

# 小麦粉出粉率对馒头品质及挥发性物质的影响

王才才, 王晓曦, 马森, 陈成, 王瑞, 范玲

(河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450001)

**摘要:** 为了研究小麦粉出粉率对馒头品质及挥发性物质的影响, 采用不同出粉率小麦粉为原料, 研究出粉率与馒头品质及其挥发性化合物的关系, 为深入研究提供依据。结果表明: 出粉率为 35%~70%时, 馒头的硬度、凝聚性和咀嚼性等无显著差异性, 出粉率为 80%~97%时, 随着出粉率的增加, 馒头硬度、胶黏性、咀嚼性显著增加, 弹性、凝聚性、回复性显著下降。电子鼻检测结果显示, 不同出粉率小麦粉馒头中挥发性物质存在差异, 在 PA/2、T40/1、P10/2 传感器上的响应强度差异显著, 采用电子鼻系统可以区分出粉率>70%和出粉率≤70%的馒头样品。采用固相微萃取和气相色谱质谱联用的方法, 从不同出粉率小麦粉馒头中共检测到 59 种化合物, 其中醇类 9 种, 醛类 9 种, 呋喃类 2 种, 酮类 2 种, 酯类 6 种, 苯类 3 种, 烷烃类 28 种。随着出粉率增加, 馒头挥发性化合物种类增加。不同出粉率小麦粉馒头中醇类物质含量最高 (52.52%~65.79%), 其次为醛类。

**关键词:** 出粉率; 馒头; 电子鼻; 挥发性化合物

文章编号: 1673-9078(2016)10-167-174

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.10.026

## Effect of Different Flour Yields on the Quality and Volatile Components in Steamed Bread

WANG Cai-cai, WANG Xiao-xi, MA Sen, CHEN Cheng, WANG Rui, FAN Ling

(College of Grain and Food, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** The aim of this study was to investigate the effect of different flour yields on the quality and volatile components of steamed bread. Wheat flours with different flour yields were used as raw materials to investigate the relationship of flour yield with the qualities and volatile components in steamed bread to provide a basis for further analysis. The hardness, cohesiveness, and gumminess of steamed bread exhibited no significant differences when the flour yield was 35~70%. When the flour yield was 80~97%, the hardness, gumminess, and chewiness of steamed bread increased significantly, while springiness, cohesiveness, and resilience decreased significantly with increasing flour yield. The electronic nose (E-nose) results revealed significant differences in the volatile components among the steamed breads with different flour yields. The sensors PA/2, T40/1 and P10/2 exhibited dramatic differences in the response intensity, and the steamed breads with flour yields of >70% and ≤70% could be distinguished using the E-nose system. A total of 59 kinds of volatile compounds were identified in wheat steamed bread using solid-phase microextraction-gas chromatography mass spectrometry, including nine alcohols, nine aldehydes, two furans, two ketones, six esters, three benzene compounds, and 28 hydrocarbons. With increasing flour yield, the types of volatile components in wheat steamed bread increased. The alcohol content (52.52~65.79%) was the highest in wheat steamed bread, followed by aldehydes.

**Key words:** flour yield; steamed bread; electronic nose; volatile components

近年来, 市场上出现片面追求小麦粉加工精度的现象, 然而长期以原料为高精度小麦粉的面制品为主食, 可能会造成对一些营养素的缺乏。小麦皮层中含有丰富的纤维素, 蛋白质, 维生素, 矿物质及抗氧化

收稿日期: 2015-11-09

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31571873, 31301594); 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-03-01); 河南省科技成果转化计划 (农业领域) 项目 (142201110030); 河南工业大学“省属高校基本科研业务费专项资金”项目 (2014YWGQ02)

作者简介: 王才才 (1990-), 女, 在读硕士, 研究方向: 谷物化学与品质

通讯作者: 王晓曦 (1963-), 男, 教授, 研究方向: 谷物化学与品质

剂等<sup>[1-3]</sup>, 但在加工过程中, 往往大部分作为副产物而分离出来。有研究表明, 出粉率为 35%~70%的小麦粉中微量元素均保持在较低的稳定状态, 出粉率进一步增加, 各种元素含量明显上升<sup>[4]</sup>。即小麦粉出粉率越高, 所含各种营养素含量越全面。但是, 这些小麦粉的食用性及面制品的品质, 特别是香味成分需要进一步研究。面制品香味与面制品中挥发性化合物之间存在很大的关系, 因此, 测定面制品中挥发性化合物可以为面制品香味的研究提供依据。

食品中风味物质的提取方法主要有顶空分析法、固相萃取法、固相微萃取法、蒸馏法、溶剂辅助风味

蒸发法及超临界流体萃取法。食品中风味物质的检测方法主要有气相色谱、气相色谱质谱联用法、高效液相色谱、液相色谱-质谱联用法、电子鼻技术及气相色谱-嗅闻法等。固相微萃取技术是一种集采样、萃取、浓缩及进样于一体的无溶剂样品微萃取技术,此方法操作简单,且无污染。与气相色谱-质谱联用,可用于分析痕量挥发性化合物,目前已被广泛应用于检测不同食品挥发性化合物。电子鼻技术因为其客观性强,不易受人为因素的影响,且检测速度快,易操作,样品不需要前处理等优点,也广泛的应用于食品行业中。

