15.25%~17.23%)、呋喃类(1.13%~1.54%)等挥发性风味物质含量有明显上升。将 20% 的杂粮粉添加到小麦面粉中, 不仅能提高饅的营养价值, 还能为杂粮饅的质量控制及风味鉴定提供理论和技术支持, 这有利于杂粮饅产品的开发。

关键词: 杂粮复合粉; 杂粮饅; 质构特性; 气相色谱-离子迁移色谱

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.10.1050

Effect of Additions of Coarse Grains on the Quality of Naan and the Changes in Volatile Flavour Substances

ZULIPIYA Aimaiti¹, ZULIPIYA Maimaiti², YU Ming², MAO Hongyan², YUE Li², WANG Jiamin², NIGARY Yadikar^{1*}

(1. School of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

(2. Institute of Grain Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: The impact of the addition of mixed grain composite flour on the quality of naan was explored in the article, which was achieved by measuring the gelatinization characteristics, dough rheological properties, texture characteristics, color, and sensory evaluation of naan. The influence of adding different proportions (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%) of mixed grain flour to wheat flour was studied. The volatile substances of mixed grain naan were analyzed using Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry (GC-IMS). The results indicated that with the increase in the addition of mixed grain composite flour, the gelatinization temperature of naan increased from 67 °C to 84.20 °C; the weakening degree increased from 16 FU to 36.50 FU; the formation time decreased from 6.60 min to 5.25 min; the maximum tensile resistance decreased from 478.25 BU to 169.60 BU. The flour quality of the dough, stretching characteristics, texture, color, and sensory evaluation of naan were all found to have changed to varying degrees with the addition of mixed grain composite flour. It was considered appropriate to add 20% mixed grain composite flour to wheat flour after a comprehensive consideration. A total of 55 volatile substances were identified by GC-IMS, including 2 types of cyclic compounds, 3

收稿日期: 2024-07-22

基金项目: 自治区区域协同创新专项(科技援疆计划)项目(2022E02092); 中央引导地方创新基金项目新疆特色粮油加工技术创新平台建设(ZYYD2022B14)

作者简介: 祖力皮亚·艾麦提(1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学, E-mail: m13009662703@163.com

通讯作者: 尼格尔热依·亚迪卡尔(1987-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 药食两用植物功能性成分分析, E-mail: nigary-sy@xjau.edu.cn

types of furan compounds, 4 types of acids, 5 types of ketones, 9 types of aldehydes, 9 types of alcohols, 15 types of esters, and 8 types of others. Compared with ordinary naan, the content of volatile flavor substances such as esters (14.44% to 19.36%), alcohols (15.25% to 17.23%), and furan compounds (1.13% to 1.54%) in mixed grain naan was found to have significantly increased. It was suggested that adding 20% mixed grain flour to wheat flour not only improves the nutritional value of naan but also provides theoretical and technical support for the quality control and flavor identification of mixed grain naan, which is beneficial for the development of mixed grain naan products.

Keywords: coarse cereals flour; coarse grain naan; texture properties; Gas chromatography-ion mobility spectrometry

饅含有碳水化合物、維生素、蛋白質以及多種人體必需的礦物質元素，其風味獨特、便于攜帶、能夠長時間貯藏等特點^[1]，已在食用歷史中流傳兩千多年^[2]，是新疆各族人民最常食用的主食之一。在新疆群眾之中饅的種類也很多，比如，芝麻饅、洋蔥饅、玫瑰花醬饅、圓饅、油饅、辣皮子饅等等。隨著居民飲食結構的改善和消費水平的提高，消費者對饅的種類和營養健康提出新需求。雜糧營養豐富且具有一定保健功能，向饅中適量添加一些有益于人體健康的雜糧成分，成為了饅產業新的发展方向。雜糧中含有豐富的礦物質、膳食纖維以及蛋白質等多種人體所需的營養物質，這些營養物質使得雜糧具有降血脂、預防疾病等多種功效，有益于人體健康，即成為功能性食品的研究熱點^[3]。燕麥含有膳食纖維，給人一種飽腹感，推進腸道蠕動，有益于預防和緩解便秘。豌豆中的優質蛋白可以提高機體的抵抗力，有助于抵抗病原體的侵襲。玉米中的纖維素，既可以對胃腸蠕動有促進作用，又加快膽固醇的代謝。丁俊豪^[4]在饅餅中添加油莎豆粉展開研究，發現當油莎豆粉添加量為 10%時，饅在軟硬適中，口感酥脆。

本研究以燕麥、豌豆、玉米為原料，不同添加量的雜糧复合粉為研究对象，探究雜糧复合粉添加量對面粉糊化特性、流變學特性、雜糧饅的感官品質、色澤以及揮發性物質的變化，為開發出營養健康、品質優良的雜糧饅提供理論基礎和試驗依據。將雜糧复合粉添加小麥粉加工成饅，不僅可以提高饅的營養成分，還可以豐富小麥饅的種類，提升雜糧附加價值和雜糧饅產品的研發。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

豌豆、燕麥、玉米，源自烏魯木齊江河市場採購；小麥粉，源自新疆天山面粉有限公司採購；食鹽，源自新疆鹽湖制鹽有限責任公司採購；牛奶，源自西域春有限公司採購；酵母，源自安琪酵母股份有限公司採購；菜籽油，雞蛋為市售。

1.2 仪器与设备

810114 型電子式粉質儀+10 克揉面鉢，德國布拉班德公司；860702 型電子式拉伸儀，德國布拉班德公司；DFY-600 型高速粉碎機，溫嶺市林大機械有限公司；風味分析儀®（配自動頂空進樣裝置），德國 G.A.S 公司；RVA-TECMASTER 型快速粘度儀，澳大利亞 Newport 公司；DA7250 型整粒谷物近紅外品質分析儀，瑞典 Perten 公司；FX-6J-A 型面食發酵箱，廣州威爾寶有限公司；PFA-T 型流變發酵儀，佩克昂科技有限公司；MM-HM55E101 型和面機，廣東美的生活電器制造有限公司；TMS-PRO 型質構儀，美國 FTC 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 复合粉的制备

粉碎過篩（100 目）的鷹嘴豆粉：燕麥粉：玉米粉按質量分數 1:1:1 比例混合制備复合粉。复合粉按質量分數 0%、5%、10%、15%、20%、25%、30% 添加到小麥粉中，混合均勻后裝袋備用。

1.3.2 复合粉理化特性检测

濕面筋含量採用 GB/T5506-2008 的方法測定；粘度測定按 LS/T61012002 的方法測定；蛋白，灰分含量按 GB/T18868-2002 的方法測定；粉質特性參照 GB/T14614；拉伸特性參照 GB/T14615；面团的發酵特性用 PFA-T 型流變發酵儀分析。

1.3.3 饅的制作

准确称量杂粮复合粉 300 g，30 g 食用油，2.4 g 酵母粉，3 g 盐，约 120 g 牛奶，加入一颗鸡蛋（约 50 g）揉成面团，35 ℃醒发 50 min，面团分割揉匀表面光滑为止，成型，上面用饅针印出来自己喜欢的花纹，230 ℃烘烤 18 min，成品。

