

# 不同加热方式对冷冻豆沙包食用品质及挥发性物质的比较分析

王秋玉<sup>1</sup>, 章海风<sup>1,2</sup>, 朱文政<sup>1,2</sup>, 薛盼盼<sup>1</sup>, 沙文轩<sup>1</sup>, 苏嘉敏<sup>1</sup>, 周晓燕<sup>1,2</sup>

(1. 扬州大学旅游烹饪学院, 江苏扬州 225100) (2. 江苏省淮扬菜产业化工程中心, 江苏扬州 225100)

**摘要:** 为探究加热方式对冷冻豆沙包成熟后的食用品质及挥发性物质的影响, 采用万能蒸烤箱蒸制、传统蒸笼蒸制、微波加热三种方式分别对冷冻豆沙包进行加热, 测定豆沙包的水分迁移、质构、色泽、比容、蒸煮特性以及挥发性风味物质。结果表明: 不同加热方式对冷冻豆沙包的食用品质和挥发性风味物质相对含量影响显著差异 ( $p < 0.05$ )。从水分分布分析, 微波加热的豆沙包质子迁移率的变化最小; 经质构分析, 传统蒸笼蒸制的豆沙包硬度和咀嚼性最低; 微波加热的豆沙包的  $L^*$  值最低,  $a^*$  值最高; 传统蒸笼蒸制的豆沙包比容最大, 失水率最小; pH 值最大的是微波加热的豆沙包。通过固相微萃取技术 (SPME) 和气相色谱-质谱联用技术 (GC-MS) 从万能蒸烤箱加热的豆沙包中分离鉴定出 52 种、传统蒸笼加热 55 种、微波加热 54 种挥发性风味物质, 其成分类别主要包括醇类、酸类、酯类、醛类、酮酚类以及其他类化合物。综合以上指标, 充分显示传统蒸笼蒸制更适宜冷冻面团的加热, 该实验结果可为冷冻面团加热方式的选择与控制提供理论依据。

**关键词:** 豆沙包; 水分分布; 加热方式; 品质; 风味物质

文章编号: 1673-9078(2021)06-266-275

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.6.1122

## Effects of Heating Methods on Quality and Volatile Substance Contents of

## Frozen Red Bean Paste Buns

WANG Qiu-yu<sup>1</sup>, ZHANG Hai-feng<sup>1,2</sup>, ZHU Wen-zheng<sup>1,2</sup>, XUE Pan-pan<sup>1</sup>, SHA Wen-xuan<sup>1</sup>, SU Jia-min<sup>1</sup>,  
ZHOU Xiao-yan<sup>1,2</sup>

(1. School of Tourism and Cuisine, Yangzhou University, Yangzhou 225100, China)

(2. Huaiyang Cuisine Industrialization Engineering Center, Jiangsu Province, Yangzhou 225100, China)

**Abstract:** The effects of heating methods on the quality and volatile substance contents of frozen red bean paste buns were examined. Frozen red bean paste buns were heated using three methods, namely, steaming using a multifunction oven, steaming using a traditional food steamer, and microwave heating. Changes in quality parameters such as water content, texture, color, specific volume, heating characteristics, and volatile flavor substance contents of the heated red bean paste buns were determined. The results showed that heating methods had significant effects on the quality and relative contents of volatile flavor substances of frozen red bean paste buns ( $p < 0.05$ ). According to water content analysis, microwave heating had the smallest effect in the proton migration rate. Texture analysis revealed that heating using a traditional food steamer yielded the least hard and chewy buns.  $L^*$  values of the buns heated using microwave were the lowest whereas their  $a^*$  values were the highest. The specific volume of buns heated using a traditional food steamer was the largest, with the lowest water loss rate. In addition, buns heated using microwave had the highest pH values. Solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry assays identified 52, 55, and 54 types of volatile flavor substances from buns heated using the three methods. The identified volatile flavor substances were

引文格式:

王秋玉,章海风,朱文政,等.不同加热方式对冷冻豆沙包食用品质及挥发性物质的比较分析[J].现代食品科技,2021,37(6):266-275

WANG Qiu-yu, ZHANG Hai-feng, ZHU Wen-zheng, et al. Effects of heating methods on quality and volatile substance contents of frozen red bean paste buns [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(6): 266-275

收稿日期: 2020-12-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31701634); 四川省高等学校烹饪科学重点实验室开放课题 (PRKX201913)

作者简介: 王秋玉 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 营养与食品卫生

通讯作者: 周晓燕 (1964-), 男, 教授, 研究方向: 烹饪科学及烹饪工艺标准化

mainly alcohols, acids, esters, aldehydes, ketones, and phenols. The results further indicated that heating using a traditional food steamer was the most suitable method for frozen dough. These findings shall provide a theoretical basis for the selection and control of heating methods for frozen dough.

**Key words:** red bean paste bun; water content; heating method; quality; flavor substance

豆沙包是我国传统发酵面制品,也逐步成为中华美食文化的重要组成部分<sup>[1]</sup>。《清稗类钞》中记载:馒头,一曰馒首,屑面发酵,蒸熟隆起成圆形者,无馅,食时必以肴佐之,南方之所谓馒头者,亦屑面发酵蒸熟,隆起成圆形,然实为包子,包子者,宋已有之<sup>[2]</sup>。与馒头不同,豆沙包是以发酵面团包入豆沙馅心而制成的产品,豆沙中赖氨酸较高,与谷类搭配,可以发挥蛋白质的互补作用,提高了营养价值<sup>[3]</sup>。随着生活节奏的加快,冷冻食品等新的消费方式迅速增长,冷冻面团技术可以有效延长产品的货架期,保证产品的新鲜度,被食品企业广泛应用,并逐步取代传统手工业生产<sup>[4,5]</sup>。速冻面制品均需加热后才能食用,加热方式一般采用蒸汽复热、微波复热和蒸汽-微波复热<sup>[6]</sup>。国内外对于冷冻面制品复热的研究主要集中在微波加热方面,Mandala<sup>[7]</sup>等人研究新鲜和冷冻储存的面包在微波加热后的物理特性变化,王春霞<sup>[8]</sup>等人关于微波加热对冷冻馒头品质特性的影响做相关研究;蒸汽复热比较传统,简单方便,还可以为产品补偿水分,但目前有关蒸汽复热的研究也比较局限,丁志理<sup>[9]</sup>等学者研究发现汽蒸方法熟化的馒头更健康、安全;与传统蒸锅、蒸笼不同,王科瑜<sup>[10]</sup>等利用智能蒸箱分析操作参数对馒头的比容、质构和感官品质的影响等。