本文通过测定面粉粉质特性,馒头质构,采用电子鼻对馒头整体风味进行分析,并采用固相微萃取及气相色谱-质谱联用技术分析小麦粉及馒头中挥发性化合物,为进一步研究小麦粉馒头香味提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

小麦粉:郑州金苑面业有限公司生产车间各系统面粉;高活性干酵母:安琪酵母股份有限公司。

### 1.2 主要仪器设备

DT500A 电子天平(中国江苏常熟长青仪器仪表厂);SX2-5-12 箱式电子炉(天津市中环实验电炉有限公司);101A-3E 电热鼓风干燥箱(上海实验仪器有限公司);1500 型全自动洗面筋仪(瑞典 Perten 公司);SMY-2000 便携式测色仪(北京盛明扬科技发展有限公司);OHG 1800 粉质仪(德国布拉班德仪器公司);JHMZ200 型和面机(北京东方孚德技术发展中心);JCXZ 型压片机(北京东方孚德技术发展中心);发酵箱(美国 NATIONAL 公司);TA-XT2i 型质构仪(英国 Stable Micro System 公司);手动固相微萃取手柄、50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS 萃取头(美国 Supelco 公司);7890A GC/5975C MSD 型气相色谱-质谱联用仪(美国安捷伦科技有限公司);Alpha MOS Gemini 型电子鼻(法国 Alpha MOS 公司)。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 小麦粉样品的制备

根据各系统粉灰分含量及各系统流量与质量平衡表,配置不同出粉率(35%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、97%)小麦粉样品。

表 1 不同出粉率配比方案

出粉率/%	系统粉来源
-------	-------

35	1M+2M+DM1
40	1M+2M+DM+1S
50	1M+2M+DM+1S+2B+D2
60	1M+2M+DM+1S+2B+D2+3M+4M+DS+D3+D1
70	总出粉率-6M-7M-2T-D4-4B
80	总出粉率+CF
90	总出粉率+CF+细麸
97	总出粉率+CF+细麸+粗麸

注: B、D、M、DM、S、DF、T、CF 分别为皮磨系统、重筛系统、心磨系统、撞击磨系统、渣磨系统、打麸粉、尾磨系统、次粉。总出粉率为除次粉、麸皮外,所有粉流来源总和。

#### 1.3.2 小麦粉基本指标测定

水分含量测定:按照 GB/T 5009.3-2010,直接干燥法;灰分含量测定:按照 GB 5009.4-2010 方法测定;

湿面筋含量测定:按照 GB/T 5009.5-2003 方法测定;

粗蛋白含量测定:按照 GB/T 5009.5-2003 方法测定;

降落数值含量测定:按照 GB/T 10361-2008 方法测定;

粉质特性测定:按照 GB/T 14614-2006 方法测定。

#### 1.3.3 馒头制作方法

称取 3 g 干酵母加入盛有 35  $^{\circ}\text{C}$ , 约 144 mL (小麦粉吸水率的 80%) 的烧杯中,搅拌混匀,将混合液加入至盛有 300 g 小麦粉的和面钵中,和面 5 min,压片 6 次,切块(每个约 100 g),成型;将成型好的面团放入醒发箱(35  $^{\circ}\text{C}$ , RH 85%)中醒发 45 min;取出馒头置蒸锅中汽蒸 20 min,熄火后 2 min 取出。蒸好的馒头用纱布盖住,室温下放置冷却,待测。

#### 1.3.4 馒头比容的测定

蒸制好的馒头冷却 1 h 后,取 2 个样品,用分析天平(精确度 0.1 g)称取馒头质量;采用油菜籽替换法,测定馒头的体积,取两个平行样品的平均值。馒头的比容为馒头体积与馒头质量之比。

#### 1.3.5 馒头质构的测定

采用配有 P/35R 圆柱形探头的 TA-XT 2i 型质构仪测定馒头质构。将冷却好的馒头样品用切片刀纵向切成 15 mm 厚的馒头片,压缩至原高度 50%。测试条件:测试前速度 3 mm/s,测中速度为 1 mm/s,测后速度为 1 mm/s,触发力为 5 g。每个样品测四次。

#### 1.3.6 馒头电子鼻分析

将蒸制好的馒头样品称取 1 g 分别置于 10 mL 顶空瓶中,每个样品制备 4 个,加盖密封待测。

检测参数:载气(合成空气)流速为 150 mL/min,样品孵化温度 80  $^{\circ}\text{C}$ ,孵化时间 10 min,进样体积 2.5

mL, 数据采集时间为 210 s, 采集延迟时间 300 s。

表 2 各传感器的响应特性

Table 2 Response characteristics of various sensors

传感器名称	性能	参考物质
PA/2	对有机化合物、有毒气体灵敏	乙醇、氨水、胺类化合物
T40/1	对氧化能力较强的气体灵敏	氟
P10/2	对易燃气体灵敏	甲烷
P40/1	对氧化能力较强的气体灵敏	氟
LY2/g CT	对易燃气体灵敏	丙烷、丁烷
LY2/G	对有毒气体灵敏	氨, 胺类化合物, 碳氧化物