1.3.4 饅的感官评价

饅的感官评价参考曹俊梅等^[5]的方法，饅烤制冷却 10 min 后由经专业培训的技术人员 10 人评定^[6]，评分标准见表 1。

表 1 饅评分和标准		
Table 1 Nang Scoring and Standards		
感官指标	评分标准	评分
外表形态（15 分）	表面平整-光滑	11~15
	表面较为平整-无明显塌陷或鼓包	6~10
	表面有明显塌陷或鼓包	0~5
色泽 (15 分)	金黄色	11~15
	浅黄-焦色不足或棕黄-焦色略重	6~10
	白色-无焦色或焦黑色过重	0~5
风味（20 分）	有烘烤香味	15~20
	滋味一般-无异味	9~14
	有不可接受的气味: 0~8 分。	0~8
内部结构（15 分）	切面平整-气孔均匀-掉渣少-发酵好	11~15
	切面较平整-气孔较均匀-掉渣较少-发酵较好	6~10
	切面不平整-气孔不均匀-掉渣多-发酵差	0~5
硬度（15 分）	软硬适中-易下咽	11~15
	硬度偏软或偏硬-较易下咽	6~10
	硬-不易下咽	0~5
酥脆性（10 分）	酥脆感好	8~10
	比较酥脆	5~7
	无酥脆感	0~4
咀嚼性（10 分）	咀嚼适中-较柔软-不粘牙	6~10
	咀嚼干硬-粘牙-挂噪	0~5

1.3.5 饅的质构特性

首先，将杂粮饅冷却 0.5 h。待冷却完成后，将饅芯切割成 3 cm×3 cm 的小块，用以测定其硬度、粘附性、弹性、胶粘性以及咀嚼性。质构分析（Texture Profile Analysis, TPA）参数测试条件如下：采用 P/35 圆柱型探头，测前速率：1 mm/s，测试速率：5 mm/s，压缩比 50%，每个样本重复测试 3 次。

1.3.6 饅的色泽测定

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta a)^2}$$

(1)

式中：
 L^* ——明暗度；
 a^* ——红绿色；
 b^* ——黄蓝色。

1.3.7 饅挥发性物质检测

精确称取 1 g 杂粮饅样品，放入 20 mL 顶空进样瓶中，75 ℃振荡孵育 20 min，振荡转速 r 500/min。顶空进样针温度 95 ℃，进样体积 500 μL。气相色谱（Gas chromatography-GC）条件如下：采用 MXT-5 型色谱柱（15 m×0.53 mm，1 μm），色谱柱温度 60 ℃，载气为氮气（N₂，纯度≥99.999%）。漂移气流量（E1）为 75 mL/min；载气流量（E2）设置如下：0~2 min，2 mL/min；2~10 min，10 mL/min；10~20 min，100 mL/min；

20~30 min, 150 mL/min。离子迁移谱 (Ion mobility spectrometry-IMS) 条件设置为: IMS 探测器温度为 45 ℃, IMS 漂移管流速为 150 mL/min, 漂移管长度为 5.3 cm, 管内线性电压为 500 V/cm。

1.3.8 数据分析

采用 Excel 2016, SPSS 25.0 分析数据, 采用 Origin 2021 作图, 结果用平均值 ±标准差表示。运用 GC-IMS Library Search 软件内置的 NIST (National Institute of Standards and Technology) 数据库与 IMS 数据库进行定性分析。

2 结果与分析

2.1 杂粮添加量理化对复合粉特性的影响

由表 2 可知,随着复合粉添加量的增加,湿面筋从 30.19%下降到 26.90%,蛋白质从 9.86%增长到 10.33%,灰分从 0.35%增长到 0.64%。当添加量超出 10%时,复合粉的湿面筋含量呈显著减低趋势且显著低于对照组 ($P<0.05$)。适量添加复合粉,有益于形成面团中的面筋网络,进而增加面团筋力。然而,过量添加杂粮粉会对其面团的面筋网络造成破坏。杂粮复合粉的添加致使复合粉的蛋白质含量呈升高趋势,是因为燕麦和豌豆中的高蛋白质含量有关。小麦粉中面筋主要由麦谷蛋白和麦胶蛋白组成^[7],但随着添加量减少了复合粉中的麦谷蛋白和麦胶蛋白,会引致湿面筋含量下降的现象,由于不溶性物质的增加灰分也呈上升趋势。

表 2 杂粮粉添加量对复合粉理化特性影响

Table 2 Effect of the amount of multigrain powder added on the physicochemical properties of composite powder

添加比例/%	蛋白质/%	灰分%	湿面筋/%
0	9.86±0.13 ^b	0.35±0.01 ^f	30.19±1.09 ^a
5	9.89±0.13 ^b	0.40±0.01 ^e	29.36±0.37 ^a
10	9.91±0.07 ^b	0.47±0.01 ^d	27.88±0.11 ^b
15	10.31±0.07 ^a	0.61±0.01 ^b	27.13±0.00 ^b
20	10.22±0.10 ^a	0.56±0.01 ^c	27.64±0.11 ^b
25	10.42±0.01 ^a	0.60±0.01 ^b	27.23±0.27 ^b
30	10.33±0.01 ^a	0.64±0.00 ^a	26.90±0.31 ^b

注: 不同小写字母表示不同添加量间显著性差异 ($P<0.05$)。

2.2 杂粮添加量对复合粉糊化特性的影响

表 3 杂粮粉添加量对复合粉糊化特性的影响

Table 3 Influence of the amount of multigrain powder added on the properties of composite powder paste

添加比例/%	峰值粘度/cp	低谷粘度/cp	稀懈值/cp	最终粘度/cp	回生值/cp	峰值时间/min	糊化温度/℃
0	2760.5±5.46 ^c	1694.0±5.84 ^b	1066.5±4.84 ^b	2944.5±4.45 ^d	1250.5±2.77 ^f	6.00±1.65 ^a	67.00±0.00 ^d
5	2909.0±1.75 ^{bc}	1670.5±0.55 ^b	1238.5±3.37 ^a	3115.0±1.54 ^{cd}	1444.5±2.69 ^e	6.00±3.06 ^a	67.53±0.89 ^{cd}
10	2923.5±0.99 ^{bc}	1728.5±1.68 ^{ab}	1195.0±0.00 ^{ab}	3252.0±0.83 ^c	1523.5±0.14 ^d	6.20±0.00 ^a	68.70±0.00 ^c
15	3122.0±1.22 ^{ab}	1854.5±3.16 ^a	1267.5±1.62 ^a	3845.0±1.84 ^c	1990.5±0.60 ^b	6.10±0.70 ^a	82.88±0.73 ^a
20	3170.5±3.11 ^{ab}	1811.0±4.06 ^{ab}	1259.5±1.74 ^a	3812.0±2.55 ^b	1901.0±1.12 ^c	6.10±0.70 ^a	83.40±0.00 ^a
25	3218.5±5.41 ^{abc}	1782.5±1.15 ^{ab}	1236.0±1.56 ^a	3827.0±0.74 ^b	2044.5±0.38 ^b	6.04±3.87 ^a	84.20±1.43 ^a
30	3262.0±4.64 ^a	1761.5±5.01 ^{ab}	1215.5±4.08 ^{ab}	4202.5±3.55 ^a	2241.0±2.27 ^a	6.10±0.70 ^a	81.32±0.74 ^b

