

基于HS-SPME-GC-MS分析不同烤馕装置 烤制4种新疆馕的香气特征差异

王露飞, 安比芳, 白羽嘉*, 冯作山*

(新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要: 为探究隧道炉与传统馕坑烤制新疆馕的关键香气特征差异, 该文以4种主食新疆馕(芝麻馕、洋葱馕、白馕、窝窝馕)为研究对象, 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪(Headspace Solid-Phase Microextraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry, HS-SPME-GC-MS)进行香气检测分析。结果显示, 所有馕样品中共检测出50种香气成分, 通过相对气味活度值(Relative Odor Activity Value, ROAV)结合正交偏最小二乘判别分析(Orthogonal Partial Least Squares-Discriminant Analysis, OPLS-DA)确定出8种关键差异香气成分, 其中芝麻馕的关键差异香气成分为苯甲醛、苯乙醛和2,5-二甲基吡嗪; 洋葱馕的关键差异香气成分为二丙基二硫化物和呋喃; 白馕的关键差异香气物质为己醛、壬醛、2,5-二甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪; 而窝窝馕的关键差异香气成分为苯甲醛与苯乙醛。关键差异香气分析结果表明馕坑烤制的关键差异香气成分相对含量均高于隧道炉, 其中ZMN比ZMN-01更具有苦杏仁、焦糖、草木香等气味, YCN比YCN-01洋葱味更加浓郁, BN比BN-01更具有坚果烘烤等气味, WWN比WWN-01的苦杏仁、焦糖等气味更加强烈, 该结果可为不同烤馕装置烤制新疆馕的风味统一提供理论参考。

关键词: 新疆馕; HS-SPME-GC-MS; 关键香气差异成分; 相对气味活度; 正交偏最小二乘判别分析

文章编号: 1673-9078(2024)12-319-330

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.12.1327

Differences in Aroma Characteristics of Four Types of Xinjiang Naan Baked in Different Types of Ovens Based on HS-SPME-GC-MS Analysis

WANG Lufei, AN Bifang, BAI Yujia*, FENG Zuoshan*

(College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: To investigate the differences between key aroma characteristics of Xinjiang Naan baked in tunnel and traditional tandoor ovens, four types of Xinjiang Naan, which is a staple food in Xinjiang (sesame Naan, onion Naan, white Naan, and wowo Naan) were subjected to aroma detection and analysis using headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. A total of 50 aroma components were detected in all Naan samples, while eight key differential aroma components were identified through relative odor activity value and orthogonal partial least squares-

引文格式:

王露飞, 安比芳, 白羽嘉, 等. 基于HS-SPME-GC-MS分析不同烤馕装置烤制4种新疆馕的香气特征差异[J]. 现代食品科技, 2024, 40(12): 319-330.

WANG Lufei, AN Bifang, BAI Yujia, et al. Differences in aroma characteristics of four types of Xinjiang Naan baked in different types of ovens based on HS-SPME-GC-MS analysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(12): 319-330.

收稿日期: 2023-11-03

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发项目(2021B02001-2)

作者简介: 王露飞(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与综合利用, E-mail: 15022996579@163.com

通讯作者: 白羽嘉(1984-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工与综合利用、作物遗传育种、果品采后生物学与物流保鲜, E-mail: saintbj@126.com; 共同通讯作者: 冯作山(1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工与综合利用, E-mail: fengzuoshan@126.com

discriminant analyses. The key differential aroma components of sesame Naan were benzaldehyde, phenylacetaldehyde, and 2,5-dimethylpyrazine, those of onion Naan were dipropyl disulfide and furan, those of white naan were hexanal, nonanal, 2,5-dimethylpyrazine, and 2,6-dimethylpyrazine, and those of wowo Naan were benzaldehyde and phenylacetaldehyde. The relative contents of the key differential aroma components of the Naan baked in tandoor ovens (ZMN-01, YCN-01, BN-01, and WWN-01) were higher than those of the naan baked in tunnel ovens (ZMN, YCN, BN, and WWN). Specifically, ZMN had a stronger odor of bitter almond, caramel, and herbs than that of ZMN-01; YCN had a stronger onion odor than that of the YCN-01; BN had a stronger nutty roasted odor than that of BN-01; WWN had a stronger odor of bitter almond and caramel than that of WWN-01. This study provides a theoretical reference for the flavor unification of Xinjiang Naan baked in different types of ovens.

Key words: Xinjiang Naan; HS-SPME-GC-MS; key differential aroma components; relative odor activity; orthogonal partial least squares discriminant analysis

新疆馕作为当地具有代表性的一种传统美食,以其香、酥、松、脆等特点深受广大消费者的喜爱,具有巨大的社会价值和经济价值^[1]。截止到2023年上半年,新疆维吾尔自治区全区已达到约1 797万个馕日生产量,加工总产值约为4 006万元^[2]。近年来,随着传统馕坑操作难度较大、生产效率和热效率低等问题的不断出现,以隧道炉为代表的机械化烤馕装置的市场需求日益增多^[3],其具有操作简便,温度可控的特点,并且能够实现馕的连续化生产。然而,受生产工艺、设备结构差异等条件的制约,不同烤馕装置会对成品馕风味造成一定影响,其市场认可度和消费者喜爱程度也有所不同。因此对隧道炉和传统馕坑烤馕风味差异的研究具有一定研究意义与价值。

成分无疑是影响面包、馕等焙烤食品质量的重要特征^[4]。馕的香气成分主要来源于原料及烤制过程,其中大部分香气成分是在烤制过程中产生的^[5]。近年来顶空固相微萃取气质联用技术(Headspace Solid-Phase Micro Extraction and Gas Chromatography-Mass Spectrometry, HS-SPME-GC-MS)常运用于食品特征香气物质的研究,与传统液-液萃取等其他萃取技术相比更加方便快捷、准确有效^[6]。毛红艳等^[7]以新疆馕为原料,通过SPME-GC-MS研究了馕的特有风味,共检测出46种风味化合物,确定了6种关键香气成分,主要为1-癸炔、己醛、石竹烯等。Adamantini等^[8]采用HS-SAFE-GC-MS从小麦粉面包中检出53种挥发性风味物质,确定了其关键风味物质为乙烯基吡嗪、己醛、2-丙基吡嗪、2-辛烯醛、2,3-丁二酮、2,5-二甲基吡嗪等。迄今为止,有关不同烤馕装置烤制馕香气成分差异

的分析研究未见报道。

为进一步明确隧道炉与传统馕坑烤制新疆馕的香气特征及关键差异香气成分,本文以隧道炉与传统馕坑在同一条件下自制的4种主食新疆馕为研究对象,采用HS-SPME-GC-MS对其香气组分与含量进行测定,分析比较不同烤馕装置烤制4种新疆馕的关键差异香气成分,旨在为不同烤馕装置烤制新疆馕的风味统一提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

选用的主食新疆馕种类为芝麻馕、洋葱馕、白馕与窝窝馕,每种类样品数量均为6个,共计24个样品。原料:小麦粉(碳水化合物75.4%、蛋白质10.5%、脂肪1.4%)产自新疆昌吉州奇台县;未加碘食用盐产自湖南省;白砂糖产自新疆;发酵粉,安琪酵母股份有限公司;菜籽油油菜原料来自哈萨克斯坦。