### 1.3.7 馒头挥发性化合物

将蒸制好的馒头冷却 20 min, 称取 2 g 中心部分置于 15 mL 的萃取瓶中, 加盖密封, 在 75 °C 恒温水浴锅中平衡 10 min, 将老化后的固相微萃取头插入萃取瓶顶空, 吸附 60 min; 萃取完成后, 萃取头在进样口中解析 5 min。

色谱条件: 载气为高纯氦气, 载气速度 1.0 mL/min, 采用不分流进样; 进样口温度为 240 °C; 分离用毛细管柱: Agilent 19091S-433 (长为 30 m, 内径为 0.25 mm, 膜厚为 0.25 μm)。升温程序: 初始温度 30 °C, 保持 5 min, 以 3 °C/min 升至 150 °C, 然后以 5 °C/min 升至 240 °C, 保持 3 min。

质谱条件: 离子源温度为 230 °C, 传输线温度为 280 °C, 质谱四级杆 150 °C, 离子化模式: EI; 电子能 70 eV, 扫描范围为全扫描。

小麦挥发性物质经 GC-MS 联用仪进行分离及鉴定, 通过化学工作站数据处理系统, 检索 NIST11.L 图谱库, 确定挥发性成分, 采用峰面积归一化法计算各成分的相对含量。

### 1.4 数据处理

采用 SPSS 数据处理软件对数据进行相关性及方差分析, 图表绘制采用 Origin 软件。

电子鼻数据处理采用电子鼻软件中数据分析软件

进行统计分析, 主要是主成分分析(PCA)及判别因子分析(DFA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 出粉率对小麦粉基本指标的影响

由表 3 可知, 随着出粉率的增加, 小麦粉水分含量整体呈下降趋势, 这可能是由于随着出粉率增加, 小麦粉系统粉来源逐渐增加, 后路心磨及尾磨系统经过更多道的研磨及筛理系统导致小麦粉系统粉水分的流失。随着出粉率的增加, 小麦粉灰分含量逐渐增加, 这主要是因为随着出粉率的增加, 小麦粉中皮层部分逐渐混入面粉中, 小麦粉皮层部分矿物质含量较高, 且有相关研究表明小麦籽粒中矿物质多集中在糊粉层中, 在加工过程中糊粉层多混入次粉中<sup>[5]</sup>。随着出粉率的增加, 降落数值逐渐下降, 这可能是因为 α-淀粉酶多存在于小麦皮层中, 皮层部分混入越多, α-淀粉酶活性较高, 降落数值越低。随着出粉率的增加, 粗蛋白含量上升, 湿面筋含量先上升后下降, 这可能是由于小麦的面筋蛋白基本局限在胚乳中, 而清蛋白和球蛋白多集中在糊粉层和胚中, 随着皮层的混入, 逐渐混清蛋白和球蛋白等代谢蛋白, 从而降低了小麦粉的湿面筋含量。

表 3 不同出粉率小麦粉基本指标测定结果

Table 3 Basic properties of wheat flours with different flour yields

出粉率/%	水分/%	灰分/%	降落数值/s	湿面筋/%	粗蛋白/%
35	13.46±0.05 <sup>b</sup>	0.41±0.01 <sup>g</sup>	573±6 <sup>a</sup>	30.9±0.1 <sup>e</sup>	10.82±0.02 <sup>e</sup>
40	13.39±0.1 <sup>b</sup>	0.43±0.01 <sup>f</sup>	561±2 <sup>b</sup>	32.1±0.1 <sup>d</sup>	10.87±0.08 <sup>e</sup>
50	13.59±0.02 <sup>a</sup>	0.47±0.01 <sup>e</sup>	546±14 <sup>bc</sup>	34.9±0.3 <sup>b</sup>	11.31±0.12 <sup>d</sup>
60	13.44±0.01 <sup>b</sup>	0.49±0.01 <sup>e</sup>	529±6 <sup>cd</sup>	33±0.0 <sup>c</sup>	11.54±0.08 <sup>d</sup>
70	13.43±0.02 <sup>b</sup>	0.58±0.01 <sup>d</sup>	544±16 <sup>bc</sup>	35.5±0.2 <sup>a</sup>	11.97±0.01 <sup>c</sup>
80	13.06±0.02 <sup>c</sup>	0.86±0.01 <sup>c</sup>	516±19 <sup>d</sup>	31.8±0.1 <sup>d</sup>	12.50±0.06 <sup>b</sup>
90	12.6±0.04 <sup>d</sup>	1.27±0.01 <sup>b</sup>	506±3 <sup>de</sup>	30.9±0.4 <sup>e</sup>	13.04±0.25 <sup>a</sup>
97	12.03±0.04 <sup>c</sup>	1.78±0.01 <sup>a</sup>	481±8 <sup>e</sup>	29.4±0.4 <sup>f</sup>	13.13±0.01 <sup>a</sup>

注: 相同的字母表示两者数据无显著差异,  $p < 0.05$ 。

## 2.2 出粉率对小麦粉粉质特性的影响

由表 4 可以看出, 随着出粉率的增加, 面粉吸水率逐渐增加, 形成时间上升, 稳定时间下降, 弱化度增加, 粉质指数降低。出粉率为 35%~60% 时, 吸水率无显著差异, 继续增加出粉率, 大量的小麦麸皮混入