注: 不同小写字母表示不同添加量间显著性差异 ($P<0.05$)。

面粉的糊化特性可以影响面制品的加工特性进而影响面粉的品质。如表 3 所示,随着添加量的增加,峰值粘度由 2 760.5 cP 上升至 3 262 cP,低谷粘度由 1 694 cP 上升至 1 854 cP,稀懈值由 1 066.5 cP 上升至 1 215 cP,最终粘度 2 944.5 cP 上升至 4 202.5 cP,回生值 1 250.5 cP 上升至 2 241.0 cP。稀懈值体现淀粉的热稳定性,稀懈值越大,复合粉稳定性越差^[8],随着复合粉的添加稀懈值呈上升趋势,回生值可用于体现杂粮

复合粉中淀粉冷却后的回生状况,并且回生值越大,面制品的老化速度也就越快^[9]。当复合粉添加量为 25% 时,糊化温度 67℃ 上升至 84.20℃,糊化温度随着杂粮复合粉添加量的增长而升高。

2.3 杂粮添加量对面粉粉质特性的影响

图 1 可知,随着复合粉添加量,面团的吸水率、弱化度、形成时间、稳定时间均显现不同的变化趋势。当添加量为 5%~25% 范围时,吸水率呈先上升后下降的趋势,添加量为 5% 时,吸水率最小;当添加量处于 10%~20% 范围时,相较于对照组,吸水率显著增加 ($P>0.05$)。吸水率的上下影响面团的加工性能,吸水率越大,越有益于进行面团加工,越少面团品质下降,随着添加量的增加,形成时间与稳定时间均呈下降趋势。添加量为 15% 时,复合面团的形成时间有所降低,这是由于复合粉中含有的淀粉与其他营养组分相互作用,从而形成了一定的胶凝体系所致。稳定时间降低是由于在面团中,面筋蛋白含量减少,不能建立优质的网络结构,使得面团稳定性劣,不益于面团进行加工处理。复合粉添加量越多,弱化度越高,面团筋力越弱,弱化度呈升高趋势且显著高于对照组 ($P>0.05$),表明面团韧性降低,面筋强度变弱,复合粉品质呈劣变的趋势。

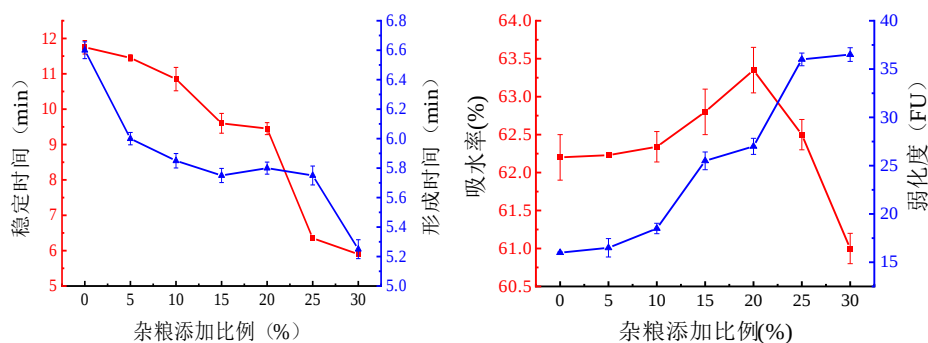


图 1 不同杂粮粉添加量下粉质特征的变化

Fig.1 Changes in powder characteristics under the amount of different coarse grain powder

2.4 杂粮添加量对面团拉伸特性的影响

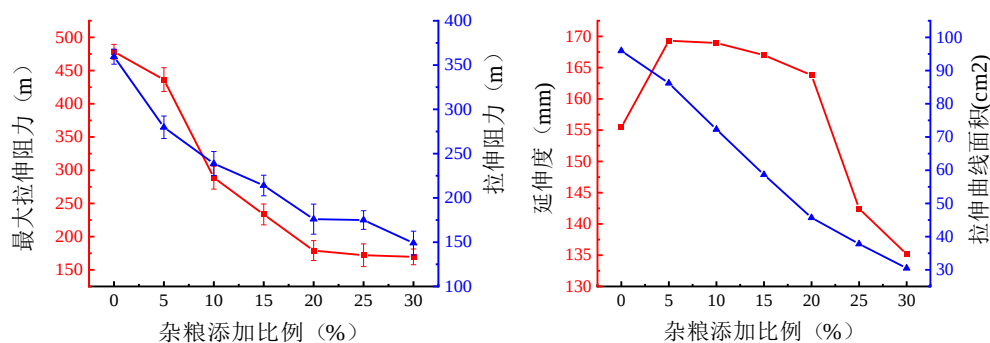


图 2 不同杂粮粉添加量下面团拉伸特征的变化

Fig.2 Changes in the tensile characteristics of the mass under the added amount of different miscellaneous grain powder

杂粮复合粉添加量对面团拉伸特性的影响见图 2。面团拉伸指标表明面团筋力强度,影响面粉烘焙品质。拉伸阻力越大,表明面团面筋强度越大,面团持气能力越强^[10]。由图 2 可知,拉伸阻力随着复合粉添加量的增加呈下降趋势,表明添加量的增加导致面团品质和产气能力下降。延伸度表明面团的可塑性和膨胀能力,复合粉的添加对面团的持气性能由显著影响。最大拉伸阻力表征面筋网络的持气能力,最大拉伸阻力和拉伸曲线面积随着添加量的增加呈下降趋势,表明面筋网络的持气能力逐渐下降,面团拉伸特性降低。

2.5 杂粮添加量对面团发酵特性的影响

发酵良好的面团具有坚固稳定的面筋网络和较好的持气力,这能更好的保存气体并使饅具有良好的质

地^[11]。复合粉添加量对面团发酵特性的影响如表 4 所示。随着添加量的增加，杂粮面团的发酵最大高度、面团出现空洞时间、总释放体积、面团的产气能力均呈下降趋势。复合粉的添加稀释了面团面筋蛋白，进而导致面团体难以构建保持气体的面筋网络结构。在添加量 5%~10%时，面团的产气量上升，产气能力提高，这主要是因为杂粮复合粉促进了面筋蛋白和淀粉颗粒的结合，增加了面筋结构的稳定性，从而增大了面团体积；然而过多添加的复合粉与面筋蛋白争夺水分，面筋网络难以延伸展开，致使面团体积减小^[12]，因此总释放体积呈下降趋势。保留系数是一个重要的指标，保留系数越高表明面团发酵能力越好。由表 4 可知，随着复合粉添加量的递增，面团保留系数呈降低趋势，这表明在面团发酵过程中二氧化碳放出的量越多，面团品质就会相应地下降。