8890-5977B型气相色谱-质谱联用仪,57330-U固相微萃取手动进样器、57310-U型30/50 μ m PDMS/DVB/CAR萃取头,ME204型电子天平,NFS-1419Di型电加热隧道炉、DB65/T4329-2020电加热馕坑来自新疆阿克苏市。

1.2 方法

1.2.1 馕样品制备方法

样品配方根据新疆乌鲁木齐、吐鲁番、喀什、和田等主产地区调研而来,4种馕烤熟后均在通风处晾30 min后待测,具体配方见表1。

表 1 饅制作配方
Table 1 Naan recipes

种类	配方组成/(g/100 g)							
	小麦粉	水	菜籽油	发酵粉	白砂糖	食盐	芝麻	洋葱
芝麻饅	58.5	23.4	7.0	1.2	2.9	1.2	5.8	0
洋葱饅	60.2	24.2	7.2	1.2	3.0	1.2	0	3.0
白饅	62.1	24.8	7.5	1.2	3.2	1.2	0	0
窝窝饅	65.0	26	0	1.3	3.2	1.3	3.2	0

饅样品制作流程如图 1 所示, 先将小麦粉、水、菜籽油、发酵粉、食盐按表 1 中的比例混合揉制成面团, 接着将面团置于 30 °C 恒温培养箱中进行 40 min 发酵, 再把分割每份 300 g 面团揉制成直径约 20 cm, 中间厚度 1 cm, 边缘厚度 2 cm 的制作芝麻饅、洋葱饅和白饅饅坯以及直径约 10 cm, 中间厚度 2 cm, 边缘厚度 4 cm 的窝窝饅饅坯。芝麻饅和洋葱饅用饅针戳出纹理后分别均匀撒上芝麻和洋葱末, 同时将 4 种饅坯分别置于预热至 220 °C 的隧道炉与传统饅坑中烤制 20 min 后取出。隧道炉烤制 4 种饅记为 ZMN、YCN、BN、WWN, 传统饅坑烤制记为 ZMN-01、YCN-01、BN-01、WWN-01。

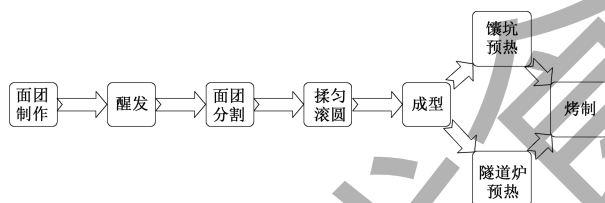


图 1 饅制作流程图

Fig.1 Naan production flowchart

1.2.2 GC-MS测定

1.2.2.1 样品前处理

根据预实验结果优化后将 3.0 g 饅样品粉碎后精确、均匀地称量至 15 mL 顶空瓶中, 再添加 0.6 g 氯化钠搅拌均匀。然后将密封好的顶空瓶放入 60 °C 的金属浴槽中平衡 15 min, 再把活化好的萃取头插入顶空瓶中推出吸附头, 在距离样品约 2 mm 处静止吸附 45 min。待 GC 处于准备状态后, 将 SPME 针头插入进样口, 伸出吸附头, 于 250 °C 条件下脱附 5 min。样品脱附后, 需将吸附头在 250 °C 条件下老化 15 min 进行下次进样^[9]。

1.2.2.2 GC-MS 测定

GC 条件^[10]: 色谱柱 HP-5ms Ultra Inert (30 m×

0.25 mm, 0.25 μm), 起始温度 40 °C, 保持 2 min, 温度上升至 50 °C 后, 以 3 °C/min 速度升至 150 °C, 恒温 2 min, 再以 8 °C/min 速度升至 230 °C, 恒温保持 10 min; 载气 He 流量 1.20 mL/min (纯度大于 99.999%); 进样器温度 250 °C, 传输线温度 230 °C; 不分流进样。

MS 条件^[10]: 电子能量 70 eV; 离子源温度 230 °C, 传输线温度为 240 °C; 四极杆温度为 150 °C; 扫描范围为 40~500 *m/z*。

1.2.3 定性和定量分析

定性分析: 进行挥发性风味物质定性分析时, 饅样品的 HS-SPME-GC-MS 检测结果采 NIST20 标准谱库和 Willey 普库检索, 从检索结果中选择匹配度 >80% 的挥发性风味成分, 通过质谱数据及 C6~C20 正构烷烃的保留指数 (Retention Index, RI), 并与已有的研究结果进行比较, 确定其化学组成进行定性分析。

定量分析: 采用峰面积归一化法计算饅样的品中香气组分相对含量。

1.2.4 主体香气成分评价

参考刘登勇等^[11], 采用 ROAV 法对新疆饅的主体香气成分进行分析。首先定义对样品风味贡献最大的组分为 $ROAV_{max}=100$, 对其他香气成分则有:

$$ROAV_i \approx \frac{C_i}{C_{max}} \times \frac{T_{max}}{T_i} \times 100 \quad (1)$$

式中:

C_i ——各挥发性物质的相对含量, %;

T_i ——相对应的该物质在水中的识别阈值, mg/kg;

C_{max} ——对样品总体风味贡献最大组分的相对含量, %

T_{max} ——相对应该物质在水中的识别阈值, mg/kg。

所有组分 ROAV 不大于 100, 且 ROAV 越大的组分对样品总体风味的贡献也就越大。

1.2.5 感官评价

参照吴立根等^[12]的感官质量评价方法, 根据 4 种饅的特点进行相应调整制定出感官质量评价表, 见表 2。对不同烤饅装置烤制的 4 种饅饅于室温放置 30 min 后进行感官品质的评定, 由 10 名味觉嗅觉正常有相关经验的食物专业学生组成评定小组, 从色泽、风味、形态、口感和组织结构 5 个方面进行综合评分。满分 100 分制, 总得分 ≥71 分为优, ≥38 分良好, 低于 38 分的饅为不合格。

表 2 饅感官评分标准
Table 2 Sensory scoring criteria for Naan

感官指标	评价标准	分值
色泽 (25%)	呈金黄色或淡黄色, 色泽均匀无焦糊或发白现象	18~25
	呈淡黄色或浅棕色, 颜色较均匀, 有轻微焦糊或发白现象	10~17
	乳白色或棕褐色, 颜色不均匀, 有烤焦或发白现象	1~9
风味 (20%)	有浓郁的发酵和烘烤产生的饅香味, 无异味	15~20
	有较淡的发酵和烘烤产生的饅香味, 无异味	8~14
	没有饅特有的香味, 酵母味重或有异味	1~7
形态 (15%)	形状完整饱满、表面光洁、无龟裂	10~15
	外形较完整, 表面光洁、有轻微龟裂	5~9
	有缺损, 龟裂现象, 表面粗糙有鼓泡	1~4
口感 (25%)	松软适口, 不粘牙, 有嚼劲	18~25
	较松软适口, 不粘牙, 较有嚼劲	10~17
	干硬, 粘牙, 不易下咽	1~9
组织形态 (15%)	网格细腻, 气孔均匀, 有弹性	10~15
	网格细腻, 气孔较均匀, 弹性较差	5~9
	网格不细腻, 气孔不均匀, 无弹性	1~4