面粉中, 麸皮中膳食纤维含有大量羟基通过氢键产生水合作用从而吸附较多的水。面团形成时间增加, 说明小麦皮层的增加, 不利于小麦粉颗粒的完全水合及面筋网络的充分形成。稳定时间下降, 也说明面团的稳定性较差。弱化度增加, 则面团耐机械搅拌能力差, 操作性能差。

表 4 不同出粉率小麦粉粉质指标

Table 4 Farinograph properties of wheat flours with different flour yields

出粉率/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/BU	粉质指数
35	61.6±0.2 <sup>e</sup>	2.23±0.21 <sup>cd</sup>	17.87±0.59 <sup>bc</sup>	18±3 <sup>d</sup>	208±2 <sup>ab</sup>
40	61.9±0.4 <sup>e</sup>	1.96±0.18 <sup>d</sup>	20.11±0.30 <sup>b</sup>	15±7 <sup>d</sup>	225±7 <sup>a</sup>
50	61.5±0.1 <sup>e</sup>	2.50±0.14 <sup>c</sup>	18.96±1.54 <sup>ab</sup>	23±2 <sup>d</sup>	217±10 <sup>a</sup>
60	61.8±0.1 <sup>e</sup>	2.07±0.02 <sup>cd</sup>	16.12±0.76 <sup>c</sup>	18±3 <sup>d</sup>	175±6 <sup>c</sup>
70	62.5±0.2 <sup>d</sup>	7.78±0.28 <sup>c</sup>	16.20±1.13 <sup>c</sup>	34±6 <sup>c</sup>	187±26 <sup>bc</sup>
80	67.0±0.2 <sup>c</sup>	7.06±0.18 <sup>b</sup>	11.09±0.30 <sup>d</sup>	53±5 <sup>b</sup>	132±5 <sup>d</sup>
90	71.4±0.1 <sup>b</sup>	7.84±0.30 <sup>a</sup>	9.82±0.37 <sup>de</sup>	67±2 <sup>a</sup>	132±1 <sup>d</sup>
97	76.1±0.1 <sup>a</sup>	8.06±0.02 <sup>a</sup>	8.55±0.17 <sup>c</sup>	71±4 <sup>a</sup>	129±3 <sup>d</sup>

注: 相同的字母表示两者数据无显著差异,  $p < 0.05$ 。

## 2.3 出粉率对小麦粉馒头质构的影响

表 5 不同出粉率馒头比容及质构

Table 5 Specific volume and texture of steamed bread with different flour yields

出粉率/%	比容	硬度	弹性	凝聚性	胶黏性	咀嚼性	回复性
35	2.20±0.02 <sup>d</sup>	1965±145 <sup>d</sup>	0.938±0.004 <sup>ab</sup>	0.834±0.004 <sup>a</sup>	1638±127 <sup>d</sup>	1536±113 <sup>d</sup>	0.480±0.004 <sup>ab</sup>
40	2.49±0.04 <sup>f</sup>	1907±120 <sup>d</sup>	0.952±0.011 <sup>a</sup>	0.831±0.006 <sup>a</sup>	1585±88 <sup>de</sup>	1507±67 <sup>d</sup>	0.484±0.000 <sup>ab</sup>
50	2.45±0.01 <sup>ef</sup>	1622±35 <sup>d</sup>	0.938±0.011 <sup>ab</sup>	0.838±0.001 <sup>a</sup>	1359±26 <sup>e</sup>	1274±10 <sup>d</sup>	0.498±0.002 <sup>a</sup>
60	2.35±0.07 <sup>c</sup>	1816±94 <sup>d</sup>	0.928±0.018 <sup>abc</sup>	0.825±0.004 <sup>a</sup>	1497±71 <sup>de</sup>	1388±39 <sup>d</sup>	0.478±0.002 <sup>b</sup>
70	2.13±0.07 <sup>cd</sup>	1980±20 <sup>d</sup>	0.925±0.030 <sup>abc</sup>	0.831±0.001 <sup>a</sup>	1645±18 <sup>d</sup>	1521±67 <sup>d</sup>	0.482±0.004 <sup>ab</sup>
80	2.07±0.04 <sup>c</sup>	2784±81 <sup>c</sup>	0.914±0.006 <sup>bc</sup>	0.801±0.006 <sup>b</sup>	2228±45 <sup>c</sup>	2036±27 <sup>c</sup>	0.455±0.006 <sup>c</sup>
90	1.63±0.05 <sup>b</sup>	4807±55 <sup>b</sup>	0.894±0.011 <sup>cd</sup>	0.756±0.016 <sup>c</sup>	3630±35 <sup>b</sup>	3246±10 <sup>b</sup>	0.390±0.014 <sup>d</sup>
97	1.38±0.04 <sup>a</sup>	9546±508 <sup>a</sup>	0.874±0.013 <sup>d</sup>	0.684±0.012 <sup>d</sup>	6522±228 <sup>a</sup>	5705±282 <sup>a</sup>	0.304±0.013 <sup>e</sup>

