

顶空-固相微萃取方法分析4种发酵剂制作馒头中挥发性风味物质

马凯¹, 华威², 龚平¹, 陈尔凝², 白羽², 刘杰², 王衍生³, 李太华³, 高丽娟^{2,*}

(1.北京市理化分析测试中心, 北京 100089; 2.北京联合大学生物化学工程学院, 北京 100023;

3.北京旗舰食品集团有限公司, 北京 100194)

摘要:采用顶空-固相微萃取方法对传统老酵馒头与单一酵母馒头样品进行预处理, 利用气相色谱-质谱法检测样品中的挥发性风味成分。经NIST 08.L质谱数据库检索结合文献对照, 从旗舰馒头(传统老酵馒头)中检出59种挥发性风味成分, 天津自制馒头(传统老酵馒头)中检出51种, 安琪馒头(单一酵母馒头)中检出47种, 燕山馒头(单一酵母馒头)中检出43种, 这些挥发性成分中主要包括醇类、烃类、酯类、醛类、酮类、芳香类等。不同发酵剂制作馒头中风味物质的种类及相对含量都存在一定的差异性, 这也是使用相同原料不同发酵方法制作馒头产生特别的风味的主要原因。

关键词:馒头; 气相色谱-质谱联用; 固相微萃取; 风味物质

Headspace Solid Phase Microextraction for Analysis of Volatile Components in Chinese Steamed Bread Made with Four Starter Cultures

MA Kai¹, HUA Wei², GONG Ping¹, CHEN Er-ning², BAI Yu², LIU Jie², WANG Yan-sheng³, LI Tai-hua³, GAO Li-juan^{2,*}

(1. Beijing Center for Physical and Chemical Analysis, Beijing 100089, China; 2. College of Biochemical Engineering, Beijing Union University, Beijing 100023, China; 3. Beijing Qijian Food Group Co. Ltd., Beijing 100194, China)

Abstract: In this work, the composition of volatile components in Chinese steamed bread fermented with traditional mixed starters (QJ and ZZ) and commercial dry yeast starters (AQ and YS) was determined by headspace-solid phase microextraction (HS-SPME) coupled with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). According to the NIST 08.L MS spectral library and reference data, 59, 51, 47 and 43 volatile compounds in Chinese steamed bread fermented with QJ, ZZ, AQ and YS were identified, respectively. These volatile components included alcohols, hydrocarbons, esters, aldehydes, ketones, aromatics and other compounds. The results showed fermentation with the traditional mixed starters could result in the production of more components in different relative quantities in Chinese steamed bread than the dry yeast starters. This may be the main reason why Chinese steamed bread fermented with the same wheat flour and different starters have distinct volatile components.

Key words: Chinese steamed bread; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); solid phase microextraction (SPME); volatile components

中图分类号: TS213.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)16-0128-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201416025

小麦面食是我国主要的粮食类型, 食用历史悠久, 由其加工而成的食品种类主要包括馒头、面条、饼类等。其中, 发酵面制品馒头是60%以上中国消费者的主食, 占面制食品消费总量的30%以上^[1-2]。目前对馒头的研究范围从原料小麦粉生产、品质检验到馒头成品的质量评价、保藏方法, 几乎涉及馒头制造销售的每个环节^[3-9]。为满足产品质量稳定、制作周期短, 生产过程自动化等要求, 商

品化的馒头在生产过程中多使用单一酵母发酵剂, 而在小作坊式或家庭式手工加工方法生产馒头过程中, 为保留馒头的传统特色风味则多使用传统老酵作为发酵剂方法^[10]。这2种馒头制作方法的主要不同体现在发酵剂类型上, 传统老酵是天然存在的微生物菌群, 除主要含有酵母菌和乳酸菌外还含有一定数量的其他微生物^[11], 而市售的干酵母则以单一的酵母菌为主对面粉进行发酵。

收稿日期: 2014-03-12

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303070); 北京市科学技术研究院市级财政项目(PXM2013_178305_000002_00063845_FCG)

作者简介: 马凯(1986—), 男, 助理研究员, 硕士, 研究方向为食品微生物学。E-mail: dimasimk008@gmail.com

*通信作者: 高丽娟(1978—), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为食品微生物学。E-mail: aglj889@163.com