表 4 不同杂粮粉添加量下面团发酵特征值的变化

Table 4 Changes of group fermentation characteristic value under different multigrain powder addition amount					
添加比例	面团发酵最大高度	总释放体积 Tv	气体释放最大高度	面团出现空洞时间	保留系 R/%
/%	Hm/mm	/mL	Hm'/mm	Tx/h	
0	32.65±0.74 ^{ab}	2888.82±104.96 ^a	126.53±3.59 ^a	0.30±0.01 ^a	93.00±0.03 ^a
5	35.10±0.25 ^a	3439.08±107.94 ^a	146.13±3.93 ^a	0.32±0.16 ^a	92.00±0.04 ^a
10	33.30±0.14 ^{ab}	3301.38±70.94 ^a	141.69±4.32 ^a	0.33±0.18 ^a	93.00±0.02 ^a
15	28.45±0.89 ^{ab}	3129.19±106.34 ^a	139.59±4.1 ^a	0.28±0.11 ^a	92.00±0.03 ^a
20	29.90±1.27 ^{ab}	3615.29±101.81 ^a	175.31±5.58 ^a	0.22±0.02 ^a	90.00±0.02 ^a
25	27.85±0.20 ^{ab}	3574.06±101.88 ^a	153.83±5.14 ^a	0.22±0.02 ^a	90.00±0.00 ^a
30	26.75±0.33 ^b	3057.53±101.14 ^a	134.49±4.78 ^a	0.21±0.01 ^a	90.00±0.03 ^a

注：不同小写字母表示不同添加量间显著性差异（ $P<0.05$ ）。

2.6 杂粮添加量对饅品质的影响

从表 5 可以观测到，随着杂粮复合粉添加量的持续递增，饅的感官评价、色泽、组织结构、酥脆性以及风味分值呈显著下降的趋势，而硬度、外表形态及感官评分呈现曲线式变化（ $P<0.05$ ）。总体来看，添加量范围在 5%~20%时，杂粮饅的总体感官评价较好。添加量为 20%时，杂粮饅感官评价最高 85.38 分，色泽均匀一致，香气浓郁、具有杂粮特有的滋味和豆香味、口感协调、软硬适中、质地细腻、气孔均匀，过量的杂粮粉使饅的口感粗糙，颜色变暗。

表 5 不同杂粮复合粉添加量对饅感官品质的影响

Table 5 Effects of different multigrain compound flour supplemental levels on sensory quality of Naan								
添加比例/%	外表形态	色泽	风味	内部结构	硬度	酥脆性	咀嚼性	总分
	(15 分)	(15 分)	(20 分)	(15 分)	(15 分)	(10 分)	(10 分)	(100 分)
0	12.25±1.98 ^{ab}	12.75±1.39 ^{ab}	16.25±2.60 ^a	12.38±1.06 ^a	12.13±1.89 ^a	8.38±0.74 ^a	8.38±0.52 ^b	82.50±5.58 ^{bc}
5	12.50±1.6 ^{ab}	13.50±1.69 ^a	16.75±1.98 ^a	12.88±1.36 ^a	12.63±1.30 ^a	7.75±0.89 ^{ab}	7.75±0.71 ^{bc}	83.75±6.54 ^b
10	12.00±1.41 ^{ab}	13.00±1.41 ^a	16.00±2.39 ^{ab}	12.38±1.06 ^a	12.88±0.99 ^a	8.25±0.46 ^a	7.38±0.92 ^{bc}	82.38±5.88 ^{bc}
15	12.75±1.28 ^{ab}	12.63±1.30 ^{ab}	15.75±2.60 ^{ab}	12.63±1.30 ^a	12.63±1.30 ^a	8.38±0.52 ^a	8.38±0.74 ^b	81.88±6.62 ^c
20	13.63±0.52 ^a	13.13±0.83 ^a	16.50±2.56 ^a	13.50±1.07 ^a	11.50±1.51 ^{ab}	7.63±0.52 ^{ab}	7.00±1.07 ^c	85.38±4.07 ^a
25	12.38±0.92 ^{ab}	11.25±2.60 ^b	13.75±3.28 ^c	12.25±2.49 ^a	12.63±2.70 ^a	7.88±1.36 ^{ab}	7.38±1.06 ^{bc}	76.75±12.37 ^{cd}
30	11.63±1.51 ^b	11.38±1.30 ^{ab}	14.38±2.20 ^{bc}	12.00±1.41 ^a	12.75±2.05 ^a	7.38±0.92 ^b	8.50±0.76 ^a	78.00±6.32 ^{cd}

注：不同小写字母表示不同添加量间显著性差异（ $P<0.05$ ）。

2.7 杂粮添加量对饅质构特性的影响

质构是表征食品质量和接受度的重要指标之一，能客观的反应饅的品质^[13]，不同比例杂粮复合粉添加对饅品质的影响如表 6 所示，当添加比例在 30%时，杂粮饅硬度为 27.49 N，是普通饅的 2.28 倍；咀嚼性为 12.55 mj，是普通饅的 1.79 倍；胶粘性为 4.35 N，是普通饅的 1.25 倍，这些参数整体上呈上升趋势。杂粮饅的硬度、咀嚼性、胶粘性与杂粮饅的品质呈负相关，数值越大表明杂粮饅品质越下降。张纷等^[14]在对藜麦饅

头展开研究时亦发现,随着藜麦粉的添加,藜麦馒头的硬度、咀嚼性显著增大。对于杂粮饅而言,弹性较大,口感更佳、比例适宜。由表 6 可知,随着添加量的增加饅的弹性呈渐渐下降趋势,面团面筋组织被损坏和弱化的程度增长。此外,由于燕麦和豌豆中存在膳食纤维含量,进而引起水分出现组合,引起面筋蛋白吸水不够,阻止了面筋网络组合的形成,从而使面团持气能力降低,以致面团和杂粮饅品质衰退。

表 6 不同杂粮粉添加量下饅的质构特性主要特征值

Table 6 The main characteristic values of texture characteristics of Naan under different additive levels of coarse grain flour					
添加比例/%	硬度/N	粘附性 N/mm	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj
0	12.05±0.21 ^c	0.58±0.17 ^a	3.76±0.45 ^{ab}	3.48±0.11 ^b	7.00±0.99 ^b
5	5.99±0.16 ^e	0.98±0.42 ^a	4.57±0.30 ^{ab}	1.73±0.13 ^e	7.90±1.13 ^b
10	8.08±0.26 ^d	1.45±0.70 ^a	4.97±0.85 ^a	2.26±0.25 ^{de}	10.60±1.41 ^a
15	8.00±0.69 ^d	1.59±0.26 ^a	4.46±0.26 ^{ab}	2.19±0.17 ^{de}	10.75±0.21 ^a
20	8.43±0.42 ^d	2.10±0.67 ^a	4.52±0.06 ^{ab}	2.58±0.13 ^{cd}	11.65±0.21 ^a
25	15.63±0.42 ^b	1.41±0.01 ^a	4.08±0.96 ^{ab}	3.15±0.28 ^{bc}	11.80±0.14 ^a
30	27.49±0.26 ^a	0.65±0.06 ^a	3.35±0.21 ^b	4.35±0.45 ^a	12.55±0.49 ^a

注: 不同小写字母表示不同添加量间显著性差异 ($P<0.05$)。

2.8 杂粮添加量对饅色泽的影响

色泽是食品的主要属性之一,直接影响消费者对产品的喜爱度^[15]。杂粮复合粉不同添加量所制成的杂粮饅如表 7 所示,随着添加量, L^* 值由 62.51 下降至 42.63,即杂粮饅白度渐渐减低,饅的表面颜色明显比普通饅表面颜色深; b^* 值由 28.83 下降至 19.91,饅的表面黄度明显比小麦粉饅表面色泽淡; ΔE 值呈上升趋势,由 39.60 上升至 54.35,从 ΔE 可知,添加复合粉的饅相对小麦面粉的饅颜色加深且偏红。 a^* 值 7.90 上升至 14.97,即杂粮饅的红度增加,色泽变暗。杂粮复合粉相较于小麦面粉而言,蛋白质和膳食纤维含量较高,这会导致杂粮饅在烘焙过程中发生美拉德反应和焦糖化反应,对饅得色泽产生重要影响。