1.2.6 数据处理

所有试验均作 3 次平行, 实验结果用“平均值 ± 标准差”表示, 运用 Microsoft Excel 2010 软件处理实验数据和统计分析, Visio 2013 软件制作流程图, OriginPro 2022 软件绘制质谱总离子流图, TBtools 绘制热图; 通过 SIMCA 14.1 软件对鉴定的香气成分绘图进行主成分分析 (PCA), 并采用正交偏最小二乘判别分析 (Orthogonal Partial Least Squares-Discriminant Analysis, OPLS-DA) 计算预测变量重要性投影 (Variable Importance in Projection, VIP) 值, 以 $VIP > 1$, $ROAV > 1$ 为条件筛选关键差异香气成分。

2 结果与分析

2.1 隧道炉与饅坑烤制 4 种新疆饅的感官特征评价

感官特征评价由于其操作简便、直观、快速, 且不依赖于仪器和检测场地, 在食品行业中得到了广泛应用。两种烤饅装置烤制芝麻饅、洋葱饅、白饅与窝窝饅 4 种饅的感官评分雷达图如图 2 所示, 饅坑烤制的 4 种饅整体评分高于隧道炉。其中评分差异最大的为风味, YCN 和 YCN-1 的感官风味得

分分别为 15.62、19.33 分, BN 与 BN-1 的得分分别为 13.22、18.31 分, 得分差距较大; ZMN 和 ZMN-1 的感官风味得分分别为 16.24、18.21 分, WWN 与 WWNN-1 的感官风味得分分别为 17.68、19.17 分, 得分差距相对较小。结果显示, 使用饅坑烤制的 4 种新疆饅较隧道炉烤制的色泽、形态、口感与组织形态感官特征差异较小, 风味部分差异较大, 其中饅坑烤制风味优于隧道炉。

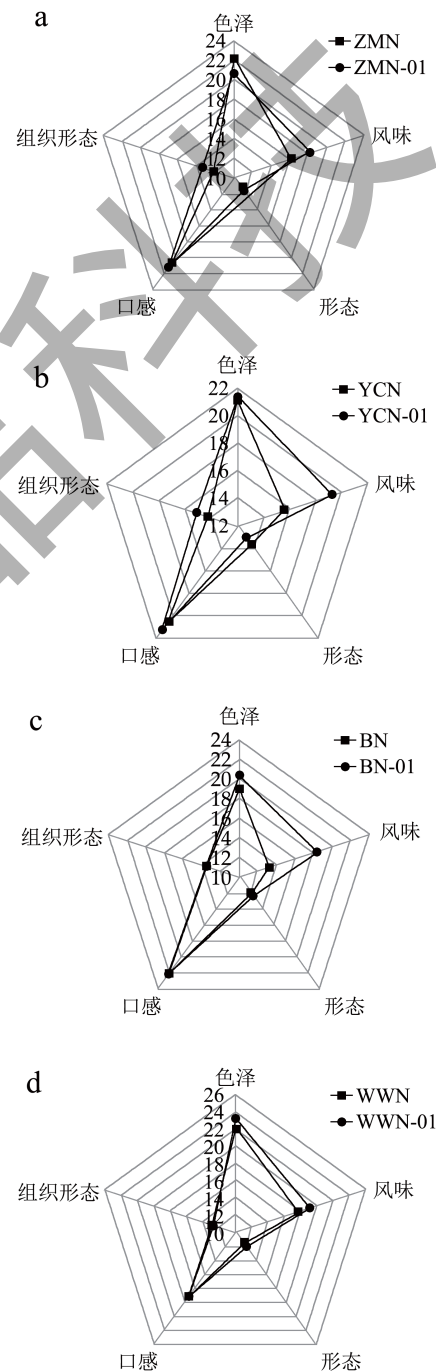


图 2 4 种新疆饅感官特征评分
Fig.2 Sensory characteristics scores of four kinds of Xinjiang Naan

2.2 隧道炉与馕坑烤制4种新疆馕香气数量与组分分析

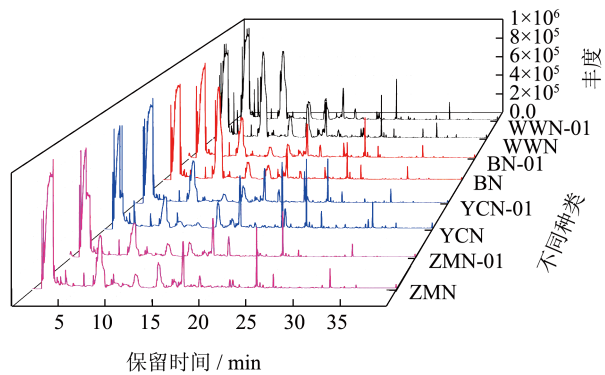


图 3 4 种新疆馕香气总离子流图

Fig.3 Total ion flow diagrams of four Xinjiang Naan aromas

为探究隧道炉与馕坑烤制 4 种新疆馕的香气特征差异, 采用 HS-SPME-GC-MS 技术对芝麻馕、洋葱馕、白馕和窝窝馕 4 种馕的香气组分及其相对含量进行鉴定与分析。根据香气组分的峰保留时间、峰面积值等相关参数建立隧道炉与传统馕坑烤制 4 种新疆馕质谱总离子流图 (图 3), 两种烤馕装置烤制的馕样品香气组分种类相似, 但各类物质的相对含量有差异, 含量最高的香气组分是醇类, 其次是杂环类、醛类和芳烃类。

从表 3 可以看出, 所有馕样品共检测出 50 种香气成分, 鉴定组分占总组分峰面积的 95.71%~99.72%, 包括醇类物质 9 种、醛类物质 13 种、酮类物质 3 种、芳烃类物质 8 种、烷烃类物质 5 种、杂环类物质 10 种和含硫物质 2 种。其中, ZMN、ZMN-01、YCN、YCN-01、BN、BN-01、WWN、WWN-01 分别检测出 34、37、35、39、34、35、37、39 种香气成分, 具有 25 种共有香气成分。传统馕坑烤制的 4 种馕样品香气数量分别多于隧道炉 3、4、1、3 种。结果显示, 使用传统馕坑烤制的馕样品香气组成相较于隧道炉更加丰富。

将两种烤馕装置烤制的 4 种馕样品香气组分绘制成热图, 结果如图 3a 所示。4 组样品的香气种类与含量均较为丰富, ZMN 与 ZMN-01、YCN 与 YCN-01、BN 与 BN-01、WWN 与 WWN-01 的醇类、醛类、酮类和杂环类等香气组分相对含量存在显著差异 ($P < 0.05$)。主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 是一种线性变换, 消除了随机变量

之间的依赖关系, 并且能够形成主成分 (PC) 变量以展示数据特征^[13]。如图 3b 所示, PC1 和 PC2 的方差贡献率分别为 74.1% 和 17.4%, 累计方差贡献率达到 91.5%, 表明该结果能够充分反映出 4 种馕样品的总体特征。在 PCA 分析图中, 样品之间距离近代表差异小, 距离远代表差异明显^[14]。4 组馕样品香气组分具有明显差异, 其中 ZMN-01、YCN-01、BN-01 的组间间距较近, 表明这三种馕的整体香气组分差异较小, MN-01、YCN-01、BN-01 与 WWN-01 的间距较远, 表明其香气组分差异较大; ZMN、YCN、BN、WWN 两两之间的距离相对较远, 表明每种馕样品之间的香气组分均有差异。不同烤馕装置之间也具有明显区分, 其中洋葱馕与白馕之间的香气组分差异较大, 芝麻馕与窝窝馕之间的香气组分差异较小。