但是,目前关于加热方式对冷冻发酵面制品食用品质特性以及风味物质影响的相关研究较少,由于加热工艺会影响面制品的pH值、微生物、还原糖含量等的变化,从而也会影响产品的质构和风味<sup>[11]</sup>,所以本试验以冷冻豆沙包为研究对象,从水分分布、质构、色泽、比容、蒸煮特性以及挥发性风味物质等方面研究了万能蒸烤箱蒸制、传统蒸笼蒸制、微波加热三种加热方式对冷冻豆沙包的影响,从而优选出最佳加热方式,为冷冻发酵面制品在工业化生产中的应用提供理论依据和优选方案。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

金龙鱼麦芯粉(水分14.0%、蛋白质18.0%、淀粉70.21%、脂肪3%),益海嘉里粮油食品工业有限公司;耐高糖活性干酵母粉:乐斯福酵母上海有限公司;玫瑰细沙、绵白糖购于扬州市麦德龙超市。

### 1.2 仪器与设备

Panasonic 和面机:松下电器(中国)有限公司;DZM-180型电动压片机:海鸥电器有限公司;MDF-U53V(N)速冻冰箱:伊莱克斯股份有限公司;MDF.us3vfN1超低温冰箱:日本三洋公司;BS210S(1/10000)分析天平:北京赛多利斯天平有限公司;SPI8.S醒发箱:珠海三麦机械有限公司;TMS-PRO质构仪:美国FTC公司;AccuFat-1050磁共振分析仪:江苏麦格迈有限公司;3nH电脑色差仪:深圳市三恩时科技医学科技有限公司;雷磁pH计:上海仪电科学仪器股份有限公司;Carboxen TM/聚二甲基硅氧烷萃取头(75 μm)、57330-U手动固相萃取进样器,美国Supelco公司;Trace DSQ II气相色谱-质谱联用仪,美国Thermo公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.1.1 样品制备

将采用文献<sup>[12]</sup>方法所制作的豆沙包生坯迅速置-38℃的速冻机中速冻1h后转置于-18℃冷冻24h。

#### 1.1.2 加热处理

解冻处理:将冷冻包子取出置于醒发箱醒发解冻(温度38℃,相对湿度75%)。微波是一种由内向外的加热方式,通过产品内部分子之间的快速震动来获得能量,在此过程中会有水的参与,蒸汽的加热方式是由外向内的,通过水蒸气较强的穿透力来带给产品水分和能量<sup>[13]</sup>。蒸汽复热时,产品的表面温度上升最快,曲线最陡,从80℃升高到100℃需要3min左右<sup>[14]</sup>,所以两种蒸汽加热的方式如下:加热传统蒸笼加热:蒸笼置于煮沸的蒸锅上,将解冻后的豆沙包生坯蒸汽加热10min;万能蒸烤箱加热:将解冻后的豆沙包生坯置于温度100℃,蒸汽100%,加热10min;微波加热时,产品的表面温度上升较快,50s即达到了100℃,瓤和馅的温度也在60s时达到了100℃<sup>[14]</sup>,所以微波加热方法如下:将解冻后的豆沙包生坯置于微波炉专用蒸笼中,采用400W加热300s。将不同加热方式所得的豆沙包样品均置于室温下冷却30min后待测。

### 1.4 食用品质测定

### 1.4.1 水分分布与迁移情况

利用 LF-NMR 测定不同加热方式处理后豆沙包面团中的水分分布。将豆沙包样品用镊子去除外皮和馅料,准确称取 15 g 内部面团,用聚四氟乙烯带小心包裹后置于专用核磁管中,封口膜封口,放在恒温核磁磁场的射频线圈中,测每个面团样品的弛豫时间。采用 Onepulse 和 CPMG 脉冲序列测定样品中自旋-自旋弛豫时间  $T_2$ 。样品采集参数设置:接收增益 200,回波间隔=300  $\mu\text{s}$ ,采样点数 512,扫描次数 64,间隔时间 1000 ms,每个样品重复测定 3 次。

### 1.4.2 颜色测定

采用便携式色差仪测定豆沙包样品表皮的  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  值,色差仪经标准白板校正后,将色差仪测试镜头垂直置于待测样品表面,镜头紧扣样品表面,每个样品测定重复 6 次。

### 1.4.3 质构测定

将豆沙包样品用镊子去除表皮和馅料,用模具切成厚度为 10 mm,直径为 30 mm 的均匀薄片,取压制好的样品,在质地多面剖析 (TPA) 模式下,使用圆柱形 P35 探头,TPA 测试参数设定为:距离 20 mm,测前速率 2 mm/s,测试速率 1 mm/s,测试后速率 1 mm/s,压缩程度 60%,停留时间 3 s,每个样品测试 3 次。

### 1.4.4 pH 测定

将豆沙包样品用镊子去除外皮和馅料,准确称取 10 g 内部面团于烧杯中,加入 100 mL 去离子水,用匀质机打浆 60 s,均质后测量。

### 1.4.5 测定蒸煮品质测定

豆沙包的质量损失直接反映了不同加热方式过程中的失水率,豆沙包的体积采用油菜籽置换法测量,根据比容等于体积与质量之比求出包子比容。

## 1.5 挥发性风味物质测定

参考孙祥祥等<sup>[15]</sup>测定方法并稍作修改,豆沙包固相微萃取:取制备好的豆沙包内部面团 5 g 放置于萃取瓶中,样品高度不得超过瓶高的 1/2。萃取前,先将萃取头在气相色谱进样口老化 30 min。老化后,将其穿过密封好的顶空瓶中,在 60  $^{\circ}\text{C}$  恒温水浴中保温萃取 40 min 后,取出萃取头,拔出针头,并迅速插入气相色谱进样口,250  $^{\circ}\text{C}$  不分流模式下解吸挥发性成分 7 min。