表 7 不同杂粮粉添加量下饅的色泽特性主要特征值

Table 7 Main characteristic values of color characteristics of Naan under different mixed grain flour dosage					
添加比例 (%)	L^*	a^*	b^*	ΔE	
0	62.51±1.04 ^a	7.90±0.67 ^d	28.83±0.37 ^a	39.60±0.64 ^e	
5	57.12±1.35 ^b	10.83±1.00 ^c	27.03±0.57 ^b	43.55±1.07 ^d	
10	52.42±0.50 ^c	12.37±0.34 ^{bc}	24.97±0.49 ^c	46.98±0.77 ^c	
15	52.39±1.04 ^c	12.79±0.44 ^{bc}	24.54±0.25 ^c	47.14±1.09 ^{bc}	
20	48.41±0.78 ^d	13.07±0.30 ^b	23.38±0.33 ^{cd}	50.12±0.63 ^b	
25	46.80±0.41 ^d	14.13±0.37 ^a	21.34±0.39 ^{cd}	50.50±0.23 ^b	
30	42.63±0.90 ^e	14.97±0.32 ^a	19.91±0.40 ^d	54.35±0.79 ^a	

注: 不同小写字母表示不同添加量间显著性差异 ($P<0.05$)。

2.9 各项指标之间的相关性分析

由图 3 可知,复合粉添加比例与湿面筋、吸水率、拉伸阻力、面团发酵最大高度、弹性呈显著负相关($P<0.05$),与弱化度、峰值粘度、回生值、硬度、咀嚼性呈显著正相关 ($P<0.05$), 这表明随着添加量的增加,饅硬度和咀嚼性分数高,感官评分会降低,饅品质下降。感官评价总分与稳定时间、总释放体积、面团持气率呈显著正相关 ($P<0.05$), 面团稳定时间代表面团稳定性,稳定时间越长代表面团弹性越好,品质越好。总释放体积和面团持气率越高表明面团发酵好,饅感官评价越高,表明面团的稳定性和发酵特性跟杂粮饅的品质有关。硬度与吸水率、稳定时间、总释放体积、感官评分呈显著负相关 ($P<0.05$), 稳定时间和总释放体积越大,感官评分越高,表明面团发酵好,饅的硬度会下降。

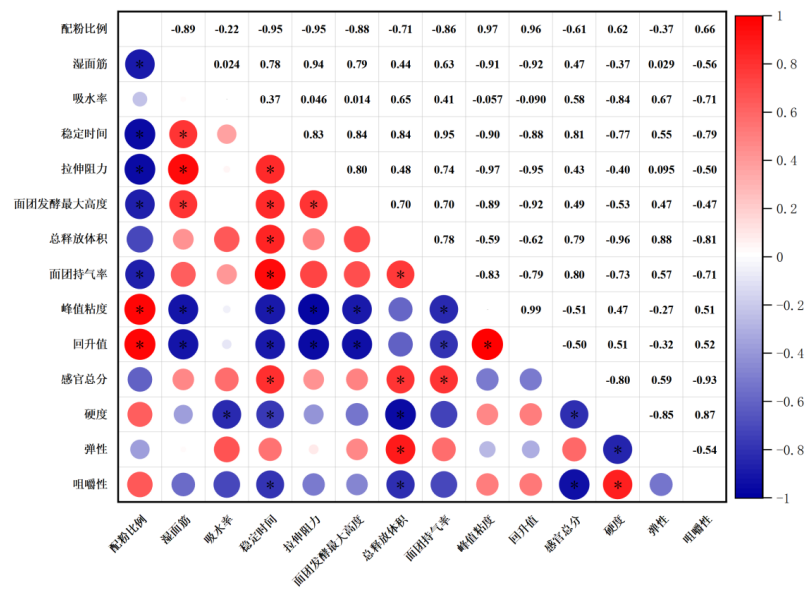
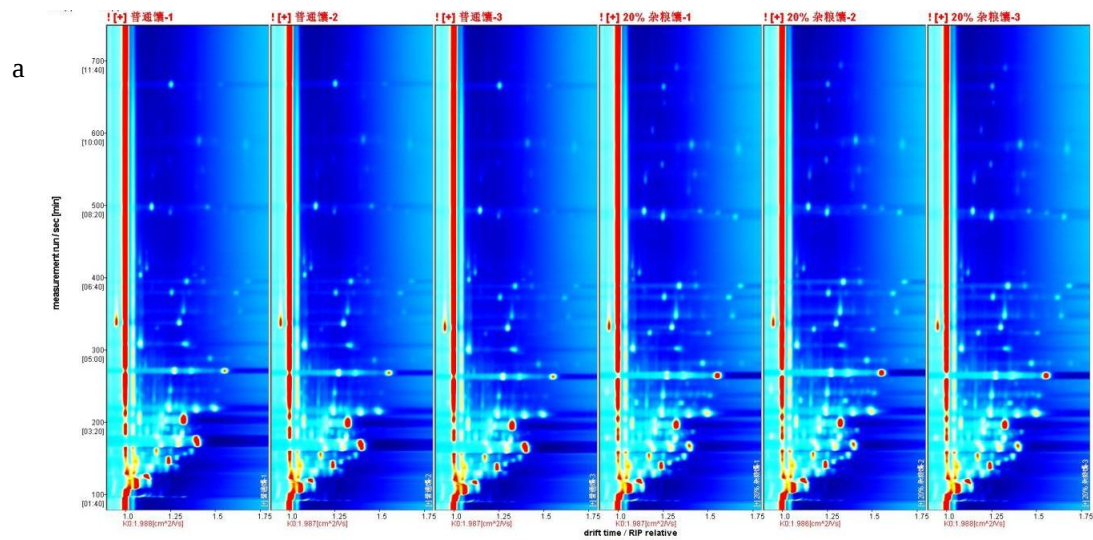


图 3 杂粮复合粉添加量与馒头品质指标之间的相关性

Fig.3 Correlation between the added amount of multigrain composite flour and naan dough quality index

2.10 普通馒头和杂粮馒头 GC-IMS 挥发性成分图谱差异

采用 GC-IMS 法测定了普通馒头和杂粮馒头的挥发性化合物，为了了解两种馒头样品的挥发性化合物差异，根据每个化合物的信号强度创建了二维和三维图（图 4a、b）。大多数信号出现在 0~750 s 保留时间和漂移时间 1~1.5 ms 内，普通馒头和杂粮馒头样品其挥发性风味物质的种类和浓度存在显著差异。X 标上的红色竖线表明离子峰，离子峰两边的每一个点代表一种挥发性化合物。白色表明浓度较低，红色表明浓度较高，颜色越深表明浓度越高。纵坐标表示保留时间（s）。