微生物菌群上差异必然会导致其代谢产物上存在一定的不同,表现在馒头的口感和风味上存在一定的差异^[12-13]。本实验研究中,采用顶空-固相微萃取(headspace-solid phase microextraction, HS-SPME)方法提取传统老酵馒头和市售干酵母馒头中的挥发性风味成分,并采用气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用方法定性分析其成分构成,进一步明确传统老酵馒头与干酵母馒头的异同,从而为老酵中微生物代谢组学研究提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

面粉 北京粮海食品有限公司;传统老酵母(QJ) 北京旗航食品有限公司;传统老酵母(ZZ) 天津居民自制;燕山牌高活性干酵母(YS,批号20121208) 河北马利食品有限公司;高活性干酵母(AQ,批号20120904) 安琪酵母(赤峰)有限公司。

1.2 仪器与设备

数显恒温水浴锅HH-4 常州国华电气有限公司;固相微萃取手动进样手柄、DVB/CA/PDMS(2 cm, 50/30 μm)纤维头 美国Supelco公司;2010气相色谱-质谱联用仪 日本Shimadzu公司。

1.3 方法

1.3.1 馒头样品制作方法

老酵馒头做法:分别取老酵QJ与ZZ各50 g,加水300 mL搅拌均匀后加入500 g面粉混合,和面,揉至面团表面光滑,于55℃条件下发酵3 h,取出发酵膨胀的酸面团,加入500 g面粉及3 g碱,揉匀后制成馒头形状面坯,于55℃条件下醒发40 min,待面团变软后于120℃蒸汽条件下蒸制20 min,取出放冷后备用。

酵母馒头做法:取市售干酵母AQ与YS各1.5 g,分别与500 g面粉混合均匀,加水200 mL,和面,揉至面团表面光滑,制成馒头形状面坯,放置于55℃条件下醒发40 min,待面团变软后于120℃蒸汽条件下蒸制20 min,取出放冷后备用。

1.3.2 顶空-固相微萃取操作方法^[14-15]

称取3 g馒头样品于15 mL气相顶空样品瓶中,将恒温水浴调至80℃,待温度稳定后,将样品瓶放于恒温水浴,预热平衡20 min,将SPME针头穿过样品瓶密封瓶垫,于样品瓶顶空部分伸出固相萃取头,静置萃取20 min,收回固相萃取头,取出萃取装置,待气相色谱仪处于准备状态后,将SPME针头插入进样口,伸出固相萃取头,于250℃条件下解吸5 min。下次取样前,首先将SPME萃取头在250℃条件下老化15 min。

1.3.3 气相色谱-质谱联用检测条件

色谱条件:极性毛细管柱ZB-WAX plus

(30 m×0.25 mm, 0.25 μm);固定相为聚乙二醇;载气为高纯氮气,流速1.0 mL/min;进样口温度250℃;分流比1:1;初始炉温50℃,保持2 min,以8℃/min升到220℃,再以25℃/min升到250℃,保持5 min。

质谱条件:电子电离(electron ionization, EI)源,电子能量70 eV;离子源温度200℃;接口温度280℃,质量扫描范围29~800 u;调谐文件为标准调谐;数据采集为全扫描模式;无溶剂延迟。

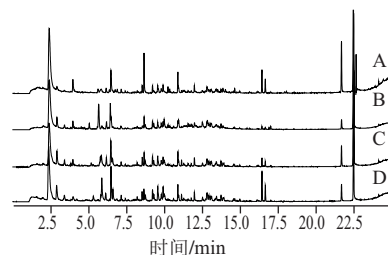
1.3.4 数据处理

对检测结果的定性分析,以计算机检索NIST 08.L谱库、人工解析图谱,结合文献对照共同确定挥发性成分。挥发性成分相对含量的确定采用面积归一化法。

2 结果与分析

2.1 4种馒头挥发性成分

采用传统老酵作为发酵剂制作的2种馒头QJ、ZZ,与市售活性酵母发酵剂制作的2种馒头AQ、YS在相同的取样条件和分析条件下进行比较,GC-MS分离鉴定各馒头样品中挥发性风味成分的种类及相对含量分别见表1,总离子流图比较见图1。