GC 条件:色谱柱采用 DB-5MS 毛细管柱;程序升温:40  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 2 min,以 6  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升至 120  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 5 min;再以 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升至 250  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 8 min。进样口温度 250  $^{\circ}\text{C}$ ,载气为氦气;柱前压为 10 psi,

流速 1.2874 mL/min;不分流进样,溶剂延迟 1 min。

MS 条件:电子电离源;离子源温度 230  $^{\circ}\text{C}$ ;四极杆温度 150  $^{\circ}\text{C}$ ;电子能量 70 eV;发射电流 34.61  $\mu\text{A}$ ;倍增器电压 1235 V;接口温度 250  $^{\circ}\text{C}$ ;质量扫描范围 45~500 u。

## 1.6 数据处理

实验数据采用 Excel 2010、Origin 2017 和 SPSS 23.0 软件进行分析,实验结果数据以平均值 $\pm$ 标准差表示,以  $p < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与讨论

### 2.1 豆沙包食用品质分析

#### 2.1.1 不同加热方式对豆沙包面坯水分分布的影响

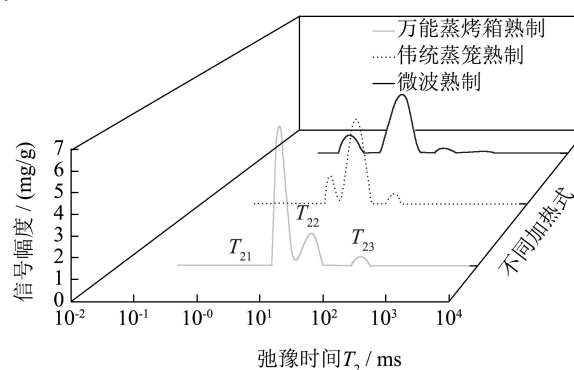


图1 豆沙包面团水分横向弛豫时间  $T_2$  反演图

Fig.1 Water inversion results of transverse relaxation times  $T_2$  in dough

图1显示了冷冻豆沙包在不同加热方式下的横向弛豫时间  $T_2$  分布图谱,3个峰分别表示3个水分状态: $T_{21}$ -强结合水、 $T_{22}$ -弱结合水、 $T_{23}$ -自由水。从图中可以清晰看出,3种加热方法对豆沙包面坯水分含量变化影响有显著差异 ( $p < 0.05$ ),微波加热的豆沙包出峰时间最早,说明微波加热的豆沙包质子迁移率的变化较小,水分流动性最弱,主要是由整体较低的水分含量决定的<sup>[16]</sup>,因为微波加热导致豆沙包水分含量迅速降低,水分流失严重,与林向阳<sup>[17]</sup>研究结果相一致;其次是传统蒸笼蒸制,可能是由于传统蒸笼在蒸制过程中提供的空气水分高于密闭的万能蒸烤箱<sup>[18]</sup>,所以传统蒸笼蒸制提高了豆沙包的保水性。因此,蒸汽加热的豆沙包水分较稳定,水分流失较少,而豆沙包在微波加热过程中水分损失较大,从而导致豆沙包的品质下降。

#### 2.1.2 不同加热方式对豆沙包色泽品质的影响

表1为不同加热方式对豆沙包  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  值的

影响。由表得知,不同加热方式的豆沙包色泽品质差别较大。其中万能蒸烤箱加热的豆沙包  $L^*$  值最高,达到 42.81,其次是传统蒸笼蒸制,微波加热的豆沙包样品最低;有研究表明蒸汽量对面团的色泽有显著影响,蒸汽量的增加会增加产品光泽度<sup>[19]</sup>,所以蒸制会提高豆沙包的亮度。微波加热的豆沙包  $a^*$  值,  $b^*$  值高于其它两组,万能蒸烤箱加热组居中,蒸汽加热组次之,这是因为微波热处理温度较高对  $a^*$  和  $b^*$  的影响更大,这与 Debonne<sup>[20]</sup> 等人的研究结论相一致。由此可见,传统蒸笼加热和万能蒸烤箱加热不仅能补充豆沙包的水分,其色泽品质也较为稳定。

表 1 不同加热方式对豆沙包色泽品质的影响

Table 1 Effect of different heating methods on steamed bread with minced red bean color quality

加热方式	$L^*$	$a^*$	$b^*$
万能蒸烤箱熟制	42.81±0.34 <sup>b</sup>	0.04±0.03 <sup>ab</sup>	6.94±0.16 <sup>a</sup>
传统蒸笼熟制	41.11±0.47 <sup>b</sup>	0.01±0.03 <sup>b</sup>	6.69±0.13 <sup>a</sup>
微波熟制	40.62±0.22 <sup>a</sup>	0.12±0.04 <sup>a</sup>	6.96±0.17 <sup>a</sup>

注: 同列字母不同表示差异显著 ( $p < 0.05$ ), 表 2 同。

### 2.1.3 不同加热方式对豆沙包质构特性和 pH 的影响

表 2 是冷冻豆沙包在不同加热方式下的质构特性

表 2 不同加热方式对豆沙包质构特性和 pH 的影响

Table 2 Effects of different heating methods on steamed bread with minced red bean texture and pH

加热方式	硬度/N	粘附性/mJ	内聚性/Ratio	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mJ	pH
万能蒸烤箱熟制	21.39±0.07 <sup>b</sup>	1.01±0.04 <sup>a</sup>	0.75±0.02 <sup>a</sup>	23.23±0.26 <sup>b</sup>	16.04±0.32 <sup>b</sup>	196.8±1.36 <sup>a</sup>	6.23±0.01 <sup>a</sup>
传统蒸笼熟制	19.14±0.34 <sup>c</sup>	1.03±0.01 <sup>a</sup>	0.74±0.01 <sup>a</sup>	21.28±0.41 <sup>c</sup>	14.15±0.03 <sup>c</sup>	204.49±3.18 <sup>c</sup>	6.19±0.01 <sup>ab</sup>
微波熟制	26.25±0.17 <sup>a</sup>	0.65±0.04 <sup>b</sup>	0.7±0.02 <sup>a</sup>	24.53±0.26 <sup>a</sup>	18.37±0.33 <sup>a</sup>	195.81±2.31 <sup>b</sup>	6.25±0.02 <sup>c</sup>