注: 相同的字母表示两者数据无显著差异,  $p < 0.05$ 。

由表 5 可知, 出粉率为 35%~70% 时, 馒头的硬度、凝聚性和咀嚼性等无显著差异性, 出粉率为 80%~97% 时, 馒头硬度、胶黏性、咀嚼性显著增加, 弹性、凝聚性、回复性显著下降。主要是因为出粉率为 80%~97% 时, 小麦麸皮逐渐混入到面粉中, 麸皮的添加影响了面团面筋网络的形成及面团发酵过程中面团的持气能力。小麦麸皮中含有大量的戊聚糖, 对面筋蛋白网络结构的形成具有负作用<sup>[6]</sup>, 对馒头的品质也存在严重的破坏作用。麸皮中大量的酚基木聚糖与蛋白、淀粉争夺水分使面筋网络结构变差, 使硬度和咀嚼性增加, 回复性下降<sup>[7]</sup>。

## 2.4 电子鼻对不同出粉率馒头的识别

图 1 为不同出粉率小麦粉馒头的电子鼻雷达图, 从雷达图可以直观地看出不同出粉率小麦粉馒头样品在不同传感器下的传感器信号强度存在显著差异, 且不同出粉率小麦粉馒头样品在同一传感器下的传感器信号强度存在显著性差异, 在 PA/2、T40/1、P10/2 传感器上的响应强度差异显著。因此, 根据传感器信号强度分析判断不同出粉率馒头样品差异。

通过电子鼻中数据分析软件进行建模, 采用主成分分析法 (PCA) 和判别因子分析法 (DPA) 进行分

析, 结果见图 2 (不同出粉率小麦粉馒头主成分分析分布图)、图 3 (不同出粉率小麦粉馒头判别因子分析分布图)。由图 2 可知, 主成分 1 贡献率为 62%, 主成分 2 贡献率为 30.362%, 累计总贡献率为 92.362%, 基本上反映传感器的实际反应情况。出粉率>70%和出粉率≤70%的馒头样品均能被区分开, 出粉率为 35%、60%、80%、90%、97%的馒头样品均能被区分开, 说明这些样品之间挥发性物质存在差异; 而出粉率为 40%、50%和 70%的馒头样品相互重叠, 不能被区分开, 可能是这三种样品的挥发性物质种类及含量相近。

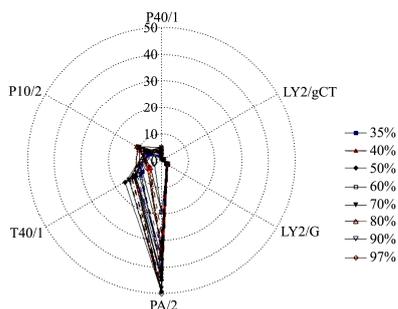


图 1 不同出粉率小麦粉馒头的电子鼻雷达图

Fig.1 Electronic nose radar chart of wheat steamed breads with different flour yields

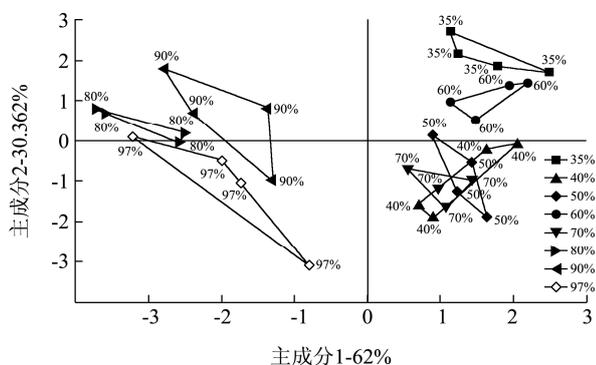


图 2 不同出粉率小麦粉馒头主成分分析分布图

Fig.2 Distribution map of principal components analysis of wheat steamed breads with different flour yields

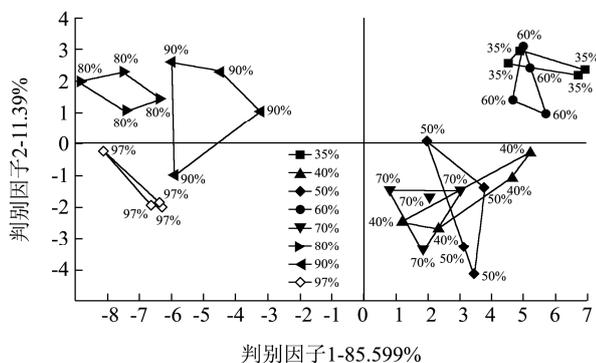


图 3 不同出粉率小麦粉馒头判别因子分析分布图

Fig.3 Distribution map of discriminant factor analysis of wheat steamed breads with different flour yields

## 2.5 出粉率对馒头挥发性化合物的影响

不同出粉率小麦粉馒头挥发性化合物成分如表 6 所示。共检测到 59 种化合物, 其中醇类 9 种, 醛类 9 种, 呋喃类 2 种, 酮类 2 种, 酯类 6 种, 苯类 3 种, 烷烃类 28 种。出粉率为 35% 的小麦粉馒头中检测到的挥发性化合物最少 (仅 13 种), 出粉率为 97% 的小麦粉馒头中检测到的挥发性化合物种类最多 (32 种), 出粉率较高的小麦粉携带更多的微生物<sup>[8]</sup>, 促进面团的发酵, 易产生更多的挥发性化合物。

不同出粉率馒头挥发性化合物的种类及其百分比含量见表 7。由表 7 可知, 醇类是馒头挥发性物质中含量最多的化合物 (52.52%~65.79%), 其次为醛类, 烷烃类, 呋喃类, 酮类, 苯类等。