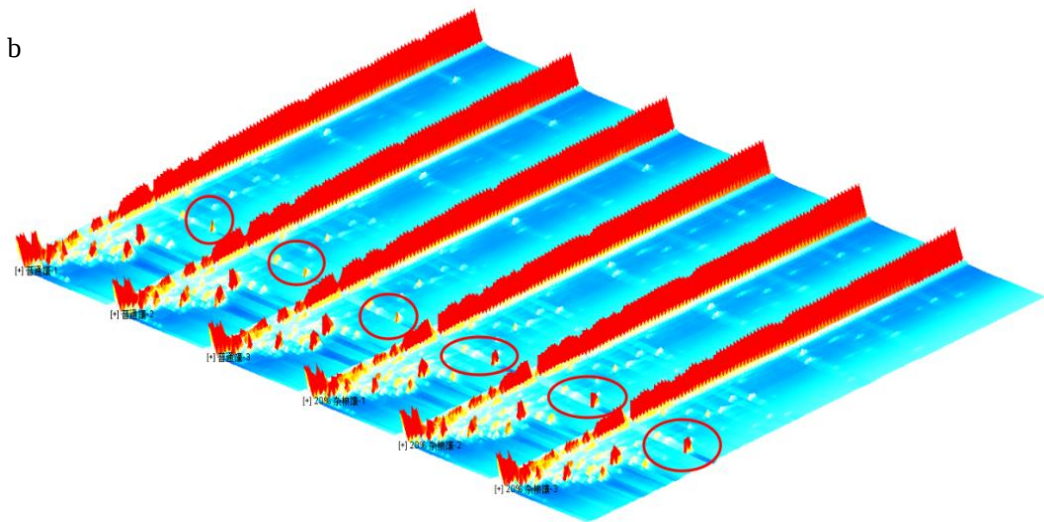


图 4 普通饅和杂粮饅挥发性成分气相-离子迁移分析图谱

Fig.4 Gas-phase ion migration analysis of volatile components of common naan and multigrain Naan

注：a 二维，b 三维。

2.11 饅中挥发性物质定性分析

风味在消费者喜好、接受度和购买行为中占主导地位^[16]。研究表明，当杂粮粉添加量为 20%时饅的综合评价最高。为了直观地观察样品中挥发性组分及样品之间挥发性成分的区别，基于 GC-IMS 技术构建了普通饅及杂粮饅的挥发性指纹图谱（图 5），共有且相对含量较高的挥发性化合物主要包括 2,3-二甲基吡嗪、异丁醇、2-己醇、苯甲醛丙三醇缩醛、烯丙基腈、3-羟基-2-丁酮、糠醛、异戊醇、2-甲基丁酸异丙酯、乙酸丙酯、丁内酯、甲硫基丙醛、1-戊烯-3-酮、2,4 二甲基-1,3 二氧戊环、甲酸丁酯、2-甲基丁醇、2,5-二甲基呋喃，共同形成了饅所具有的共同独特香味。黄色矩形框区域的挥发性物质在普通饅样品中相对含量较高，包括 3-甲硫基丙醛、2-甲基丁醛、苯乙醛、 γ -己内酯、1,4-二氧六环，这些物质的存在为这些食品贡献了独特的风味特征。在杂粮饅中相对含量较高的挥发性物质，主要包括巴豆酸乙酯、2-甲基丁酸异丙酯、2-糠酸甲酯、异戊醇、2-正戊基呋喃，这些物质能够为杂粮饅带来特殊的香气成分，如杂粮复合粉的添加增加了饅中豆香味和杂粮香味。杂粮主要挥发性成分为醇类、酯类、酸类、呋喃类化合物，随着杂粮复合粉的添加，杂粮饅中的这些挥发性物质含量显著上升，进而使饅的风味更为丰足。

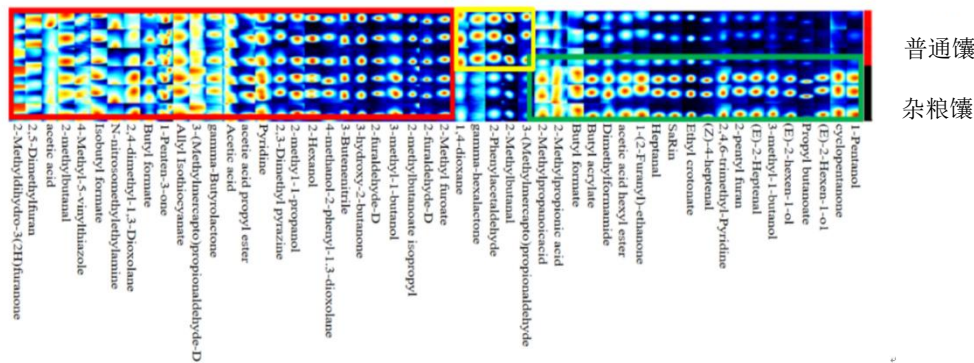


图 5 普通饅和杂粮饅挥发性成分指纹图谱

Fig.5 Volatile Components Fingerprint Chromatograms of Common Naan and Multi-Grain Naan

2.12 饅挥发性物质分析

为了进一步分析杂粮复合粉添加对饅挥发性风味物质的影响，对普通饅及杂粮饅中挥发性风味物质进行定性分析^[17]，结果如表 8 所示，普通饅和杂粮饅中共鉴别出 55 种挥发性物质，其中 15 种酯类、9 种醇类、9

种醛类、5 种酮类、3 种呋喃类，4 种酸类、8 种其他类。杂粮复合粉的添加，饅中酯类和醇类化合物分别由 14.44%、15.25%增加到 19.36%、17.23%，增加了饅果香味、花香味、芳香味，共同形成了杂粮饅独特的风味特征，与普通饅相比，杂粮饅酯类和醇类化合物含量显著增加，酯类物质是在酵母发酵过程中，由醇和脂肪酸通过酯化反应形成的，酯类物质有果香味，气味浓烈，香气耐久^[18,19]。醇类作为酵母发酵的重要产物，具有为饅赋予特殊香味的作用，同时醇类形成其他产物的基础物质^[20]。醛类、酮类物质的相对含量减少，由 22.37%、24.02%下降了 16.92%、21.99%，减少了饅中甜香味和花香味。醛类物质是酵母发酵所形成的代谢产物，而且是烘焙进程中美拉德反应的主要产物^[21]。酮类物质来源于酯类的分解产物或是醇的氧化^[22]。杂粮饅中相对含量较高的挥发性物质是酯类、醇类、呋喃类物质，杂粮复合粉的添加使杂粮饅中增加了这些物质的含量和浓度，增加了杂粮饅的杂粮味、果香味、豆香味。豌豆、燕麦、玉米本身就有自身的风味成分，添加到普通饅风味物质的种类没有变化，有可能是饅烘烤过程中有些挥发性物质被挥发掉，也有可能是 GC-IMS 仪器设备的误差所引起的。