A. QJ; B. ZZ; C. YS; D. AQ。

图1 4种馒头样品挥发性风味成分GC-MS分析总离子流图

Fig.1 GC-MS total ion chromatogram of volatiles from 4 Chinese steamed bread

表1 4种馒头样品中挥发性风味成分GC-MS分析结果

Table 1 Analysis of volatile components in 4 Chinese steamed bread by GC-MS

化合物	分子式	相对含量/%			
		QJ	ZZ	AQ	YS
醇类					
乙醇	C ₂ H ₆ O	40.69	35.11	28.50	28.30
2-丙基-1-庚醇	C ₁₀ H ₂₂ O	—	0.19	—	—
3-甲基-1-丁醇	C ₅ H ₁₂ O	1.06	1.68	1.62	2.25
3-叔丁基-6-烯-1-辛醇	C ₁₂ H ₂₄ O	0.96	—	—	—
1-戊醇	C ₅ H ₁₂ O	0.73	—	—	—
2-乙基-1-丁醇	C ₆ H ₁₄ O	0.07	—	0.08	—
1-己醇	C ₆ H ₁₄ O	7.24	2.26	2.05	2.57
1-辛烯-3-醇	C ₈ H ₁₆ O	0.85	0.67	0.46	0.21
1-庚醇	C ₇ H ₁₆ O	0.50	0.58	0.15	—
2-乙基-1-庚醇	C ₈ H ₁₈ O	3.34	1.41	2.53	2.45
(E)-2-庚烯-1-醇	C ₇ H ₁₄ O	0.26	—	—	—

续表1

化合物	分子式	相对含量/%			
		QI	ZZ	AQ	YS
3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.26	—	—	—
1-辛醇	C ₈ H ₁₈ O	1.16	—	1.46	1.37
1-壬醇	C ₉ H ₂₀ O	0.54	0.09	—	—
3-壬烯-1-醇	C ₉ H ₁₈ O	0.89	—	—	—
2-壬烯-1-醇	C ₉ H ₁₈ O	0.19	—	—	—
苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O	0.11	0.54	0.22	0.18
2,4-癸二烯-1-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.22	—	—	—
1-癸醇	C ₁₀ H ₂₂ O	—	—	0.24	0.38
2-丙基-1-庚醇	C ₁₀ H ₂₂ O	—	0.19	—	—
2-丁基-1-辛醇	C ₁₂ H ₂₆ O	—	1.16	—	—
2-甲基-1-十二醇	C ₁₃ H ₂₈ O	—	—	0.20	—
3-甲基-1-庚醇	C ₈ H ₁₈ O	—	—	0.25	0.46
(Z)-4-癸烯-1-醇	C ₁₀ H ₂₀ O	—	0.14	—	0.11
顺-4-溴-金刚烷-2-醇	C ₁₀ H ₁₆ BrO	—	—	—	0.93
烃类					
癸烷	C ₁₀ H ₂₂	0.96	3.23	4.02	4.34
正十三烷	C ₁₃ H ₂₈	0.13	0.19	—	—
正十四烷	C ₁₄ H ₃₀	0.51	1.29	1.13	1.08
2-甲-2-苯基十五烷	C ₂₇ H ₅₈	0.28	—	—	—
1,4-二异丙基环己烷	C ₁₄ H ₂₈	0.11	—	—	0.18
1-(1,1-二甲乙氧基)-2-甲基-丙烷	C ₈ H ₁₈ O	—	—	—	0.56
1,1-双十二烷氧基十六烷	C ₄₀ H ₈₂ O ₂	—	0.28	—	—
1-氯二十一烷	C ₂₀ H ₄₁ Cl	—	1.51	—	—
2,6,10,14-四甲基十六烷	C ₂₀ H ₄₂	—	0.55	—	—
2,3,5,8-四甲基癸烷	C ₁₄ H ₃₀	—	1.04	—	—
2-溴代十二烷	C ₁₂ H ₂₅ Br	—	1.00	1.18	1.19
3-甲基-十一烷	C ₁₂ H ₂₆	—	1.25	0.71	1.02
4,8-二甲基-十一烷	C ₁₃ H ₂₈	—	0.38	—	—
4-甲基-十一烷	C ₁₂ H ₂₆	—	1.93	—	—
7-己基十三烷	C ₁₉ H ₄₀	—	0.37	—	—
十二烷	C ₁₂ H ₂₆	—	—	6.33	1.89
十六烷	C ₁₆ H ₃₄	—	2.75	—	—
D-柠檬烯	C ₁₀ H ₁₆	—	—	1.08	0.50
十二碳烯	C ₁₂ H ₂₄	0.64	0.21	—	—
1,7,7-三甲基-2-乙炔双环[2.2.1]庚-2-烯	C ₁₂ H ₁₈	2.04	—	0.38	0.42
α-金合欢烯	C ₁₅ H ₂₄	0.61	0.16	0.29	0.03
2,4-癸二烯	C ₁₀ H ₁₈ O	—	0.17	—	0.18
1-十四烯	C ₁₄ H ₂₈	—	—	0.84	—
1-十三烯	C ₁₃ H ₂₆	—	—	—	0.88
1-十二烯	C ₁₂ H ₂₄	—	—	2.65	2.65
1-癸烯	C ₁₀ H ₂₀	—	0.65	1.07	1.32
醛类					
己醛	C ₆ H ₁₂ O	3.14	1.88	1.17	1.58
5-甲基己醛	C ₇ H ₁₄ O	1.11	—	—	—
辛醛	C ₈ H ₁₆ O	0.38	0.21	0.41	0.42
2-庚烯醛	C ₇ H ₁₂ O	0.10	—	—	—
壬醛	C ₉ H ₁₈ O	1.36	1.52	1.86	1.93
癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	0.86	—	0.91	1.12
苯甲醛	C ₇ H ₆ O	0.30	—	—	—
2-壬烯醛	C ₉ H ₁₆ O	0.33	0.42	0.26	—
2,4-癸二烯醛	C ₁₀ H ₁₈ O	0.24	—	—	—
庚醛	C ₈ H ₁₆ O	—	0.52	—	—
酯类					
乙酸乙酯	C ₄ H ₈ O ₂	—	0.75	—	—
反-β-戊酸松油酯	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	1.74	8.04	—	—
己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	5.86	2.27	7.24	7.07