醇类物质中含量较高的化合物有乙醇、环丁醇、3-甲基-1-丁醇、1-己醇、苯乙醇, 含量较低的有 9-癸烯-1-醇、(Z)-4-癸基-1-醇、1,10-癸二醇、1-二十醇(表 6)。随着出粉率的增加, 醇类物质总含量增加。乙醇是醇类物质中含量最高的化合物, 这与 Maeda<sup>[9]</sup>、chang<sup>[10]</sup>等研究一致。乙醇和二氧化碳是糖酵解的主要产物<sup>[11]</sup>。苯乙醇的物质在出粉率为 35% 的小麦粉馒头中含量最高, (Z)-4-癸基-1-醇仅存在于出粉率较高 (80%、90%、97%) 的小麦粉馒头中。其中乙醇具有酒精气味, 3-甲基-1-丁醇有特殊不愉快气味, 有辛辣而令人厌恶的气味, 1-己醇具有水果芬芳的香味, 苯乙醇有清甜的玫瑰花香味。

由表 7 可知, 醛类物质的含量仅次于醇类物质, 含量从大到小依次为苯甲醛、壬醛、癸醛等。苯甲醛具有特殊的苦杏仁气味, 壬醛具有玫瑰、柑橘等香气, 有强的油脂气味, 癸醛具有甜香、柑橘香、蜡香、花香等气味。苯甲醛主要是发酵过程及 2,4-癸二烯醛自然氧化形成的。出粉率为 97% 时, 壬醛的含量最高, 壬醛主要是油酸的氧化产物。出粉率为 97% 的小麦粉馒头中醛类物质显著高于其它样品。其中庚醛、苯乙醛、(E)-2-辛烯醛、(E)-2-壬烯醛等仅存在于出粉率高的小麦粉馒头中, 不饱和醛类多存在于出粉率高的小麦粉馒头中。庚醛具有强烈和不愉快脂肪气味, 苯乙醛具有类似风信子的香气, 稀释后具有水果的甜香气, (E)-2-辛烯醛呈脂肪和肉类香气, 并有黄瓜和鸡肉香味, (E)-2-壬烯醛具有脂肪气息、青香、蜡香、黄瓜香、甜瓜香。醛类等物质可能是脂肪氧合酶水解氢过氧化物及亚油酸等的产物<sup>[12,13]</sup>。

其次, 主要的物质还有呋喃类和酯类。2-戊基呋喃具有豆香、果香、泥土、青香及类似蔬菜的香味。出粉率较高的小麦粉馒头中含量较高。而酯类物质未

见明显规律性。

出粉率高(80%~97%)的小麦粉馒头中醛类和酮类物质含量高于出粉率低的小麦粉馒头,这可能是由于高出粉率的小麦粉混入麸皮,酶活性高的缘故。有研究表明,酮类物质可能是由发酵过程中糖酵解及非酶促褐变的产物<sup>[14]</sup>。焙烤过程中易发生美拉德反应,易形成吡嗪类的物质<sup>[15]</sup>,而馒头在制作过程中只经过蒸

制,温度较低,不利于产生美拉德反应<sup>[16]</sup>,这也是本研究中未检测到吡嗪类物质的原因之一。

小麦粉馒头中还存在大量的烷烃类物质,烷烃类种类和相对含量的增加在一定程度上增强了小麦粉馒头风味,但烷烃类物质阈值较高,对馒头整体特征风味的影响有限。

表6 不同出粉率馒头挥发性化合物

Table 6 Volatile components of wheat steamed breads with different flour yields

序号	保留时间	化合物名称	TIC area <sup>a</sup>							
			出粉率/%							
			35	40	50	60	70	80	90	97
1	1.22	乙醇	70,761	78,456	116,716	93,121	75,477	143,324	167,361	199,386
2	1.61	环丁醇	9,285	9,202	5,871	9,913	4,898	18,365	8,248	-
3	4.40	3-甲基-1-丁醇	4,453	4,670	6,541	6,208	5,781	6,038	5,790	8,275
4	10.88	1-己醇	-	4,738	5,398	4,639	13,142	10,929	-	2,787
5	23.60	苯乙醇	26,284	22,490	21,042	8,010	4,818	11,278	18,189	4,530
6	25.61	9-癸烯-1-醇	-	-	-	-	-	-	-	12,282
7	30.59	(Z)-4-癸基-1-醇	-	-	-	-	-	24,403	38,508	102,785
8	31.48	1,10-癸二醇	-	-	-	-	-	-	1,147	-
9	46.42	1-二十醇	-	-	-	-	-	-	929	-
10	12.27	庚醛	1,921	-	-	-	5,701	13,674	7,975	12,630
11	15.44	苯甲醛	24,509	21,940	25,219	27,836	21,385	32,887	21,302	16,724
12	19.94	苯乙醛	-	-	-	-	-	-	-	1,481
13	20.71	(E)-2-辛烯醛	-	-	-	-	-	9,182	5,899	13,066
14	23.05	壬醛	16,766	7,245	8,945	9,078	11,429	13,125	11,471	20,993
15	25.78	(E)-2-壬烯醛	-	-	-	-	-	-	-	28,832
16	28.03	癸醛	8,383	2,232	3,113	5,307	6,504	6,138	7,265	16,637
17	33.11	2,4-癸二烯醛	-	-	-	-	-	-	-	38,065
18	56.54	9,12-烯醛	-	-	-	-	-	-	-	2,265
19	17.14	2-戊基咪喃	4,628	4,464	5,635	8,845	7,119	16,319	10,924	17,160
20	25.78	4-氯-3-n-丁基四氢吡喃	-	-	2,285	3,471	6,852	17,716	14,966	-
21	35.19	5-甲基-2(3H)-咪喃酮	-	-	-	-	-	1,946	3,660	3,049
22	37.58	螺己基-5-酮	815	893	1,103	-	-	-	-	-
23	20.02	甲苯	-	-	-	-	-	-	710	-
24	27.70	辛酸乙酯	-	-	-	-	-	-	-	46,515
25	36.60	癸酸乙酯	-	-	-	-	-	-	929	2,091
26	40.79	甲氧基乙酸,2-十四烷基酯	-	1,202	-	-	910	-	-	-
27	49.96	碳酸,烯丙基,2-乙基己基酯	-	-	21,278	-	-	-	-	-
28	49.96	辛-2-基碳酸异丁酯	-	18,438	-	-	-	-	-	-
29	53.24	十六酸乙酯	-	-	-	-	-	-	-	1,742
30	31.79	1-甲基-萘	-	-	-	668	-	-	-	5,226