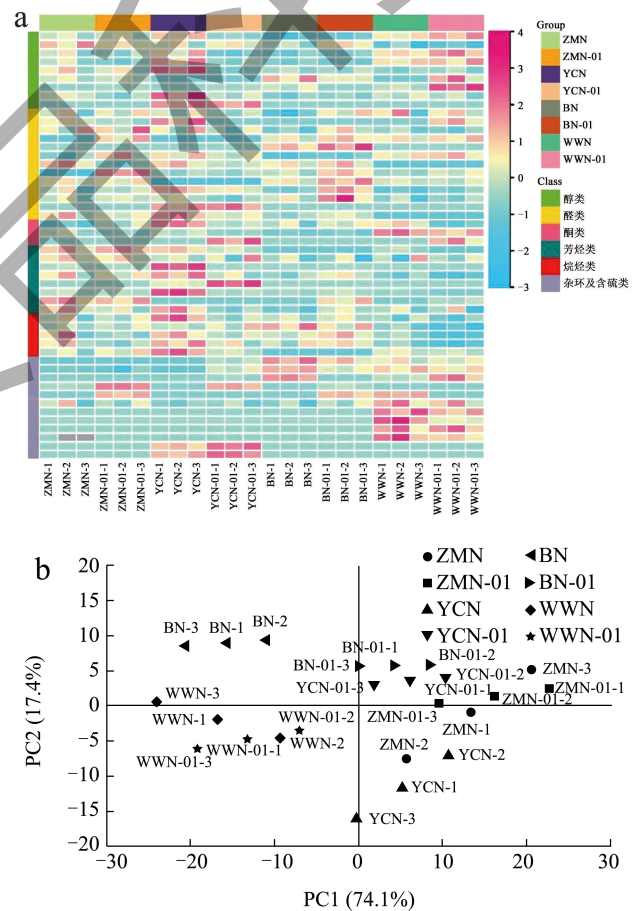


图 4 4 种新疆馕的香气总体特征

Fig.4 General characteristics of aroma of four Xinjiang Naan species

注: a 为 4 种新疆馕的香气成分聚类热图, b 为 4 种新疆馕的 PCA 得分图。

表 3 4种新疆馥香气组成及相对含量

序号	保留时间/min	化合物名称	感官阈值/(mg/kg) ^[22]	相对含量/%										
				CAS	ZMN	ZMN-01	YCN	YCN-01	BN	BN-01	WWN	WWN-01		
1	1.33	乙醇	14 300	64-17-5	3.85±0.87	4.05±0.88	7.54±0.83	2.73±0.24	1.43±0.32	1.86±0.24	5.73±0.82	9.52±1.87		
2	1.91	D-丙氨酸	—	35320-23-1	60.33±7.76	53.20±2.69	48.34±5.74	51.66±2.85	43.87±3.27	54.80±2.45	36.38±5.32	36.15±2.30		
3	3.76	异戊醇	0.25	123-51-3	0.50±0.24	0.35±0.11	0.84±0.26	0.18±0.06	0.20±0.08	0.24±0.03	0.78±0.08	1.19±0.24		
4	3.85	活性戊醇	6	137-32-6	0.28±0.11	0.13±0.06	0.75±0.16	0.19±0.07	0.13±0.04	0.09±0.02	0.52±0.08	0.65±0.18		
5	8.98	正己醇	0.2	111-27-3	0.57±0.22	0.49±0.16	1.23±0.17	0.23±0.02	0.34±0.07	0.34±0.08	0.27±0.06	0.31±0.09		
6	8.23	3-呋喃醇	—	4412-91-3	0.12±0.05	0.11±0.02	—	—	0.29±0.08	0.15±0.01	—	0.29±0.13		
7	8.25	2-呋喃醇	1	98-00-0	—	0.09±0.02	—	0.09±0.04	0.30±0.16	—	0.19±0.08	2.37±0.42		
8	22.08	苯乙醇	41.1	60-12-8	0.79±0.09	0.46±0.17	2.80±0.98	0.71±0.17	0.36±0.15	0.43±0.08	0.76±0.16	0.57±0.22		
9	15.03	1-辛烯-3-醇	0.05	3391-86-4	—	—	0.18±0.02	0.18±0.02	—	—	—	—		
小计:														
10	2.51	2-甲基丁醛	0.01	96-17-3	66.44±6.18	58.88±3.41	61.68±3.30	55.97±2.69	46.92±2.51	57.91±2.20	44.63±4.37	51.05±0.51		
11	2.98	异戊醛	0.000 25	590-86-3	1.20±0.45	1.39±0.28	1.28±0.29	1.05±0.16	0.52±0.18	1.52±0.30	1.54±0.82	1.50±0.33		
12	5.75	己醛	0.21	66-25-1	0.71±0.20	0.81±0.29	0.71±0.26	0.54±0.15	0.39±0.08	0.72±0.14	0.46±0.09	0.41±0.07		
13	10.66	庚醛	0.031	111-71-7	—	0.09±0.02	—	—	0.06±0.02	0.09±0.04	0.07±0.02	0.09±0.03		
14	10.85	甲硫基丙醛	0.01	3268-49-3	—	—	—	—	0.08±0.02	0.14±0.03	—	—		
15	13.98	苯甲醛	0.05	100-52-7	2.59±0.73	7.06±2.69	6.57±1.63	4.42±0.82	1.72±0.24	2.25±0.33	5.81±0.95	7.37±1.63		
16	16.29	辛醛	0.000 1	124-13-0	0.59±0.18	0.11±0.05	0.54±0.15	0.27±0.03	0.40±0.10	0.53±0.16	—	—		
17	18.42	苯乙醛	0.01	122-78-1	0.22±0.06	3.07±0.24	0.82±0.16	0.85±0.16	1.03±0.24	1.98±0.37	0.78±0.08	1.27±0.21		
18	21.70	壬醛	0.015	124-19-6	0.70±0.16	0.76±0.16	—	—	0.66±0.17	1.32±0.29	0.53±0.08	0.51±0.11		
19	24.48	反-2-壬烯醛	0.000 065	18829-56-6	0.18±0.09	0.18±0.02	0.35±0.03	0.23±0.02	0.10±0.02	0.35±0.06	0.06±0.02	0.11±0.02		
20	26.75	癸醛	0.005	112-31-2	0.12±0.02	0.13±0.01	0.13±0.02	0.09±0.02	0.13±0.03	0.22±0.06	0.09±0.03	0.10±0.02		
21	29.34	反-2-癸烯醛	—	3913-81-3	—	—	0.17±0.03	0.20±0.04	—	—	—	—		
22	31.80	2,4-癸二烯醛	—	2363-88-4	0.16±0.07	0.12±0.02	0.24±0.04	0.12±0.02	0.06±0.01	0.11±0.02	—	—		
小计:														
23	2.97	2,3-戊二酮	0.005	3188-00-9	6.80±0.20	13.82±1.66	11.59±2.35	7.77±1.29	5.15±0.19	9.23±0.15	9.34±0.19	11.85±1.70		
24	3.22	3-羟基-2-丁酮	10	513-86-0	0.13±0.05	0.33±0.08	0.78±0.08	0.33±0.04	0.30±0.13	0.40±0.06	0.50±0.08	0.15±0.03		
25	19.60	苯乙酮	—	98-86-2	—	—	—	0.23±0.02	0.10±0.02	0.12±0.05	1.45±0.25	1.04±0.19		
小计:														
					0.50±0.18	0.56±0.04	1.18±0.10	0.91±0.15	0.40±0.16	0.52±0.01	1.95±0.33	1.43±0.12		