续表1

化合物	分子式	相对含量/%			
		QI	ZZ	AQ	YS
乙酸己酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.73	0.64	0.88	0.86
己酸丙酯	C ₉ H ₁₈ O ₂	0.10	—	0.19	0.25
庚酸乙酯	C ₉ H ₁₈ O ₂	0.43	0.41	0.59	0.59
2-羟基丙酸乙酯	C ₆ H ₁₀ O ₃	0.20	—	—	—
己酸丁酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	2.09	1.56	3.34	2.60
2-甲基-丁酸己酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	0.77	1.06	1.08	1.05
辛酸乙酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	1.11	1.33	2.36	1.85
己酸己酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	0.31	—	0.28	0.12
3-苯丙酸-2,3-二氯苯酯	C ₁₅ H ₁₂ Cl ₂ O ₂	0.58	—	0.84	—
3-苯丙酸-3-氟苯基酯	C ₁₅ H ₁₃ FO ₂	0.57	0.88	—	—
4-乙基苯甲酸-2-乙基己酯	C ₁₇ H ₂₈ O ₂	0.15	—	—	—
丙酸-2-甲基-3-羟基-2,4,4-三甲基戊基酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₃	3.59	0.48	4.60	1.53
丙酸-2-甲基-2,2-二甲基-1-(2-羟基-1-甲基乙基)丙酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₃	2.24	0.32	2.43	0.97
酮类					
6-甲基-5-庚烯-2-酮	C ₈ H ₁₄ O	0.09	—	—	—
2-(1-环戊-1-烯-1-甲基乙基)环戊酮	C ₁₂ H ₂₀ O	0.04	—	—	—
(Z)-6,10-二甲基-5,9-十一二烯-2-酮	C ₁₃ H ₂₂ O	0.21	—	—	—
二氢-5-戊基-2-(3H)-呋喃酮	C ₉ H ₁₆ O	0.16	0.13	—	—
芳香类					
1,3,3-三甲苯基苯	C ₁₀ H ₃₀	0.67	—	—	—
1,1'-(1,1,2,2-四甲基-1,2-亚乙基)二苯	C ₁₈ H ₂₂	0.46	0.92	—	1.39
萘	C ₁₀ H ₈	0.18	0.20	0.25	0.55
2-甲基萘	C ₁₁ H ₁₀	0.23	—	0.26	0.21
二甲苯羟基基苯	C ₁₃ H ₁₄ O	0.11	0.37	—	—
1,1-二甲苯基基苯	—	—	—	—	1.35
1,2,3,5-四甲基苯	—	—	—	0.25	—
1,2,3-三甲基苯	—	—	0.39	—	—
2-甲基-1-(1-甲基乙基)丙基苯	—	—	0.93	—	—
其他类					
2-戊基-呋喃	C ₉ H ₁₄ O	0.70	—	0.31	—