表 8 杂粮饅和普通饅中挥发性化合物的组成及相对含量

Table 8 The composition and relative content of volatile compounds in whole grain naan and regular naan							
类别	中文名称	英文名称	CAS 号	分子式	保留时间 /s	相对含量/%	
						普通饅	杂粮饅
酯类	丁酸丙酯	Propyl butanoate	C105668	C ₇ H ₁₄ O ₂	398.895	0.28±0.01	0.51±0.04
	乙酸己酯	acetic acid hexyl ester	C142927	C ₈ H ₁₆ O ₂	588.208	0.61±0.03	0.81±0.00
	γ-己内酯	γ-hexalactone	C695067	C ₆ H ₁₀ O ₂	667.489	0.12±0.00	0.07±0.00
	异戊酸甲酯	Methyl isopentanoate	C556241	C ₆ H ₁₂ O ₂	608.747	0.30±0.01	0.69±0.02
	2-糠酸甲酯	2-Methyl furoate	C611132	C ₆ H ₆ O ₃	496.185	1.75±0.06	1.79±0.01
	γ-丁内酯	γ-Butyrolactone	C96480	C ₄ H ₆ O ₂	419.264	0.08±0.01	0.06±0.00
	丙烯酸正丁酯	Butyl acrylate	C141322	C ₇ H ₁₂ O ₂	377.985	0.94±0.01	1.18±0.02
	异硫氰酸烯丙酯	Allyl Isothiocyanate	C57067	C ₄ H ₅ NS	350.317	0.49±0.00	0.47±0.02
	2-甲基丁酸异丙酯	2-methylbutanoate-isopropyl	C66576714	C ₈ H ₁₆ O ₂	335.895	2.38±0.31	2.55±0.34
	巴豆酸乙酯	Ethyl crotonate	C623701	C ₆ H ₁₀ O ₂	270.59	3.02±0.08	5.58±0.12
	甲酸丁酯-M	Butyl formate-M	C592847	C ₅ H ₁₀ O ₂	204.232	0.38±0.14	0.58±0.04
	甲酸丁酯-D	Butyl formate-D	C592847	C ₅ H ₁₀ O ₂	189.271	0.75±0.20	1.14±0.16
	乙酸丙酯	acetic acid propyl ester	C109604	C ₅ H ₁₀ O ₂	176.593	1.11±0.05	1.30±0.11
	甲酸异丁酯	Isobutyl formate	C542552	C ₅ H ₁₀ O ₂	163.886	1.88±0.30	1.92±0.11
	乙酸乙酯	Ethyl acetate	C141786	C ₄ H ₈ O ₂	150.573	0.35±0.21	0.71±0.04
合计						14.44±0.10	19.36±0.08
醛类	糠醛-M	2-furaldehyde-D	C98011	C ₅ H ₄ O ₂	311.212	2.01±0.03	1.68±0.01
	2-甲基丁醛	2-methylbutanal	C96173	C ₅ H ₁₀ O	172.869	11.21±0.07	6.31±0.16
	苯乙醛	2-phenylacetaldehyde	C122781	C ₈ H ₈ O	667.261	1.18±0.01	0.70±0.05
	(E)-2-庚烯醛	(E)-2-Heptenal	C18829555	C ₇ H ₁₂ O	488.864	0.77±0.03	1.62±0.01
	苯甲醛丙三醇缩醛	4-methanol-2-phenyl-1,3-dioxolane	C1708390	C ₁₀ H ₁₂ O ₃	498.49	0.45±0.01	0.48±0.05
	3-甲硫基丙醛-M	3-(Methylmercapto)propionaldehyde-M	C3268493	C ₄ H ₈ OS	402.542	1.12±0.02	0.68±0.04
	3-甲硫基丙醛-D	3-(Methylmercapto)propionaldehyde-D	C3268493	C ₄ H ₈ OS	398.743	0.08±0.02	0.07±0.04
	庚醛	Heptanal	C111717	C ₇ H ₁₄ O	393.494	0.95±0.06	1.51±0.05
	糠醛-D	2-furaldehyde-D	C98011	C ₅ H ₄ O ₂	311.731	4.96±0.14	3.87±0.16
合计						22.37±0.04	16.92±0.06
醇	CIS-4-庚烯醇	(Z)-4-heptenal	C6728310	C ₇ H ₁₂ O	382.432	0.46±0.00	0.67±0.02

现代食品科技		Modern Food Science and Technology				2025, Vol.41, No.10	
类	2-己醇	2-Hexanol	C626937	C ₆ H ₁₄ O	272.71	2.78±0.03	2.77±0.03
	异戊醇	3-methyl-1-butanol	C123513	C ₅ H ₁₂ O	219.917	3.57±0.82	4.47±0.19
	异丁醇	2-methyl-1-propanol	C78831	C ₄ H ₁₀ O	158.763	3.01±0.03	3.03±0.04
	反式-2-己烯醇-M	(E)-2-hexen-1-ol	C928950	C ₆ H ₁₂ O	331.605	0.38±0.08	1.09±0.03
	反式-2-己烯醇-D	(E)-2-Hexen-1-ol	C928950	C ₆ H ₁₂ O	326.969	0.13±0.02	0.42±0.01
	2-甲基丁醇	2-methyl-1-butanol	C137326	C ₅ H ₁₂ O	200.726	1.04±0.06	0.99±0.03
	仲丁醇	2-Butanol	C78922	C ₄ H ₁₀ O	133.933	3.76±0.31	3.38±0.12
	正戊醇	1-Pentanol	C71410	C ₅ H ₁₂ O	239.337	0.12±0.02	0.41±0.07
	合计					15.25±0.17	17.23±0.06
酮类	羟基丙酮	1-Hydroxy-2-propanone	C116096	C ₃ H ₆ O ₂	165.265	0.70±0.51	0.84±0.21
	2-甲基四氢呋喃-3-酮	2-Methyldihydro-3(2H)furanone	C3188009	C ₅ H ₈ O ₂	261.607	0.41±0.07	0.39±0.06
	环戊酮	cyclopentanone	C120923	C ₅ H ₈ O	229.726	0.27±0.03	0.56±0.03
	3-羟基-2-丁酮	3-hydroxy-2-butanone	C513860	C ₄ H ₈ O ₂	201.895	11.37±0.28	9.49±0.07
	1-戊烯-3-酮	1-Penten-3-one	C1629589	C ₅ H ₈ O	170.24	11.27±0.88	10.71±0.43
	合计					24.02±0.35	21.99±0.16
酸类	醋酸-M	Acetic acid	C64197	C ₂ H ₄ O ₂	148.922	5.83±0.15	5.46±0.26
	醋酸-D	acetic acid	C64197	C ₂ H ₄ O ₂	133.458	0.92±0.37	0.73±0.04
	异丁酸-D	2-Methylpropionic acid-D	C79312	C ₄ H ₈ O ₂	252.389	0.25±0.03	0.34±0.01
	异丁酸-M	2-Methylpropanoic acid-M	C79312	C ₄ H ₈ O ₂	229.246	0.82±0.07	0.87±0.04
	合计					7.82±0.15	7.4±0.08
呋喃类	2,5-二甲基呋喃	2,5-Dimethylfuran	C625865	C ₆ H ₈ O	177.504	0.60±0.13	0.53±0.03
	2-正戊基呋喃	2-pentyl furan	C3777693	C ₉ H ₁₄ O	560.843	0.26±0.01	0.53±0.01
	呋喃	1-(2-Furanyl)-ethanone	C1192627	C ₆ H ₆ O ₂	392.54	0.27±0.02	0.48±0.03
	合计					1.13±0.05	1.54±0.02
环类	1,4-二氧六环	1,4-dioxane	C123911	C ₄ H ₈ O ₂	185.52	0.76±0.10	0.52±0.04
	2,4-二甲基-1,3-二氧戊环	2,4-dimethyl-1,3-Dioxolane	C3390123	C ₅ H ₁₀ O ₂	180.527	0.40±0.03	0.44±0.05
	合计					1.16±0.06	0.96±0.04
其他	4-甲基-5-乙烯基噻唑	4-Methyl-5-vinylthiazole	C1759280	C ₆ H ₇ NS	629.453	0.11±0.00	0.13±0.01
	2,4,6-三甲基吡啶	2,4,6-trimethyl-Pyridine	C108758	C ₈ H ₁₁ N	542.006	0.58±0.05	1.06±0.03
	2,3-二甲基吡嗪	2,3-Dimethyl pyrazine	C5910894	C ₆ H ₈ N ₂	412.731	0.77±0.08	0.65±0.02
	沙林	Sarin	C107448	C ₄ H ₁₀ FO ₂ P	286.325	0.71±0.06	1.20±0.01
	吡啶	Pyridine	C110861	C ₅ H ₅ N	217.324	2.60±0.35	2.78±0.05
	烯丙基腈	3-Butenenitrile	C109751	C ₄ H ₅ N	144.522	6.91±0.85	6.52±0.09
	N,N-二甲基甲酰胺	Dimethylformamide	C68122	C ₃ H ₇ NO	241.402	1.37±0.09	1.98±0.03
	N-亚硝基甲基乙基胺	N-nitrosomethylethylamine	C10595956	C ₃ H ₈ N ₂ O	284.07	0.39±0.10	0.36±0.04
	合计					13.44±0.36	14.68±0.06