### 2.1.4 不同加热方式对豆沙包蒸煮品质的影响

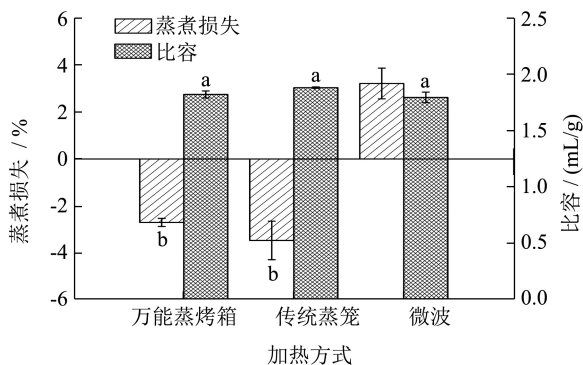


图 2 不同加热方式对豆沙包蒸煮特性的影响

Fig.2 Effects of different heating methods on steamed bread with minced red bean cooking characteristics

注: 不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

图 2 是冷冻豆沙包在不同加热方式下的蒸煮品质特性,从图可知,加热方式对豆沙包的蒸煮损失影响显著 ( $p < 0.05$ ),传统蒸笼加热组失水率最小,其次是

情况。从表 2 得知,加热方式对豆沙包的硬度、粘性、弹性、胶粘性、咀嚼性影响显著 ( $p < 0.05$ ),尤其硬度和咀嚼性差异明显,且硬度和咀嚼性呈极显著正相关 ( $r = 0.973$ ),不同加热方式处理的豆沙包的硬度和咀嚼性之间的关系如下所示:微波加热组 > 万能蒸烤箱加热组 > 传统蒸笼加热组。微波加热的豆沙包硬度和咀嚼性较高可能时因为微波加热使样品内部水分分布不均匀,并且严重失水和过热效应导致豆沙包的硬度和咀嚼性均增大<sup>[7,8]</sup>;另外蒸制过程中热蒸汽与样品直接接触,温度和水分含量增加最快,由于热传导的作用,豆沙包的馅心和面坯水分依次升高,所以使传统蒸笼蒸制和万能蒸烤箱蒸制的豆沙包有较低的硬度和咀嚼性,这与李慧芳<sup>[13]</sup>研究冷冻馒头在复蒸过程中质构品质变化研究结果相一致。

由表可知,加热方式对豆沙包的 pH 值影响显著 ( $p < 0.05$ ),微波加热组的 pH 值 > 万能蒸烤箱加热组 > 传统蒸笼加热组,说明面团的 pH 值与馒头的硬度、咀嚼性呈显著正相关,这与 YAN<sup>[21]</sup> 等人通过研究得出结论相似;此外,万能蒸烤箱加热组与传统蒸笼加热组之间的差异小于微波加热组,这与水蒸气对 pH 值无影响有关<sup>[22]</sup>。

万能蒸烤箱加热组,并且蒸后质量大于蒸前质量,这是由于蒸汽加热主要以对流和热传导为主,蒸制过程中豆沙包表面水分含量下降,水蒸气在核心区凝结,从而增加了水分含量<sup>[23]</sup>;由图也可看出,蒸汽处理的两组豆沙包比容相对较大,是因为随着蒸汽的作用,使豆沙包孔洞增多、变大,最终蒸制出的产品体积也会相应变大,因此比容也较大<sup>[10]</sup>。微波加热组失水率最大,这与豆沙包的水分状态的研究结果相吻合,是因为微波加热水分流失较大造成的,不仅如此,Mandala<sup>[24]</sup> 等人研究还发现样品在微波处理后,不仅水分损失,并且比体积也会减小。

### 2.2 不同加热方式对豆沙包挥发性风味物质的变化

表 3 是冷冻豆沙包在不同加热方式下产生的挥发性风味成分通过 NIST08.L 谱库检索和数据分析后计

算出各种风味物质成分的相对含量,表4是不同加热方式下豆沙包风味成分种类及相对含量。由表3和表4可知,不同加热方式制作的豆沙包样品的挥发性物质数量及相对含量都存在一定差异,说明不同加热方式制作的豆沙包挥发性风味成分各有特点。本研究利用GC-MS技术分析从万能蒸烤箱加热组中分析鉴定出52种挥发性风味成分,包括醇类17种(68.87%)、酸类7种(1.54%)、酯类7种(2.08%)、醛类10种(21.67%)、酮类2种(0.62%)、其他类9种(4.13%);从传统蒸笼蒸制的豆沙包中分析鉴定出55种挥发性风味成分,包括醇类16种(71.04%)、酸类6种(1.61%)、酯类6种(1.96%)、醛类14种(18.77%)、酮类4种(0.87%)、其他类9种(4.42%);从微波加热的豆沙包中分析鉴定出56种挥发性风味成分,包括醇类16种(51.39%)、酸类12种(12.69%)、酯类6种(3.61%)、醛类12种(19.68%)、酮类3种(4.31%)、其他类5种(5.52%)。

由表3对比分析可知,豆沙包在不同方式加热后产生的挥发性风味物质主要有醇类、酸类、酯类、醛类、酮类和其他类等化合物。与张亭妍<sup>[25]</sup>等研究学者对馒头相关研究一致,由于一些芳香类物质阈值的不同和各类物质相对物质含量的高低不同,致使产品的风味产生差异,同理,不同加热方式下的豆沙包之间的风味也存在差异。三种加热方式处理的豆沙包中共有挥发性物质为18种,其相对物质含量分别占总量的81.53%(万能蒸烤箱加热组)、59.02%(传统蒸笼加热组)、62.46%(微波加热组);其中万能蒸烤箱加热组与传统蒸笼加热组中共有的挥发性物质为31种,其相对物质含量分别占总量的92.58%、67.86%;万能蒸烤箱加热组与微波加热组共有的挥发性物质为26种,其相对物质含量分别占总量的85.17%、65.06%;传统蒸笼加热组与微波加热组共有的挥发性物质为27种,其相对物质含量分别占总量的86.10%、80.85%;说明不同加热方式的豆沙包共同含有的一部分挥发性物质相对含量也有差别。