注：— 未检出。

由图1可以看出，4种馒头样品的挥发性成分数量及相对含量都存在一定差异，说明4种发酵剂生产的馒头其挥发性风味成分各有特点。从表1的分析结果可以看出，利用GC-MS从QJ样品中鉴定出59种挥发性风味成分，占色谱非杂质流出峰总面积的95.5%，包括醇类17种（59.1%）、烃类8种（5.3%）、醛类9种（7.8%）、酯类15种（20.5%）、酮类4种（0.5%）、芳香类5种（1.7%）及呋喃类化合物1种（0.7%）；从ZZ样品中鉴定出51种挥发性风味成分，占色谱非杂质流出峰总面积的86.2%，包括醇类12种（44.2%）、烃类17种（17.0%）、醛类5种（4.6%）、酯类11种（17.7%）、酮类1种（0.1%）、芳香类5种（2.8%）；从AQ样品中鉴定出47种挥发性风味成分，占色谱非杂质流出峰总面积的87.0%，包括醇类12种（37.8%）、烃类11种（19.7%）、醛类9种（4.6%）、酯类11种（23.8%）、芳香类3种（0.8%）及呋喃类化合物1种（0.3%）；从YS样品中鉴定出43种挥发性风味成分，占色谱非杂质流出峰总面积的80.9%，包括醇类11种（39.2%）、烃类14种（16.2%）、醛类4种（5.1%）、酯类10种（16.9%）、芳香类4种（3.5%）。

2.2 4种馒头风味物质的比较

上述4种馒头样品中挥发性风味成分的比较结果显示,面粉经不同发酵剂发酵后风味性挥发成分主要包含有醇类、烃类、醛类、酯类等,面粉中的淀粉或糖经发酵剂中微生物代谢会产生醇类化合物,含羰基化合物(如醛、酮、酯等)则主要来源于高级醇氧化、氨基酸的Strecker降解或醛醇缩合反应^[16]。4种馒头样品中乙醇的含量在所有测得的挥发性风味成分中占比例最高,是馒头香味的主要来源之一。另外在4种馒头样品中均检测到1-己醇,是含量仅次于乙醇的一种醇类挥发性成分,在QJ(7.24%)中的相对含量为最高,其次为YS中占2.57%,ZZ中占2.26%,AQ中占2.05%,1-己醇广泛存在于柑橘类、浆果、茶叶、艾叶、薰衣草等的多种精油中^[17-21],无色透明,具有水果芬芳的香味。从QJ样品中检测到的3-叔丁基-6-烯-1-辛醇(0.96%)为樱桃中存在的具有水果香味的挥发性成分^[22],该成分只在QJ样品中检出,其余3种样品中未检测到该成分。

除了在馒头挥发性风味成分中占比较大的醇类物质,酯类物质也是酵母在发酵过程中的主要代谢产物,在所检成分中占有较大比例,是体现馒头风味性的主体化合物。虽然4种馒头样品中检测到的酯类成分的种类差别不大,但是各酯类成分的相对含量却存在一定差别。例如:己酸乙酯是具有果香味的香料,是浓香型酒的主体香气成分,在4种馒头样品中AQ(7.24%)的相对含量最高,ZZ中2.27%的相对含量最少,两者相差近3倍。同样,乙酸己酯(QJ(0.73%)、ZZ(0.64%)、AQ(0.88%)、YS(0.86%))、庚酸乙酯(QJ(0.43%)、ZZ(0.41%)、AQ(0.59%)、YS(0.59%))、己酸丁酯(QJ(2.09%)、ZZ(1.56%)、AQ(3.34%)、YS(2.60%))这3种酯类物质也是常见的具有水果风味的食用香精^[23],其相对含量在4种馒头样品中存在一定的差异。而ZZ中反- β -戊酸松油酯(8.04%)的相对含量较高,AQ与YS样品中没有检测到该化合物,反- β -戊酸松油酯是具有松香味的一类挥发性成分,在月桃中含有这一物质^[24]。