续表 3

序号	保留时间/min	化合物名称	感官阈值 (mg/kg) ^[22]	相对含量/%										
				CAS	ZMN	ZMN-01	YCN	YCN-01	BN	BN-01	WWN	WWN-01		
26	4.60	甲苯	0.14	108-88-3	0.14±0.04	0.17±0.02	0.14±0.02	0.07±0.02	—	—	—	—	0.05±0.02	—
27	8.77	对二甲苯	—	106-42-3	0.32±0.04	0.30±0.04	0.25±0.03	0.29±0.11	0.22±0.06	0.20±0.08	0.25±0.11	0.24±0.04	—	—
28	9.99	邻二甲苯	—	95-47-6	0.15±0.04	0.13±0.02	1.96±0.24	0.09±0.02	0.05±0.02	0.08±0.03	0.06±0.02	0.04±0.01	—	—
29	14.77	2-乙基甲苯	—	611-14-3	0.12±0.04	0.11±0.02	0.17±0.02	0.09±0.02	0.07±0.01	0.11±0.02	0.06±0.02	0.03±0.01	—	—
30	14.16	对-甲乙苯	—	622-96-8	—	—	0.14±0.02	0.68±0.08	—	—	—	—	—	—
21	15.52	均三甲苯	—	108-67-8	0.29±0.07	0.26±0.02	1.97±0.33	0.23±0.04	0.17±0.03	0.28±0.08	0.14±0.03	0.04±0.01	—	—
32	15.70	1,2,4-三甲基苯	—	95-63-6	0.73±0.20	0.63±0.16	—	—	—	0.50±0.16	—	0.15±0.04	—	—
33	25.32	萘	0.05	91-20-3	0.23±0.04	0.17±0.04	0.27±0.08	0.13±0.02	0.10±0.02	0.17±0.02	0.15±0.05	0.15±0.08	—	—
		小计:			1.98±0.47	1.77±0.07	4.90±0.17	1.58±0.24	0.61±0.11	1.34±0.06	0.71±0.02	0.65±0.01	—	—
34	15.40	2,2,4,6,6-五甲基庚烷	—	13475-82-6	0.46±0.17	0.46±0.08	0.93±0.16	0.41±0.08	0.44±0.08	0.49±0.08	0.41±0.12	0.28±0.08	—	—
35	16.08	癸烷	—	124-18-5	0.24±0.03	0.26±0.04	0.24±0.02	0.31±0.08	0.44±0.08	0.34±0.07	0.18±0.04	0.09±0.03	—	—
36	24.99	3-甲基-十一烷	—	1002-43-3	0.35±0.19	0.18±0.03	0.42±0.08	0.24±0.04	0.26±0.03	0.39±0.07	0.19±0.04	0.06±0.01	—	—
37	26.46	十二烷	—	112-40-3	0.66±0.18	0.39±0.08	0.91±0.16	0.55±0.14	0.53±0.16	0.68±0.08	0.34±0.07	0.17±0.04	—	—
38	35.49	十四烷	300	629-59-4	0.07±0.04	0.12±0.03	0.24±0.04	0.08±0.02	—	—	0.10±0.02	0.08±0.02	—	—
		小计:			1.78±0.61	1.41±0.20	2.74±0.15	1.59±0.02	1.69±0.20	1.90±0.16	1.22±0.07	0.68±0.08	—	—
39	6.71	2-甲基吡嗪	1	109-08-0	—	—	—	0.12±0.02	0.46±0.08	0.29±0.08	0.21±0.06	0.20±0.04	—	—
40	7.59	吡喃	8	98-01-1	11.82±0.41	10.72±2.61	10.21±0.29	19.71±2.00	36.88±2.45	21.38±2.38	30.78±5.63	26.34±3.27	—	—
41	11.12	2-乙酰基吡喃	80	1192-62-7	—	—	—	0.20±0.09	4.74±0.82	—	0.50±0.16	4.94±2.14	—	—
42	11.38	2,5-二甲基吡嗪	1	123-32-0	0.28±0.04	4.30±0.39	—	2.78±0.41	—	0.35±0.11	—	—	—	—
43	11.54	2,6-二甲基吡嗪	10	108-50-9	—	4.66±0.82	—	—	—	3.98±0.82	5.20±0.41	—	—	—
44	15.61	2-正戊基吡喃	0.004 8	3777-69-3	0.43±0.20	0.38±0.09	0.28±0.04	0.31±0.08	0.28±0.11	0.40±0.08	0.69±0.16	0.61±0.13	—	—
45	16.20	2-乙基-5-甲基吡嗪	—	13360-64-0	—	—	—	—	—	—	0.57±0.16	0.40±0.07	—	—
46	16.26	3,6-二甲基-2-吡嗪	—	823-61-0	—	—	—	—	—	—	0.56±0.15	0.13±0.02	—	—
47	27.33	3-苯基吡喃	—	13679-41-9	—	—	—	—	—	—	0.08±0.03	0.09±0.02	—	—
48	30.61	吡啶	0.5	120-72-9	—	—	—	—	—	—	0.29±0.10	0.15±0.02	—	—
49	21.67	二丙基二硫化物	0.032	629-19-6	—	—	2.23±0.49	5.84±0.81	—	—	—	—	—	—
50	32.13	二丙基三硫化物	—	6028-61-1	—	—	0.47±0.06	0.81±0.09	—	—	—	—	—	—
		小计:			12.53±0.65	20.06±3.13	13.19±0.11	29.77±2.19	42.36±1.61	26.4±1.53	38.88±5.83	32.86±1.02	—	—

注:—为无法查询感官阈值或未检出该物质。感官阈值为该物质在水中的感觉阈值,下同。

2.3 隧道炉与馕坑烤制4种新疆馕的特征香气及主体香气成分确定

2.3.1 特征香气比较

在使用隧道炉烤制4种馕样品所测得的香气组分相对含量中(表3),主要的醇类物质为乙醇、D-丙氨醇、苯乙醇,主要醛类物质为2-甲基丁醛、己醛、苯甲醛,主要酮类物质为2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮,主要芳烃烷烃为对二甲苯、均三甲苯、1,2,4-三甲基苯、2,2,4,6,6-五甲基庚烷、3-甲基-十一烷、十二烷,主要杂环类及含硫物质为呋喃、2-正戊基呋喃、2-甲基吡嗪、二丙基二硫化物。使用传统馕坑烤制的4种馕样品所测得的香气组分相对含量中(表3),主要醇类物质为乙醇、D-丙氨醇、苯乙醇、2-呋喃醇、苯乙醇,主要醛类物质为2-甲基丁醛、己醛、庚醛、苯甲醛、苯乙醛,主要酮类物质为2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮,主要芳烃烷烃为对二甲苯、均三甲苯、1,2,4-三甲基苯、2,2,4,6,6-五甲基庚烷、癸烷、3-甲基-十一烷、十二烷,主要杂环类及含硫物质为呋喃、2-乙酰基呋喃、2,5-二甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪、2-正戊基呋喃、2-甲基吡嗪、二丙基二硫化物。