转下页

接上页

1,2,3,4,4a,5,6,8a-八氢-4a,8-二										
31	37.59	甲基-2-(1-甲基乙烯基)-,[2R-(2.α.,4a.α.,8a.β.)]-萘	-	-	-	1,502	1,231	2,046	1,693	3,920
32	22.84	十一烷	-	3,880	8,551	9,546	1,392	8,583	15,786	17,247
33	26.66	甘菊环	-	-	-	3,371	-	5,489	5,244	5,052
34	27.75	十二烷	2,882	3,331	3,980	4,339	-	-	-	-
35	32.36	十三烷	1,921	1,991	2,719	2,537	1,365	4,092	8,958	12,543
36	35.40	3-甲基-十三烷	-	-	-	-	-	-	-	4,181
37	36.69	十四烷	-	2,335	-	-	-	-	-	10,279
38	38.58	壬基-环戊烷	-	-	-	-	-	-	-	1,916
39	39.25	3,8-二甲基-十一烷	-	-	-	-	-	-	-	3,310
40	40.49	(E)-5-二十烯	-	-	-	-	-	-	1,912	-
41	40.49	1-十五烯	-	-	-	-	-	-	-	3,746
42	40.53	环十二烷	-	-	-	-	-	1,298	-	-
43	40.79	十六烷	1,455	-	-	1,869	-	-	2,731	4,268
44	40.80	2-甲基-十一烷	-	-	1,497	-	-	-	-	-
45	43.31	2-甲基-辛烷	-	-	-	-	-	-	-	958
46	43.53	2,3,5,8-四甲基癸烷	-	-	-	-	-	649	-	-
47	44.67	十三烷	-	-	-	2,036	-	-	-	4,530
48	44.68	11-(1-乙基丙基)-二十一烷	-	-	-	-	-	1,447	-	-
49	44.68	三十六烷	-	-	-	-	-	-	2,239	-
50	44.69	二十七烷	-	-	946	-	-	-	-	-
51	46.31	2-甲基-壬烷	-	-	-	-	830	-	-	-
52	46.31	癸烷	-	-	-	-	-	-	-	-
53	46.32	1-氯-十九烷	-	-	-	-	-	-	1,202	-
54	47.71	三十二烷	-	858	-	-	-	-	-	-
55	47.82	2,6-二甲基-十七烷	-	3,193	-	2,003	-	-	-	-
56	48.07	三十一烷	-	1,270	-	-	-	-	-	-
57	49.85	二十四烷	-	-	788	-	-	-	-	-
58	51.41	2-甲基二十四烷	-	1,167	-	-	-	-	-	-
59	56.57	二十烷	-	1,682	-	-	-	-	-	-

注: <sup>a</sup>: TIC area/1000 每 2 g 小麦粉馒头。

表 7 不同出粉率馒头挥发性化合物种类及百分比

Table 7 Types and relative percentage of volatile components in wheat steamed bread with different flour yields

种类	出粉率/%							
	35	40	50	60	70	80	90	97
醇类	63.65	61.10	64.38	59.66	61.67	61.43	65.79	52.52
醛类	29.63	16.06	15.43	20.67	26.66	21.50	14.77	23.98
呋喃类	2.66	2.28	3.28	6.03	8.28	9.75	7.09	2.73
酮类	0.47	0.46	0.46	-	-	0.56	1.00	0.49
苯类	-	-	-	1.06	0.73	0.59	0.66	1.46
酯类	-	10.04	8.81	-	0.54	-	0.25	8.01
烷烃类	3.60	10.07	7.65	12.58	2.12	6.18	10.43	10.82

### 3 结论

3.1 随着出粉率的增加,小麦粉灰分含量上升,降落数值下降,粗蛋白含量上升。面粉吸水率逐渐增加,形成时间逐渐上升,稳定时间逐渐下降,弱化度逐渐增加,粉质指数逐渐下降。