QJ中醛类化合物共有9种,较其他3种样品中醛类化合物数量多。己醛(QJ中为3.14%、ZZ中为1.88%、AQ中为1.17%、YS中为1.58%)是一种具有青草气及苹果香味的成分^[25],天然品存在于苹果、草莓、茶叶中^[18]。QJ中存在的5-甲基己醛(1.11%)、2-庚烯醛(0.10%)、苯甲醛(0.30%)、2,4-癸二烯醛(0.24%)为其特有的醛类成分,在其余3种样品中均不含有,苯甲醛具有特殊的杏仁气味,用于配制杏仁、樱桃、果仁等型香精^[26],微量用于花香配方。这些醛类物质是淀粉在发酵剂作用条件下降解而生成,所体现出的清香、水果香等是馒头香气的重要组成部分。

3 结 论

馒头以及与其类似的花卷、饼类等是中国传统面食的主要种类,其口感与气味是品质评价的重要指标,除了面粉的选择会影响产品的品质外,发酵剂的选择也不容忽视。本实验中设计使用4种不同的发酵剂对同一批次面粉进行发酵,利用HS-SPME-GC-MS的分析方法对4种发酵剂生产的馒头样品中的挥发性风味成分进行分析,并按照化合物特征分类比较,由此对发酵剂的作用进行初步的评价。

利用GC-MS从QJ样品中鉴定出59种挥发性风味成分,ZZ样品中为51种,AQ样品中为47种,YS样品中为43种。从数量上分析老酵QJ与ZZ产生的挥发性成分较单一发酵剂AQ和YS多;从挥发性风味成分的种类上分析,4种发酵剂的主要产物可分为醇类、烃类、醛类、酯类、芳香类,而酮类成分在QJ发酵样品中检测到4种,ZZ中检测到1种,AQ和YS样品中均未检测到;从成分的相对含量上分析,4种发酵剂的样品呈现出各自的特色,如QJ中乙醇(40.69%)、己醛(3.14%)相对含量最高,ZZ中反- β -戊酸松油酯(8.04%)的相对含量最高,AQ中己酸乙酯(7.24%)相对含量最高,YS中癸烷(4.34%)相对含量最高。结果说明发酵剂种类及其对应的发酵方法对挥发性风味成分起重要作用。由于4种样品中风味性成分的种类和相对含量存在一定差异,而样品的风味特色是由一系列的成分组合而形成的,因此并不能单从检测出的化合物数量或某种单一成分来判断所用发酵剂等级优劣。

本实验中4种发酵剂所制作馒头中挥发性风味成分存在差异的根本原因是发酵剂中微生物种类与组成存在一定差别,要想获得特殊风味的馒头就需要对发酵剂进行优化。另外,与文献[27-28]中研究结果比较发现,馒头的挥发性风味成分有部分相同(如乙醇、己酸乙酯、苯甲醛等),而多数成分存在差异,除了发酵剂的影响外,面粉的种类也是产生这些差异的因素之一^[4]。本实验中检测到的老酵发酵剂制作馒头样品中挥发性风味成分数量多于单一发酵剂制作样品,这与文献[27-28]中所报道的结果一致,说明了在相同的条件下,复合型发酵剂产生风味性成分种类更加丰富。本研究结果只是由老酵向复合型发酵剂研发的初步工作,而复合型发酵剂中菌群多样性与代谢产物多样性的研究还要在此工作基础上逐步展开。

参考文献:

- [1] 李里特,薛佳.论传统小麦面食的现代化与工业化[J].粮食与食品工业,2010,17(5):7-10.
- [2] 李里特.中国传统发酵面制品创新与面食现代化[J].粮食与食品工业,2009,16(5):1-3.