醇类是发酵面制品的主要香气成分,能够赋予产品特殊香气,它们对发酵面制品的风味有很大贡献<sup>[26]</sup>。由表可知,传统蒸笼加热组的醇类物质相对含量较其他两种加热方式组高,三组加热方式的豆沙包主要含有的醇类有乙醇、苯乙醇、正戊醇、2-甲基-1-十六烷醇、2-(十八氧基)乙醇、2-己基癸醇、异戊醇、S(-)-2-甲基-1-丁醇。两组蒸制加热的豆沙包乙醇的相对含量高于微波加热组,说明蒸制使豆沙包酒香味浓郁,具有发酵产品特有的风味<sup>[27]</sup>;苯乙醇普遍存在于发酵食品中,具有新鲜面包、甜玫瑰的香味<sup>[28]</sup>,而微

波加热的豆沙包苯乙醇相对含量较高。

酸类物质是发酵的产物,风味贡献率较小<sup>[26]</sup>。微波加热组酸类物质最多,其次是万能蒸烤箱加热组,传统蒸笼加热组的最少。在三种加热方式下共同检测出了微量芥酸、3-羟基月桂酸、顺式-11-二十碳烯以及少量的亚油酸。

酯类主要是由酸和醇的酯化反应产生的,也是发酵馒头的一种重要的芳香成分,含有多种水果香味,其中内酯有更强烈的香味<sup>[29]</sup>,在传统蒸笼加热组和微波加热组检测出内酯物质;在万能蒸烤箱组和传统蒸笼组检出了辛酸乙酯,这种物质具有玫瑰和橙子的白兰地和水果香味,浓度较低<sup>[14]</sup>;辛乙烯二醇单正十二烷基酯是在三种加热方式中检测出共同的风味物质。

醛是豆沙包风味物质种仅次于醇类的第二大化合物,可以使食品的香气更加醇厚。三组样品中壬醛的相对含量最高,通常表现出脂肪和水果的香味,也有刺激性的辛辣气味,包括令人愉快的新鲜和玫瑰香味<sup>[27]</sup>,其他共有的正辛醛、正癸醛和正己醛的相对含量也较高,这些化合物都有利于豆沙包芳香成分的形成。

酮类物质的香气阈值相对较低,微波加热的豆沙包酮类物质的相对含量最高(4.08%),呋喃酮也在传统蒸笼蒸制和微波加热的豆沙包中检测出来,相关研究表明,呋喃酮存在于烤面包、咖啡和欧芹中,具有相对较低的阈值,具有浓烈烘焙焦糖香味和蔬果香<sup>[30]</sup>。只在万能蒸烤箱加热组和传统蒸笼加热组中检测到2种酚类物质种类,总共相对物质含量分别为0.40%、0.24%。

其他类中,微波加热组仅检测出烷类化合物;而在万能蒸烤箱加热组检测出6种烷类、2种烯类和1种炔类;与万能蒸烤箱加热组不同,除了烷、炔、烯类外,还在传统蒸笼加热组检测到了相对较高的2-正戊基呋喃(1.07%),表明呋喃对传统蒸制的豆沙包的香气也有一定的影响。

三种加热方法导致豆沙包挥发性风味物质的差异与加热时热传导方式不同。随着蒸制时间的延长,得到的挥发性成分的种类及数量明显增多,是因为蒸制是利用水沸腾时的饱和水蒸汽加热食物,由于蒸制的器皿中水蒸汽能够使产品保持良好的湿度,因而能够较好的保持良好的风味挥发物质,这与沈铭聪<sup>[31]</sup>等人研究结果一致。相比两种蒸汽加热,微波加热的豆沙包检测出较多的风味物质,可能是由于微波加热受热由里向外,产品的蛋白质分解产生的氨基酸和还原型糖充分接触,因此美拉德反应比较剧烈,风味比较丰富<sup>[32]</sup>。不同加热方式的风味物质形成机理的研究也有待进一步讨论。

表3 不同加热方式豆沙包中风味物质 GC-MS 分析结果

Table 3 Results of GC-MS analysis of flavor substances in steamed bread with minced red bean with different heating methods

化合物类别	保留时间/min	化学式	化合物	相对含量/%			
				万能蒸烤箱熟制	传统蒸笼熟制	微波熟制	
醇类	1.76	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	乙醇	34.48	33.12	17.55	
	4.66	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	正戊醇	16.43	0.12	0.70	
	13.96	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	苯乙醇	7.34	6.90	14.67	
	19.38	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub> O	2-甲基-1-十六烷醇	3.30	2.51	10.17	
	7.26	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	正己醇	3.13	3.95	-	
	22.01	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	2-(十八氧基)乙醇	1.41	0.77	0.31	
	10.29	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	(+)-新孟醇	1.13	-	0.16	
	3.65	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	1,2,3-丁三醇	0.73	-	-	
	11.45	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	2-乙基己醇	0.70	-	-	
	15.57	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> O	2-己基癸醇	0.32	0.25	0.43	
	4.48	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	2-甲基丁醇	0.30	0.52	-	
	4.80	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	异戊醇	0.22	0.20	0.12	
	23.10	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	(-)-蓝桉醇	0.19	-	0.39	
	34.31	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> S	叔十六硫醇	0.08	-	-	
	39.32	C <sub>30</sub> H <sub>50</sub> O <sub>2</sub>	高根二醇	0.05	-	0.23	
	6.56	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	1,1-环己二甲醇	0.05	-	-	
	4.75	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	S(-)-2-甲基-1-丁醇	0.05	0.05	0.62	
	4.22	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	1-戊醇	-	24.11	8.89	
	5.77	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub> O	十六烷醇	-	0.32	-	
	11.83	C <sub>12</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	5-苄氧基-1-戊醇	-	0.30	-	
	23.09	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	(-)-异长叶醇	-	0.12	-	
	28.02	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	3,4,5-三甲氧基苄醇	-	0.07	-	
	8.20	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	2,3-二甲基环己醇	-	-	0.27	
	20.32	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O	植物醇	-	-	0.23	
	28.02	C <sub>14</sub> H <sub>14</sub> O	1-(4-联苯基)乙醇	-	-	0.23	
	21.53	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O	7-十六-1-醇	-	-	0.12	
	酸类	26.94	C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	芥酸	0.30	0.17	1.82
		15.38	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>3</sub>	3-羟基月桂酸	0.30	0.20	0.47
		34.27	C <sub>20</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	顺式-11-二十碳烯酸	0.27	0.15	0.66
		24.02	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	十八烷酸	0.27	-	-
15.38		C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	反式-13-十八碳烯酸	0.27	-	0.82	
11.30		C <sub>18</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	10,12-二十八二炔酸	0.08	-	-	
23.72		C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	棕榈油酸	0.05	-	0.50	
3.71		C <sub>9</sub> H <sub>17</sub> NO <sub>7</sub>	胞壁酸	-	0.94	-	
19.25		C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	DL-高胱氨酸	-	0.07	-	
32.69		C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> C <sub>12</sub> NO <sub>4</sub> S	2,4-二氯-5-磺酰胺基苯甲酸	-	0.07	-	
2.44		C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	甲氧基乙酸	-	-	2.68	
6.83		C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	2,4-戊二烯酸	-	-	1.82	
21.67		C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	脱氢乙酸	-	-	1.13	
27.07		C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>5</sub> O <sub>7</sub> P	腺苷-3'-磷酸	-	-	0.31	