以上结果可以发现,通过传统馕坑烤制4种馕样品的香气组分相对含量较高的有具有特殊香味、微甘的乙醇、D-丙氨醇及苯乙醛,这些物质可能对传统馕坑烤馕的香气组成具有一定贡献;通过隧道炉烤制的4种馕香气相对含量较高的有活性戊醇、3-羟基-2-丁酮、呋喃、二丙基二硫化物,这些物质可能是隧道炉烤馕的重要香气组成;此外,具有杏仁味、花香的苯乙酮仅在传统馕坑烤制的洋葱馕与窝窝馕中检出,在隧道炉烤制的4种馕中均未检出,属于传统馕坑烤馕的特有香气成分。

2.3.2 主体香气成分确定

在众多香气组分中,香气含量的高低并不能够作为判定馕样品香气特征的依据。为了进一步筛选出隧道炉与传统馕坑烤馕的主体香气成分,将各香气组分浓度、感官阈值与ROAV值相结合,评估出不同香气组分对样品整体香气的贡献程度,进而筛选出两种烤馕装置烤馕的主体香气成分。如果香气组分ROAV值大于1,则香气组分对馕样品香气有很大贡献,0.1≤ROAV<1的组分对馕样品总体风味具有重要修饰作用,ROAV小于0.1的组分对样品香气几乎没有影响^[15]。

表4 主体香气成分及ROAV值
Table 4 Main body aroma components and ROAV values

香气成分	CAS	感官阈值 / (mg/kg) ^[22]	ROAV								气味特征描述
			ZMN	YCN	BN	WWN	ZMN-1	YCN-1	BN-1	WWN-1	
乙醇	64-17-5	14 300	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	乙醇味
苯乙醇	60-12-8	41.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	水果、蜂蜜气味
2-甲基丁醛	96-17-3	0.01	16.24	21.94	22.56	40.03	93.65	42.62	56.88	45.56	杏仁、可可香
己醛	66-25-1	0.21	61.06	32.87	78.01	19.59	56.29	41.06	47.63	28.93	清甜香、苹果香
苯甲醛	100-52-7	0.05	95.57	99.06	7.46	38.31	38.66	35.88	16.84	35.29	苦杏仁、焦糖味
苯乙醛	122-78-1	0.01	14.89	64.19	22.34	20.27	97.34	34.50	74.09	38.57	草木香、花香
壬醛	124-19-6	0.015	31.58	—	9.54	9.18	37.81	—	32.93	10.33	花香、脂肪气味
呋喃	98-01-1	8	100	100	100	100	100	100	100	100	杏仁、面包气味
2-乙酰基呋喃	1192-62-7	80	—	—	<0.1	<0.1	—	<0.1	—	—	可可、咖啡香
2,5-二甲基吡嗪	123-32-0	1	2.91	—	—	—	<0.1	1.12	<0.1	—	坚果等烘烤气味
2,6-二甲基吡嗪	108-50-9	10	—	—	—	3.26	1.81	—	6.30	—	坚果等烘烤气味
二丙基二硫化物	629-19-6	0.032	—	89.71	—	—	—	28.29	—	—	大蒜、洋葱、硫磺气味

注: 气味特征描述查询气味特征数据库 <http://www.perflavor.com/index.org>。

根据表 2 中相对含量较高或感官阈值较低的香气组分以及前人相关研究结果, 筛选出了 12 种饅样品呈香的主体香气成分, 设定相对含量较高且感官阈值 (8 mg/kg) 较低的呋喃 (杏仁香、面包香) ROAV 值为 100, 进行 ROAV 值分析^[16-18](表 3)。结果表明, 饅样品中 ROAV 值大于 1 的香气组分有 9 种: 呋喃、2-甲基丁醛、己醛、苯甲醛、苯乙醛、壬醛、2,5-二甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪与二丙基二硫化物, 认为这些香气物质可能是隧道炉与饅坑烤制 4 种新疆饅的主体香气成分, 对总体香气贡献较大。呋喃、2,5-二甲基吡嗪等杂环类化合物感官阈值较低, 主要来源于氨基酸与还原糖之间的美拉德反应、氨基酸的热解及硫胺素的降解, 具有杏仁、面包和烤坚果气味并且能够协调整体风味, 是构成饅主体香气的重要组分^[19]。2-甲基丁醛、己醛、苯甲醛等醛类物质是焙烤食品中常见的香气物质, 由美拉德反应和不饱和脂肪酸氧化降解产生, 具有苦杏仁味、可可香、清甜香、苹果香等特征风味, 因其感官阈值低, 对面包、馒头、饅等风味特性起着重要作用^[20]。醇类物质通常是焙烤食品中相对含量最高的化合物种类^[21], 乙醇和苯乙醇的阈值较高且 ROAV 值小于 0.1, 对香气贡献较小, 属于饅样品潜在风味物质。

2.4 隧道炉与饅坑烤制 4 种新疆饅关键差异香气分析

2.4.1 OPLS-DA 模型建立与验证

为进一步分析不同烤饅装置烤制 4 种新疆饅的关键差异香气成分, 结合表 4 中 ROAV 分析的基础上对 ZMN 与 ZMN-01、YCN 与 YCN-01、BN 与 BN-01、WWN 与 WWN-01 进行 OPLS-DA 两两判别分析 (图 5)。以每种饅的香气组分作为因变量, 不同烤饅装置作为自变量, 不同烤饅装置烤制的饅样品在 95% 置信区间内均分布不同区域, 表明可以实现不同烤饅装置烤制 4 种饅样品的有效区分 (图 5 左)。本次分析中的不同种类饅的自变量拟合指数 (R^2_x)、因变量拟合指数 (R^2_y)、模型预测指数 (Q^2) 见表 4, R^2 和 Q^2 超过 0.8 表示模型拟合结果良好^[23]。经过 200 次置换检验, 如图 5 右所示, 4 种饅的 R^2 和 Q^2 回归线斜率都为正, 说明模型不存在过拟合, 模型验证有效, 认为该结果可用于两种烤饅装置烤制 4 种新疆饅的关键香气差异分析。

表 5 OPLS-DA 模型评价参数

Table 5 Evaluation parameters of the OPLS-DA model

样品	R^2_x (cum)	R^2_y (cum)	Q^2 (cum)
ZMN vs ZMN-01	0.997	0.999	0.998
YCN vs YCN-01	0.844	0.999	0.997
BN vs BN-01	0.958	1	0.991
WWN vs WWN-01	0.999	1	1

2.4.2 4 种新疆饅关键差异香气成分分析

通过 OPLS-DA 与 ROAV 值分析, 从 ZMN 与 ZMN-01 中筛选了苯甲醛、苯乙醛和 2,5-二甲基吡嗪 3 种关键差异香气成分 (ROAV > 1, VIP > 1)。苯甲醛具有苦杏仁、焦糖味, 是构成整体风味的关键^[24], ZMN-01 中的苯甲醛 (7.06%) 相对含量显著高于 ZMN (2.59%)。ZMN-01 中的苯乙醛 (3.07%) 相对含量高于 ZMN (0.22%), 表明带有花香、草木香的苯乙醛对隧道炉烤饅的香气形成具有一定贡献, 2,5-二甲基吡嗪具有坚果等烘烤气味, ZMN (0.28%) 中的相对含量低于 ZMN-01 (4.30%)。表明饅坑烤制的芝麻饅比隧道炉更具有苦杏仁、焦糖、花香、草木香等气味。由此推断出这些香气物质含量的差异, 是 ZMN 与 ZMN-01 香气差异因素之一。