- [3] 孙辉, 吴尚军, 姜薇莉. 小麦粉食用品质的感官评定和仪器评价[J]. 粮油食品科技, 2004, 12(1): 25-28.
- [4] 袁建, 鞠兴荣, 汪海峰, 等. 小麦粉品质与馒头加工质量的相关性研究[J]. 食品科学, 2005, 26(12): 57-61.
- [5] ZHU J, HUANG S, KHAN K, et al. Relationship of protein quantity, quality and dough properties with Chinese steamed bread quality[J]. Journal of Cereal Science, 2001, 33(2): 205-212.
- [6] 范玉顶, 李斯深, 孙海艳, 等. 小麦品质性状与北方手工馒头品质指标关系的研究[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(2): 16-20; 25.
- [7] 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.
- [8] 刘长虹. 馒头的品质评价体系及方法[J]. 粮食与食品工业, 2008, 15(1): 4-9.
- [9] 韩志慧, 汪蛟. 馒头保险杀菌工艺研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 209-211.
- [10] 丁长河, 戚光册, 侯丽芬, 等. 传统老酵头馒头的品质特性[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(3): 17-20.
- [11] 苏东民, 胡丽花, 苏东海. 馒头发酵过程中酵母菌和乳酸菌的代谢作用[J]. 食品科学, 2010, 31(13): 200-204.
- [12] 张国华, 何国庆. 我国传统馒头发酵剂的研究现状[J]. 中国食品学报, 2012, 12(11): 115-120.
- [13] 胡丽花, 苏东海, 苏东民. 多菌种混合发酵对主食风味的影响[J]. 食品科技, 2010, 35(3): 149-152.
- [14] PELLATI F, BENVENUTI S, YOSHIZAKI F, et al. Headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry analysis of the volatile compounds of *Evodia* species fruits[J]. Journal of Chromatography A, 2005, 1087(1/2): 265-273.
- [15] IBANEZ E, LOPEZ-SEBASTIAN S, RAMOS E, et al. Analysis of volatile fruit components by headspace solid-phase microextraction[J]. Food Chemistry, 1998, 63(2): 281-286.
- [16] 皮向荣, 郝俊光, 陈华磊. 啤酒中的羰基化合物来源及形成机理[J]. 酿酒科技, 2010(8): 68-73.
- [17] 姜文广, 李记明, 徐岩, 等. 4种酿酒红葡萄果实的挥发性香气成分分析[J]. 食品科学, 2011, 32(6): 225-229.
- [18] 韩宝瑜, 周成松. 茶梢和茶花信息物引诱有翅茶蚜效应的研究[J]. 茶叶科学, 2004, 24(4): 249-254.
- [19] 范刚, 乔宇, 柴倩, 等. 锦橙果肉和果皮中游离态和键合态香气物质研究[J]. 食品科学, 2007, 28(10): 436-439.
- [20] UMANO K, HAGI Y, NAKAHARA K, et al. Volatile chemicals identified in extract from leaves of Japanese mugwort (*Artemisia princeps* Pamp.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(8): 3463-3469.
- [21] HASSANPOURAGHDAM M B, HASSANI A, VOJODI L, et al. Essential oil constituents of *Lavandula officinalis* Chaix. from Northwest Iran[J]. Chemija, 2011, 22(3): 167-171.
- [22] 王家喜, 王江勇, 高华君, 等. 两种砧木对布鲁克斯大樱桃果实芳香成分的影响[J]. 中国农学通报, 2009(10): 187-190.
- [23] 李洪波, 刘胜辉, 李映志, 等. 顶空固相微萃取和气相色谱-质谱法测定波罗蜜果肉中的香气成分[J]. 热带作物学报, 2013, 34(4): 755-763.
- [24] HO J C. Chemical composition and bioactivity of essential oil of seed and leaf from *Alpinia speciosa* grown in Taiwan[J]. Journal of the Chinese Chemical Society, 2010, 57(4): 758-763.
- [25] 乜兰春, 孙建设, 陈华君, 等. 苹果不同品种果实香气物质研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(3): 641-646.
- [26] 张玉玉, 孙宝国, 陈海涛, 等. 顶空-固相微萃取两种传统面酱挥发性成分的气相色谱-质谱联用分析[J]. 食品科技, 2012, 37(3): 255-260.
- [27] 韩德权, 孙庆申, 李冰, 等. 复合发酵剂和单一酵母馒头风味物质比较[J]. 食品科学, 2012, 33(2): 240-242.
- [28] 苏东海, 李自红, 苏东民, 等. 固相微萃取分析传统老酵头馒头挥发性物质[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(6): 94-97.