转下页

接上页						
	19.23	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub> S	同型半胱氨酸	-	-	0.85
	30.52	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub>	癸二酸	-	-	0.16
	31.37	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	花生酸	-	-	1.49
	15.69	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	辛酸乙酯	0.76	0.37	-
	11.84	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	胍基甲酸苄酯	0.46	-	-
	16.36	C <sub>28</sub> H <sub>58</sub> O <sub>9</sub>	辛乙烯二醇单正十二烷基酯	0.38	0.15	0.16
	17.34	C <sub>42</sub> H <sub>82</sub> O <sub>4</sub> S	3,3'-硫代二丙酸双十八酯	0.19	0.17	-
	21.58	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	癸酸乙酯	0.16	-	-
	17.44	C <sub>14</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	己酸-2-苯乙酯	0.08	-	-
酯类	21.52	C <sub>20</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	亚油酸乙酯	0.05	-	-
	16.70	C <sub>24</sub> H <sub>32</sub> O <sub>4</sub> S	螺内酯	-	1.09	1.98
	17.65	C <sub>21</sub> H <sub>42</sub> O <sub>4</sub>	2-十八烷酸单甘油酯	-	0.12	0.58
	17.44	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> N <sub>4</sub> S <sub>8</sub> Se	辛酸苯乙酯	-	0.05	-
	39.31	C <sub>41</sub> H <sub>72</sub> O <sub>2</sub>	胆甾烯基豆蔻酸酯	-	-	0.35
	27.45	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	癸酸酯	-	-	0.27
	15.68	C <sub>13</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	10-十一烯酸乙酯	-	-	0.27
	13.38	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	壬醛	13.78	11.97	10.52
	5.42	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	正己醛	2.95	1.46	-
	7.97	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	庚醛	1.08	-	0.31
	14.81	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	2-壬烯醛	0.95	0.42	-
	9.62	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	苯甲醛	0.84	0.67	-
	12.18	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	2-辛烯醛	0.54	0.42	-
	10.71	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	正辛醛	0.49	0.45	0.47
	13.02	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O	甲基壬乙醛	0.41	0.27	-
	15.99	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	正癸醛	0.35	0.27	0.58
醛类	22.24	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	7-甲氧基-3,7-二甲基辛醛	0.30	-	0.50
	7.98	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	5-甲基-己醛	-	1.14	-
	11.46	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> O	2-十一烯醛	-	0.57	1.51
	11.30	C <sub>20</sub> H <sub>28</sub> O	视黄醛	-	0.10	0.16
	25.40	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O	2-甲基-4-(2,2,6-三甲基-1-环己烯基)-2-丁烯醛	-	0.05	-
	5.38	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	己醛	-	-	2.64
	6.17	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	糠醛	-	-	1.59
	2.98	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	3-甲氧基丙醛	-	-	0.43
	24.65	C <sub>14</sub> H <sub>26</sub> O	2,6,10-三甲基-9-烯-十一醛	-	-	0.08
	25.20	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	2,4-双(1,1-二甲乙基)-5-甲基苯酚	0.24	0.12	-
	27.07	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O	对特辛基苯酚	0.16	0.12	-
酮酚类	5.85	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	2,6-二叔丁基对苯二酚	-	0.35	0.93
	21.59	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	5-十四烷基二氢-2(3H)-咪喃酮	-	0.07	0.08
	3.64	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	3-羟基-2-丁酮	-	-	3.07
	15.79	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	正十二烷	1.77	1.39	2.60
其他类	21.52	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	正十六烷	0.57	-	0.39
	22.80	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	十四烷	0.46	0.27	-

转下页

接上页						
12.59	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	壬烯	0.46	-	-	
15.03	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	3-甲基十一烷	0.35	0.35	0.62	
14.72	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub>	1-十六烷	0.30	0.20	-	
9.45	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	1,2-环氧基环庚烷	0.27	-	-	
24.76	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub>	A-姜黄烯	0.08	-	-	
12.70	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	1-十二烯	0.08	-	-	
10.34	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	2-正戊基呋喃	-	1.07	-	
7.71	C <sub>10</sub> H <sub>13</sub> N	氮杂环丙烷	-	0.60	-	
19.91	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	正十五烷	-	0.57	1.86	
12.04	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	癸烷	-	0.10	0.27	
23.28	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	(+)- $\beta$ -柏木烯	-	0.07	-	

表4 不同加热方式豆沙包中风味物质的种类和相对含量

Table 4 Types and relative contents of flavor components of steamed bread with minced red bean in different heating methods