3 结论

将杂粮复合粉添加到小麦粉中，分析不同杂粮复合粉添加量对面团及饅品质特性的影响。结果表明：复合粉的添加增加了复合粉的蛋白质含量、面团的湿面筋、流变学特性呈下降趋势；当添加范围 0%~15%时，

蛋白质、吸水率呈上升趋势,变化范围分别为 9.86%~10.31%, 62.20%~62.80%;湿面筋、面团形成时间、稳定时间、拉伸阻力、拉伸曲线面积呈下降趋势,变化范围分别为 30.19%~27.13%、6.60 min~5.75 min、11.75 min~9.60 min、359.50 BU~214 BU、95.95 cm²~58.65 cm²,过量的添加导致面团品质下降。通过杂粮馒头感官评分得知,在小麦粉中添加 10%~20%的复合粉对面团流变学特性和馒头的综合影响较小,复合粉添加量 20%以上,会显著降低馒头感官评分和色泽,硬度、弹性、咀嚼性等质构特性。综合评价添加范围在 0~20%的杂粮馒头总分较高。在添加比例 20%时,杂粮馒头的感官评分最高、馒头的色泽和质构特性较好,可以优化出品质较好的杂粮馒头。采用 GC-IMS 定性鉴定普通馒头和杂粮馒头中的挥发性成分差异,共鉴定出 55 种挥发性成分。构建了普通馒头和杂粮馒头的 HS-GC-IMS 风味指纹图谱。两种馒头中挥发性风味物质不同,主要包含酯、醇、醛、酮、呋喃和其他类挥发性化合物,杂粮复合粉的添加增加了馒头中杂粮味和豆香味。

参考文献

- [1] 魏骊霏,许晶,王晓雨,等.核桃粕馒头产品的研发及其品质分析[J].粮食与油脂,2024,37(5):74-78.
- [2] 丁帅杰.全麦粉馒头品质改良的研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2021.
- [3] 马挺军.小杂粮营养价值及综合利用[M].北京:中国农业出版社,2020.
- [4] 丁俊豪.油莎豆粉对面团及馒头品质特性的影响研究[D].郑州:郑州轻工业大学,2019.
- [5] 曹俊梅,哈力旦·依克热木,刘娜,等.新疆主栽冬小麦品质特性与普通馒头感官评价的关系[J].新疆农业科学,2020,57(5):840-851.
- [6] 毛红艳,于明,祖力皮牙·买买提.小麦胚芽粉对面团流变学特性及馒头品质的影响[J].新疆农业科学,2021,58(12):2191-2199.
- [7] 李蓓蓓.酥性饼干对小麦粉的品质要求[D].郑州:河南工业大学,2011.
- [8] 杨文建,俞杰,孙勇,等.添加金针菇粉、茶树菇粉对面团流变学特性的影响[J].食品科学,2014,35(23):43-47.
- [9] 张华,李银丽,李佳乐,等.竹笋膳食纤维对冷冻面团流变学特性、水分分布和微观结构的影响[J].食品科学,2018,39(1):53-57.
- [10] 熊礼橙,牛猛,张宾佳,等.麦麸粒径对全麦面团流变学特性的影响[J].食品工业科技,2017,38(2):7.
- [11] LI Z J, SONG K D, LI H F, et al. Effect of mixed *Saccharomyces cerevisiae* Y10 and *Torulaspora delbrueckii* Y22 on dough fermentation for steamed bread making [J]. International Journal of Food Microbiology, 2019, 303: 58-64.
- [12] GUO J Y, LIU F, GAN C F, et al. Effects of Konjac glucomannan with different viscosities on the rheological and microstructural properties of dough and the performance of steamed bread [J]. Food Chemistry, 2022, 368: 130853.
- [13] ZHENG H, QI S, HE J, et al. Cyanidin-3-glucoside from black rice ameliorates diabetic nephropathy via reducing blood glucose, suppressing oxidative stress and inflammation, and regulating transforming growth factor beta 1/Smad expression [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(15): 4399-4410.
- [14] 张纷,赵亮,靖卓,等.藜麦-小麦混合粉面团特性及藜麦馒头加工工艺[J].食品科学,2019,40(14):323-332.
- [15] WU D, SUN D W. Colour measurements by computer vision for food quality control-A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2013, 29(1): 5-20.
- [16] WANG S Q, CHEN H T, SUN B G. Recent progress in food flavor analysis using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) [J]. Food Chemistry, 2020, 315: 126158.
- [17] SONG J X, SHAO Y, YAN Y M, et al. Characterization of volatile profiles of three colored quinoas based on GC-IMS and PCA [J]. LWT Food Science and Technology, 2021, 146: 111292.
- [18] LIU T, LI Y, SADIQ F A, et al. Predominant yeasts in Chinese traditional sourdough and their influence on aroma formation in Chinese steamed bread [J]. Food Chemistry, 2018, 242: 404-411.
- [19] SALIM M, AADREA R, VITTORIO C, et al. Volatile compound production during the bread-making process: Effect of flour, yeast and their interaction [J]. Food & Bioprocess Technology, 2015, 8: 1925-1937.
- [20] 宋琛琛,韩小贤,张新阁,等.不同出粉率面粉和混合发酵剂所制馒头挥发性物质的分析[J].河南工业大学学报(自然科学版),2015,36(5):7-13.
- [21] 高大禹,李-关,崔凤娇,等.高蛋白水解率对芝麻香型白酒发酵过程及原酒品质的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(6):8.
- [22] 呼德,张颖,张甜甜,等.同时蒸馏萃取和动态顶空萃取法提取焙烤小麦胚芽中风味物质[J].食品科学,2012,33(18):236-242.