3.2 出粉率为 35%~70%时,馒头的硬度、凝聚性和咀嚼性等无显著差异性,出粉率为 80%~97%时,馒头硬度、胶黏性、咀嚼性显著增加,弹性、凝聚性、回复性显著下降。

3.3 采用电子鼻和固相微萃取和气相色谱质谱联用两种技术对不同出粉率小麦粉馒头中挥发性物质进行分析。电子鼻结果显示,不同出粉率小麦粉馒头挥发性物质差异明显。采用气相色谱和质谱方法,从不同出粉率小麦粉馒头中共检测到 59 种化合物,其中醇类 9 种,醛类 9 种,呋喃类 2 种,酮类 2 种,酯类 6 种,苯类 3 种,烷烃类 28 种。其中,挥发性物质含量最多的物质是醇类,其次是醛类。小麦粉馒头中主要挥发性物质为醇类和醛类,烷烃类的物质种类较多,但是阈值较高,一般无特征风味。

### 参考文献

- [1] 陈凤莲,方桂珍,胡波.黑龙江地区小麦麸皮化学组成分析[J].哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2005,30:23-25  
CHEN Feng-lian, FANG Gui-zhen, HU Bo. Analysis of chemistry compositions of wheat bran from Heilongjiang [J]. Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition), 2005, 30: 23-25
- [2] 郑学玲,姚惠源,李利民,等.小麦加工副产品-麸皮的综合利用研究[J].粮食与饲料工业,2001,12:38-39  
ZHENG Xue-ling, YAO Hui-yuan, LI li-min, et al. The utilization of wheat bran-the by-product of flour milling [J]. Cereal & Feed Industry, 2001, 12: 38-39
- [3] 王萍,葛丽花,夏德安.酶解麦麸制备阿魏酸低聚糖的研究[J].中国粮油学报,2008,23:152-156  
WANG Ping, GE Li-hua, XIA De-an. Preparation of feruloylated oligosaccharides from wheat bran with xylanase hydrolysis [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2008, 23: 152-156
- [4] 贾爱霞.小麦加工过程中营养组分的变化和富集工艺的研究[D].河南工业大学,2011  
JIA Ai-xia. The change of nutrition during wheat milling and study of enrich technology [D]. Henan University of Technology, 2011
- [5] 王晓曦,贾爱霞,于中利.小麦制粉过程中矿物质元素的分布情况[J].现代面粉工业,2012,1:23-26  
WANG Xiao-xi, JIA Ai-xia, YU Zhong-li. The distribution of mineral elements in wheat milling process [J]. Modern Flour Milling Industry, 2012, 1: 23-26
- [6] Wang M, Vliet T V, Hamer R J. Evidence that pentosans and xylanase affect the re-agglomeration of the gluten network [J]. Journal of Cereal Science, 2004, 39(3): 341-349
- [7] 王晓曦,范玲,马森,等.麦麸酚基木聚糖对发酵面团特性和馒头品质的影响[J].农业工程学报,2015,31(17):302-307  
WANG Xiao-xi, FAN Ling, MA Sen, et al. Effects of phenolic xylans from wheat bran on fermented dough properties and qualities of steamed bread [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(17): 302-307
- [8] 曾朝珍,张晓琳,袁建民,等.小麦粉生产过程中微生物的变化规律研究[J].现代食品科技,2008,24(9):861-864  
ZENG Chao-zhen, ZHANG Xiao-lin, YUN Jian-min, et al. Quantitative changes of microorganism in wheat flour processing [J]. Modern Food Science & Technology, 2008, 24(9): 861-864
- [9] Maeda T, Ji H K, Ubukata Y, et al. Analysis of volatile compounds in polished-graded wheat flour bread using headspace sorptive extraction [J]. European Food Research & Technology A, 2009, 228(3): 457-465
- [10] Chang C Y, Edgar Chambers I V, Seitz L M, et al. Volatile flavor components of breads made from hard red winter wheat and hard white winter wheat [J]. Cereal Chemistry, 1995, 72(3): 237-242
- [11] Jensen S, Oestdal H, Skibsted L H. Chemical changes in wheat pan bread during storage and how it affects the sensory perception of aroma, flavour, and taste [J]. Journal of Cereal Science, 2011, 53(2): 259-268
- [12] Ullrich F, Grosch W. Identification of the most intense volatile flavour compounds formed during autoxidation of linoleic acid [J]. European Food Research & Technology, 1987, 184(4): 277-282
- [13] Ullrich F, Grosch W. Identification of the most intense odor compounds formed during autoxidation of methyl linolenate at room temperature [J]. Journal of Oil & Fat Industries, 1988, 65(8): 1313-1317
- [14] Lawrence R C, Thomas T D, Terzaghi B E. Cheese starters [J]. Journal of Dairy Research, 1976, 43(1): 141-193
- [15] Kaseleht K, Leitner E, Paalme T. Determining aroma-active compounds in Kama flour using SPME-GC/MS and

- GC-olfactometry [J]. Flavour & Fragrance Journal, 2011, 26(2): 122-128
- [16] 吴惠玲,王志强,韩春,等.影响美拉德反应的几种因素研究[J].现代食品科技,2010,26(5):441-444
- WU Hui-ling, WANG Zhi-qiang, HAN Chun, et al. Factors affecting the maillard reaction [J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(5): 441-444

现代食品科技