加热方式		醇类	酸类	脂类	醛类	酮酚类	其他
万能蒸烤箱熟制	物质含量%	68.87	1.54	2.08	21.67	0.62	4.13
	物质种类	17	7	7	10	2	9
传统蒸笼熟制	物质含量%	71.04	1.61	1.96	18.77	0.87	4.42
	物质种类	16	6	6	14	4	9
微波熟制	物质含量%	51.39	12.69	3.61	19.68	4.31	5.52
	物质种类	16	12	6	12	3	5

### 3 结论

本文研究了不同加热方式对豆沙包的水分分布、色泽、质构特性、pH、蒸煮品质和挥发性风味成分的影响。微波加热显著增加了豆沙包的失水率( $p < 0.05$ ),使内部水分不易流动;从色泽品质、质构特性和蒸煮品质可知,传统蒸笼加热组在亮度、白度上优于其他两种加热方式组,并且有效降低了豆沙包的硬度和咀嚼性,其蒸煮品质也较稳定;实验进一步利用SPME-GC-MS对豆沙包的挥发性风味物质进行萃取和解析检测,分别检测到52种(万能蒸烤箱加热)、55种(传统蒸笼加热)、54种(微波加热)挥发性风味物质,根据对不同类别的挥发性风味物质进行定性分析,发现醇类、醛类、酯类是豆沙包主要挥发性物质。三种加热方式处理的豆沙包风味物质种类和相对含量差异明显,使得样品风味特性及含量存在差异。传统蒸笼加热组与其他两组相比醇类相对含量最丰富,达到71.04%,醛类的种类最多,达14种。同时,除了酸类物质外,万能蒸烤箱加热组和传统蒸笼加热组的豆沙包增加了多种微波加热组不存在的香气物质,这也是蒸汽热传导优于微波热辐射加热豆沙包的重要因素。与宋琛琛<sup>[3]</sup>等研究结果不同,豆沙包的风味物质的种类(均超过50种)及相对含量均大于馒头挥发性物质,可能是豆沙包的面团部分在加热过程中,

豆沙馅心的挥发性风味物质吸附在面团内,导致豆沙包的风味物质均大于6种不同类型的馒头挥发性物质。本文主要探讨了不同加热方式对冷冻豆沙包食用品质和挥发性风味物质的影响,研究结果显示蒸汽制作更适宜冷冻面团的加热,以期对冷冻豆沙包工业化产品加热方式的精准调控提供理论和理论指导。

### 参考文献

- [1] 罗杰,王凤成,胡杰.中华发面包子的研究进展[J].粮食与油脂,2020,33(6):15-18  
LUO Jie, WANG Feng-cheng, HU Jie. Research progress on Chinese steamed stuffed bun [J]. Cereals & Oils, 2020, 33(6): 15-18
- [2] 徐珂.清稗类钞[M].中华书局,1986,3:89  
XU Ke. Qing Barnyard Banknotes [M]. Zhonghua Book Company, 1986, 3: 89
- [3] 武晓娟,薛文通,王小东,等.红豆沙加工工艺及功能特性研究进展[J].食品工业科技,2011,32(3):453-455  
WU Xiao-juan, XUE Wen-tong, WANG Xiao-dong, et al. Research progress on processing and functional properties of red bean paste [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(3): 453-455
- [4] Luo W, Sun D W, Zhu Z, et al. Improving freeze tolerance of yeast and dough properties for enhancing frozen dough



- quality - A review of effective methods [J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 72: 25-33
- [5] James C, Purnellg, James S J. A review of novel and innovative food freezing technologies [J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(8): 1616-1634
- [6] 刘艳芳.冷冻、贮藏和复热对广式莲蓉包品质的影响研究[D].广州:华南理工大学,2015  
LIU Yan-fang. Study on the effects of freezing, storage and reheating on the quality of Cantonese lotus-seed-paste bun [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015
- [7] Mandala I G. Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(3): 291-300
- [8] 王春霞,周国燕.微波加热对冷冻馒头品质特性的影响[J].食品科学,2013,34(3):11-15  
WANG Chun-xia, ZHOU Guo-yan. Influence of microwave heating on quality characteristics of frozen steamed breads [J]. Food Science, 2013, 34(3): 11-15
- [9] 丁志理,刘长虹,毋梦竹,等.馒头蒸制过程中淀粉性质变化研究[J].食品工业,2018,39(11):108-112  
DING Zhi-li, LIU Chang-hong, WU Meng-zhu, et al. Study on the change of starch properties during steaming process of steamed bread [J]. Food Industry, 2018, 39(11): 108-112
- [10] 王科瑜,王凤丽,杨宏旭,等.基于智能蒸箱的馒头发酵和蒸制时间的优化[J].食品研究与开发,2019,40(4):7-13  
WANG Ke-yu, WANG Feng-li, YANG Hong-xu, et al. Optimization of fermentation and steaming time of steamed bread based on intelligent steamer [J]. Food Research and Development, 2019, 40(4): 7-13
- [11] 何松,刘长虹,左锦静.馒头蒸制过程中 pH 值、微生物、还原糖含量的变化[J].食品与机械,2004,3:23-24  
HE Song, LIU Chang-hong, ZUO Jin-jing. Changes of pH value, microorganism and reducing sugar content in steamed bread during steaming [J]. Food and Machinery, 2004, 3: 23-24
- [12] 朱在勤,崔慧.扬州包子蒸制工艺研究[J].扬州大学烹饪学报,2014,31(2):14-18  
ZHU Zai-qin, CUI Hui. Study on steaming technology of Yangzhou steamed bread [J]. Journal of cuisine of Yangzhou University, 2014, 31(2): 14-18
- [13] 韩文芳,王欢欢,李江涛,等.复热方式对冷冻馒头质构和消化特性的影响[J].中国粮油学报,2013,28(4): 93-96  
Han Wen-fang, Wang Huan-huan, Li Jiang-tao, et al. Influences of different reheating methods on the texture and digestion properties of frozen steamed bread [J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2013, 28(4): 93-96
- [14] 李慧芳.冷冻馒头在贮藏和复蒸过程中的品质变化研究[D].郑州:河南工业大学,2019  
LI Hui-fang. Study on the change of quality of frozen steamed bread during storage and re-steaming process [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2019
- [15] 孙祥祥,刘长虹,张萌,等.酵母与酵子及其制作馒头挥发性物质分析[J].中国酿造,2018,37(12):186-191  
SUN Xiang-xiang, LIU Chang-hong, ZHANG Meng, et al. Analysis of volatile substances in yeast, Jiaozi and Mantou made by yeast and Jiaozi [J]. China Brewing, 2018, 37(12): 186-191
- [16] Derde L J, Gomand S V, Courtin C M, et al. Moisture distribution during conventional or electrical resistance oven baking of bread dough and subsequent storage [J]. J Agric Food Chem, 2014, 62(27): 6445-6453
- [17] 林向阳,何承云,阮榕生,等.MRI 研究冷冻馒头微波复热过程水分的迁移变化[J].食品科学,2005,8:82-86  
LIN Xiang-yang, HE Cheng-yun, RUAN Rong-sheng, et al. Studies of water mobility in frozen steamed bread under microwave reheating using magnetic resonance imaging [J]. Food Science, 2005, 8: 82-86
- [18] Sheng X, Ma Z, Li X, et al. Effect of water migration on the thermal-vacuum packaged steamed buns under room temperature storage [J]. Journal of Cereal Science, 2016, 72: 117-123
- [19] Altamirano-fortoul R, Le-bail A, Chevallier S, et al. Effect of the amount of steam during baking on bread crust features and water diffusion [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 108(1): 128-134
- [20] Debonne E, Van Bockstaele F, Philips E, et al. Impact of par-baking and storage conditions on the quality of par-baked and fully baked bread [J]. LWT, 2017, 78: 16-22
- [21] Yan B, Yang H, Wu Y, et al. Quality enhancement mechanism of alkali-free Chinese northern steamed bread by sourdough acidification [J]. Molecules, 2020, 25(3): 726
- [22] Debonne E, Van Bockstaele F, Van Driessche M, et al. Impact of par-baking and packaging on the microbial quality of par-baked wheat and sourdough bread [J]. Food Control, 2018, 91: 12-19
- [23] Huang S R, Yang J I, Lee Y C. Interactions of heat and mass transfer in steam reheating of starchy foods [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 114(2): 174-182
- [24] Mandala Ig. Physical properties of fresh and frozen stored,