YCN 与 YCN-01 中筛选出了二丙基二硫化物、呋喃两个关键差异香气成分 (ROAV > 1, VIP > 1)。其中二丙基二硫化物是洋葱饅的特征香气成分, 也是产生洋葱饅洋葱风味的关键组分^[25], YCN-01 中的二丙基二硫化物 (5.84%) 相对含量明显高于 YCN (2.23%); 呋喃是呈香的重要化合物^[26], YCN 中的呋喃相对含量为 10.21%, 显著低于 YCN-01 的 19.71%。表明饅坑烤制洋葱饅比隧道炉的洋葱风味更加浓郁, 同时色泽指标也优于隧道炉。

从 BN 与 BN-01 中筛选出了己醛、壬醛、2,5-二甲基吡嗪和 2,6-二甲基吡嗪 4 个关键差异香气成分 (ROAV > 1, VIP > 1)。己醛具有清甜香、苹果香, 是亚油酸的主要氧化产物, 壬醛是油酸氧化的产物^[27]。BN-01 的己醛 (0.72%) 与壬醛 (1.32%) 相对含量均高于 BN; 2,5-二甲基吡嗪和 2,6-二甲基吡嗪是饅坑烤制白饅的特有香气成分, 吡嗪类化合物具有坚果的烘烤香味, 能够起到协调整体风味的作用^[28]。这表明饅坑烤制白饅中的苹果香及坚果烘烤等气味比隧道炉更加浓郁, 香气组成也更为丰富。

WWN 与 WWN-01 中筛选出了苯甲醛、苯乙

醛两个关键差异香气成分 (ROAV > 1, VIP > 1), WWN-01 中的苯甲醛、苯乙醛相对含量分别为 7.37% 与 1.27%, 高于 WWN 的 5.81%、0.78%, 表明

WWN 比 WWN-01 的苦杏仁、焦糖味、草木香、花香更加强烈, 可以推断出醛类物质可能是不同烤饅装置烤制窝窝饅香气成分差异的关键。

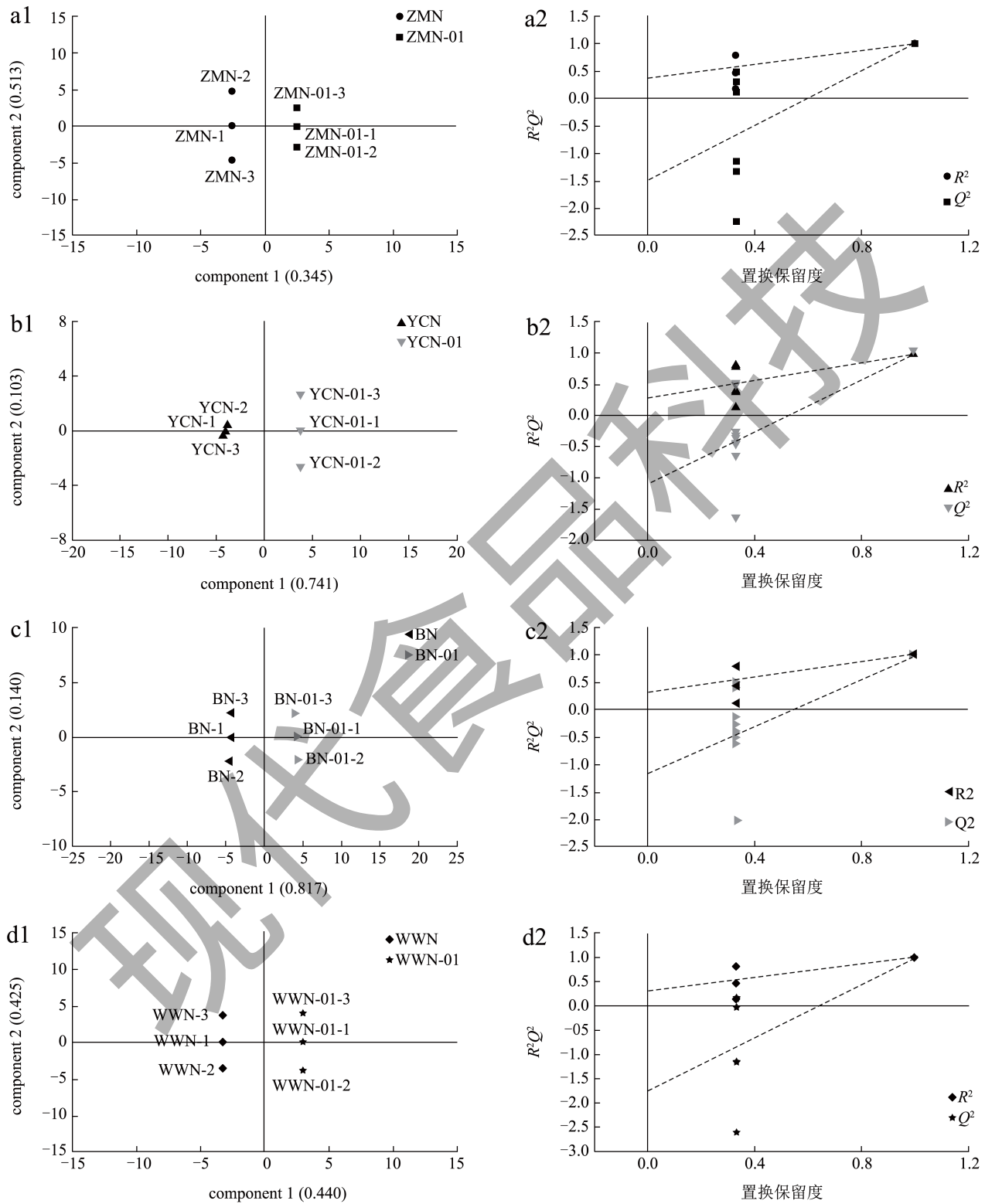


图 5 4 种新疆饅的 OPLS-DA (左) 及模型交叉验证结果 (右)

Fig.5 OPLS-DA and model cross-validation results for 4 types of Xinjiang Naan

注: a 为芝麻饅 OPLS-DA (左) 与其模型交叉验证结果 (右), b 为洋葱饅 OPLS-DA (左) 与其模型交叉验证结果 (右), c 为白饅 OPLS-DA (左) 与其模型交叉验证结果 (右), d 为窝窝饅 OPLS-DA (左) 与其模型交叉验证结果 (右)。

2.5 结果与讨论

毛红艳等^[7]研究结果显示在饅中含量较高,且对饅独特风味可能具有重要贡献的香气成分为1-癸炔、石竹烯等物质,本研究结果表明不同种类的饅中对风味有重要贡献的香气成分具有一定的差异性,其中芝麻饅的主要风味贡献香气成分为苯甲醛、苯乙醛和2,5-二甲基吡嗪;洋葱饅的主要风味贡献香气成分为二丙基二硫化物和呋喃;白饅的主要风味贡献香气成分为己醛、壬醛、2,5-二甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪;而窝窝饅的主要风味贡献香气成分为苯甲醛与苯乙醛。古丽乃再尔·斯热依力等^[29]研究认为醛类物质为洋葱饅的关键香气成分,本研究表明洋葱饅的关键香气成分为醛类物质与二丙基二硫化物等含硫化合物共同作用而来。