- microwave-reheated breads, containing hydrocolloids [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(3): 291-300
- [25] 张亭妍,王宏雁,刘钟栋.酵母和酵子馒头的感官及风味物质 GC-MS 分析[J].中国酿造,2020,39(6):204-208  
ZHANG Ting-yan, WANG Hong-yan, LIU Zhong-dong. Analysis of sensory and flavor components of Mantou (steamed bread) made by yeast and Jiaozi by GC-MS [J]. China Brewing, 2020, 39(6): 204-208
- [26] 刘晨,孙庆申,吴桐,等.3 种不同发酵剂馒头风味物质比较分析[J].食品科学,2015,36(10):150-153  
LIU Chen, SUN Qing-shen, WU Tong, et al. Comparative analysis of flavor compounds in steamed breads made with three different starter cultures [J]. Food Science, 2015, 36(10): 150-153
- [27] 燕雯,张正茂,刘拉平.顶空固相微萃取.气质联用分析小麦馒头制作过程中的挥发性成分变化[J].食品科学,2012,33(12):254-258  
YAN Wen, ZHANG Zheng-mao, LIU La-ping. Headspace solid phase microextraction. Analysis of volatile components in wheat steamed bread by GC-MS [J]. Food Science, 2012, 33(12): 254-258
- [28] Oshimi S, Zaima K, Matsuno Y, et al. Studies on the constituents from the fruits of *Phaleria macrocarpa* [J]. J Nat Med, 2008, 62(2): 207-210
- [29] Fan H, Zheng X, Ai Z, et al. Analysis of volatile aroma components from Mantou fermented by different starters [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(6): e13627.1-e13627.8
- [30] Pico J, Bernal J, Gomez M. Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: a review [J]. Food Res Int, 2015, 75: 200-215
- [31] 沈铭聪,周名洋,孙杨赢,等.不同加热方法对盐水鹅食用品质的影响[J].食品工业科技,2019,40(11):63-69,78  
SHEN Ming-cong, ZHOU Ming-yang, SUN Yang-ying, et al. Effects of different heating methods on edible quality of salted goose [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 63-69, 78
- [32] 王榛,陈雷,潘超,等.不同熟化方法对紫色马铃薯挥发性风味物质形成的影响[J].中国粮油学报,2017,32(6):128-133  
WANG Zhen, CHEN Lei, PAN Chao, et al. The effect of different cooking methods on volatile compounds of purple potato [J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2017, 32(6): 128-133
- [33] 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  
SONG Chen-chen, HAN Xiao-xian, ZHANG Xin-ge, et al. Analysis of volatile components in the steamed bread made with mixed fermenters and flour with different extraction rates [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition) 2015, 36(5): 7-13

---

(上接第 250 页)

- [28] 陈华,熊善柏,孙辉.仪器分析方法在小麦粉馒头感官评价中的应用[J].粮油食品科技,2012,20(4):31-34  
CHEN Hua, XIONG Shan-bai, SUN Hui. Application of instrumental analysis method in sensory evaluation of wheat flour and steamed bread [J]. Cereals, Oils and Food Science and Technology, 2012, 20(4): 31-34
- [29] 任凯.豆腐的物性评价模型构建及感官品质优化研究[D].南昌:南昌大学,2019  
REN Kai. Construction of tofu physical property evaluation model and optimization of sensory quality [D]. Nanchang: Nanchang University, 2019
- [30] 孟庆虹,张守文,关海涛,等.保鲜米饭工业化关键技术研究进展[J].食品工业科技,2018,39(9):342-346  
MENG Qing-hong, ZHANG Shou-wen, GUAN Hai-tao, et al. Research progress on key technologies of industrialization of fresh-keeping rice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(9): 342-346
- [31] 李金霞.豆沙馅料理化检测中的数据质量保证分析[J].科技展望,2015,25(26):269  
LI Jin-xia. Analysis of data quality assurance in the testing of bean paste filling [J]. Science and Technology Outlook, 2015, 25(26): 269