3 结论

本文采用HS-SPME-GC-MS技术分析了隧道炉与传统饅坑两种不同烤饅装置烤制4种主食新疆饅的香气特征及关键香气差异,结果表明不同烤饅装置烤制的4种新疆饅在香气组成与含量上存在一定差异。4种主食新疆饅中共检出50种香气成分,其化学组分以醇类、醛类、杂环类等成分为主。进一步采用ROAV值并结合OPLS-DA分析,确定了8种关键差异香气成分,其中芝麻饅的关键差异香气成分为苯甲醛、苯乙醛与2,5-二甲基吡嗪,洋葱饅的关键差异香气成分为二丙基二硫化物与呋喃,白饅的关键差异香气物质为己醛、壬醛、2,5-二甲基吡嗪和2,6-二甲基吡嗪,而窝窝饅的关键差异香气成分为苯甲醛和苯乙醛。关键差异香气分析结果表明饅坑烤制的关键差异香气成分相对含量均高于隧道炉,其中ZMN比ZMN-01更具有苦杏仁、焦糖、草木香等气味,YCN比YCN-01洋葱味更加浓郁,BN比BN-01更具有坚果烘烤等气味,WWN比WWN-01的苦杏仁、焦糖等气味更加强烈,该结果可为不同烤饅装置烤制新疆饅的风味统一提供理论参考。受不同烤饅装置结构差异的影响,其香气成分差异可能是由烤饅装置内部温度场差异造成的,后续将通过有限元仿真等手段分析模拟不同烤饅装置的温度场,以期不同烤饅装置烤制新疆饅的风味统一提供更全面的理论参考。

参考文献

[1] 李慧玲,蔺焕君.新疆饅产业发展分析[J].边疆经济与文

化,2023,9:24-29.

- [2] 唐勇,王蓉.新疆饅产业发展研究[J].合作经济与科技,2023,20:26-28.
- [3] 谷亚文,肉孜·阿木提,史勇,等.我国烤饅装置现状与分析[J].新疆农机化,2018,2:29-31.
- [4] HANSEN A, SCHIEBERLE P. Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: applied and fundamental aspects [J]. Trends in Food Science & Technology, 2005, 16(1-3): 85-94.
- [5] SCHIEBERLE P, GROSCH W. Bread Flavor [M]. Germany: Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, 1989.
- [6] 张文娟,周考文.HS-SPME-GC-MS在食品挥发性物质分析中的应用[J].食品研究与开发,2021,42(17):218-224.
- [7] 毛红艳,徐鑫,于明.固相微萃取-气质联用分析新疆饅挥发性成分[J].食品工业,2018,39(6):287-290.
- [8] PARAS A, CHRY A, KOUTIDOU M. Characterisation of volatile compounds of lupin protein isolate-enriched wheat flour bread [J]. Food Research International, 2012, 48(2): 568-577.
- [9] ZHANG R, TANG C C, JIANG B Z, et al. Optimization of HS-SPME for GC-MS analysis and its application in characterization of volatile compounds in sweet potato [J]. Molecules, 2021, 26: 5808.
- [10] ZIA A, WASO E, JELEN H H. Differentiation of wines according to grape variety and geographical origin based on volatiles profiling using SPME-MS and SPME-GC/MS methods [J]. Food Chemistry, 2016, 213: 714-720.
- [11] 刘登勇,周光宏,徐幸莲.确定食品关键风味化合物的一种新方法:“ROAV”法[J].食品科学,2008,7:370-374.
- [12] 吴立根,王涛,屈凌波,等.藜麦全谷物粉对饅抗氧化性影响的研究[J].食品安全质量检测学报,2022,13(8):2633-2639.
- [13] CHIBA M, MINAMISAWA M, KAWANO S, et al. Principal component analysis (PCA) applied to near infrared spectra for classifying wheat flours [J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 1995, 42(10): 796-801.
- [14] ZHAO F, CHEN M J, JIN S, et al. Macro-composition quantification combined with metabolomics analysis uncovered key dynamic chemical changes of aging white tea [J]. Food Chemistry, 2022, 366: 130593.
- [15] 刘登勇,周光宏,徐幸莲.金华火腿主体风味成分及其确定方法[J].南京农业大学学报,2009,32(2):173-176.
- [16] PU D, ZHANG H, ZHANG Y, et al. Characterization of the key aroma compounds in white bread by aroma extract dilution analysis, quantitation, and sensory evaluation experiments [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(5): 1-15.
- [17] CHO I H, PETERSON D G. Chemistry of bread aroma: a review [J]. Food Science and Biotechnology, 2010, 19(3):

- P.575-582.
- [18] NORBERT D K, CHRISTIN S. Syntheses of the principal bread flavor component, 6-acetyl-1,2,3,4-tetrahydropyridine, and acetal protected precursors [J]. *Tetrahedron*, 1995, 51(8): 2387-2402.
- [19] 张兴,陈怡颖,章慧莺,等.新疆饅包肉挥发性风味成分的分
离与鉴定[J].*精细化工*,2014,31(6):727-732.
- [20] SCHIEBERLE P. Intense aroma compounds-Useful tools to monitor the influence of processing and storage on bread aromab [J]. *Advances in Food Sciences*, 1996, 18: 237-244.
- [21] BIRCH A N, PETERSON M A, Hansen A S. Review: Aroma of wheat bread crumb [J]. *Cereal Chemistry*, 2014, 91: 978814.
- [22] 里奥·范海默特.化合物香味阈值汇编[M].北京:科学出版社,2015.
- [23] YUN J, CUI C,ZHANG S, et al. Use of headspace GC/MS combined with chemometric analysis to identify the geographic origins of black tea [J]. *Food Chemistry*, 2021, 360(11): 130033.
- [24] BIRCH A N, PETERSON M A, ARNEBORG N, et al. Influence of commercial baker's yeasts on bread aroma profiles [J]. *Food Research International*, 2013, 52(1): 160-166.
- [25] RUIZ J, VENTANAS J, CAVA R. New device for direct extraction of volatiles in solid samples using SPME [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 11: 49.
- [26] KIRCHHOFF E, SCHIEBERLE P. Determination of key aroma compounds in the crumb of a three-stage sourdough rye bread by stable isotope dilution assays and sensory studies [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2001, 49(9): 4304-4311.
- [27] 袁桃静,赵笑颖,庞一扬,等.基于电子鼻、HS-GC-IMS和HS-SPME-GC-MS对5种食用植物油挥发性风味成分分析[J].*中国油脂*,2020,45(9):102-111.
- [28] SCALONE G L. Impact of enzymatically generated peptides on the formation of alkylpyrazines in Maillard model systems and baked food products [D]. Gent: Universiteit GENT, 2016.
- [29] 古丽乃再尔·斯热依力,黄文书,白羽嘉,等.基于气相色谱-离子迁移色谱分析不同贮藏方式对洋葱浆饅包风味的影响[J].*食品科学*,2022,43(24):249-257.