

风味发酵液发酵面团挥发性风味物质及特征分析

Analysis of volatile flavor components and characteristics of dough fermented with flavor fermentation liquid

张艳梅^{1,2} 朱玉昌^{1,3} 杨丹丹^{1,2}

ZHANG Yanmei^{1,2} ZHU Yuchang^{1,3} YANG Dandan^{1,2}

潘旭芳^{1,3} 柏 汇^{1,3} 周大寨^{1,2}

PAN Xufang^{1,3} BAI Hui^{1,3} ZHOU Dazhai^{1,2}

(1. 湖北民族大学生物资源保护与利用湖北省重点实验室, 湖北 恩施 445000; 2. 湖北民族大学林学园艺学院, 湖北 恩施 445000; 3. 湖北民族大学生物与食品工程学院, 湖北 恩施 445000)

(1. Hubei Key Laboratory of Biologic Resources Protection and Utilization, Hubei Minzu University, Enshi, Hubei 445000, China; 2. School of Forestry and Horticulture, Hubei Minzu University, Enshi, Hubei 445000, China; 3. College of Biological and Food Engineering, Hubei Minzu University, Enshi, Hubei 445000, China)

摘要:目的:探究不同发酵时间下风味发酵液发酵面团的挥发性成分种类及含量。方法:采用顶空固相微萃取—气质联用法(HS-SPME-GC-MS)测定风味发酵液发酵12, 24, 36, 48, 72 h时,面团中的挥发性风味物质,并进行气味感官评定及pH值、总酸度(TAA)和面团流变学特性测定。结果:因不同发酵时间下产生的风味物质的种类和含量不等,8种气味(乳香、干酪味、花香味、水果甜香、酒味、麦芽味、青草香和酸味)的强弱度不同;面团pH值随发酵时间的延长逐渐降低,TTA则相反;面团的拉伸阻力、拉伸比及拉伸面积随发酵时间的延长整体呈先增后减趋势,延伸性则先下降后升高,表明适度发酵(发酵36 h)有利于面筋网络的形成和稳定。5个面团中共检出92种挥发性物质,其中醇类22种、酯类27种、醛类12种、酮类14种、烷烃类10种、酸类7种;发酵12, 24, 36, 48, 72 h的面团中分别检出27, 43, 38, 41, 37种挥发性风味成分,其中酸类及酯类物质含量随发酵时间的延长先升后降,均在48 h达到最高(分别为47.31%和20.96%),醛类、酮类及酸类物质含量则随发酵时间的延长逐渐降低。结论:不同发酵时间的挥发性物质均以醇类物质为主,总的风味物质种类及醇类和酯类物质相对

含量均在发酵48 h达到最高,表明醇类及酯类物质可能是面团发酵过程中风味的主要贡献物质。

关键词:风味发酵液;发酵面团;顶空固相微萃取;挥发性风味物质;品质特性

Abstract: **Objective:** This study aimed to investigate the varieties and contents of volatile components in fermented dough with flavor fermentation broth at different fermentation time. **Methods:** Headspace solid phase microextraction-gas chromatography (HS-SPME-GC-MS) was used to determine the volatile flavor substances in the dough of the flavor ferment at 12, 24, 36, 48 and 72 h. Also, sensory evaluation of the odor and determination of pH value, total acidity (TAA) and rheological properties of the dough were measured. **Results:** The strength of eight odors (frankincense, cheese, flower, fruit sweet, wine, malt, grass and sour) showed different performance, depending on the types and contents of the flavour substances produced during the different fermentation periods. The pH value of the dough gradually decreases with the time of fermentation, while TTA was the opposite. The tensile resistance, stretch ratio and tensile area of dough increased first but decreased with the extension of fermentation time, while the elongation of dough decreased first then increased. These results indicated that moderate fermentation (36 h) was beneficial to the formation and stability of the gluten network. A total of 92 volatile substances were detected in the dough with 5 fermentation times, including 22 alcohols, 27 esters, 12 aldehydes, 14 ketones, 10 alkanes, and 7 acids. A total of 27, 43, 38, 41 and 37 volatile flavor components were detected from

基金项目:湖北省教育厅项目(编号:Q20131908);恩施州科技计划项目(编号:XYJ2020000022);生物资源保护与利用湖北省重点实验室开放基金(编号:PT012015)

作者简介:张艳梅,女,湖北民族大学在读硕士研究生。

通信作者:朱玉昌(1979—),女,湖北民族大学副教授,博士。

E-mail: zycandly@163.com

收稿日期:2022-10-17 **改回日期:**2023-05-15

the dough fermented for 12, 24, 36, 48 and 72 h, respectively. The contents of acids and esters increased first then decreased with the prolongation of fermentation time and reaching the highest at 48 h (47.31% and 20.96%, respectively). On the other hand, the contents of aldehydes, ketones and acids all gradually decreased. **Conclusion:** The volatile substances of different fermentation times were alcohols mainly, and the total flavor substances and the relative content of alcohols and esters reached the highest at 48 h, indicating that alcohols and esters might be the major contributors to the flavor of dough during fermentation.

Keywords: flavor fermentation liquid; fermented dough; headspace solid phase microextraction; volatile flavor compounds; quality characteristics

风味发酵液是通过某类主要原料(马铃薯、食用菌、金蝉花)与水混合后,添加或不添加其他辅料(如小麦粉)^[1-3],经自然发酵或人为控制条件的液体培养后过滤制得的液体发酵剂,含大量的风味物质^[4],不仅具有较高的营养价值,还具有独特的风味^[5-6]。传统小麦发酵面团大多使用老面、酵子以及工业化生产的活性干酵母作为发酵剂,存在地域差异,且品质不稳定,口味单一、风味不足^[7]。鉴于风味发酵液风味浓郁、使用便利、易贮藏等特点,将其用于制作发酵面团,不仅能满足人们的健康需求,还可以促进风味发酵液市场的持续发展^[8]。

固相微萃取技术(SPME)结合 GC-MS 被广泛应用于发酵面团挥发性成分检测,其特点是集萃取、吸附、富集、洗脱和进样于一体^[9]。王丹等^[10]利用 SPME-GC-MS 技术对比分析了荞麦和小麦面团在不同发酵剂下所产生挥发性风味物质成分的差异;张亭妍等^[11]利用 SPME-GC-MS 技术对酵母及酵子馒头风味物质的种类及相对含量进行了差异性比较。

研究拟采用自然发酵的风味发酵液发酵小麦面团,运用 HS-SPME-GC-MS 技术检测风味发酵液不同发酵时间下面团的挥发性风味物质,同时进行气味感官评估及部分理化指标测定,以期工业化利用风味发酵液发酵面团制作产品提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

食品风味发酵液:恩施巴山元古生物科技有限公司;百钻小麦面包粉:安琪酵母(湖北自贸区)有限公司;固相萃取头:上海安谱科学仪器有限公司;氢氧化钠、氯化钾、邻苯二甲酸氢钾、磷酸氢二钠、磷酸氢二钾:分析纯,国药集团化学试剂(上海)有限公司。

1.2 仪器与设备

GC-MS 联用仪:7890A-5975C 型,美国 Agilent 公司;

pH 计:FE20 型,梅特勒—托利多(上海)有限公司;恒温摇床:SPH-2102 型,上海世平实验设备有限公司;电子分析天平:BSA224S-CW 型,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;恒温水浴锅:SB-5 型,东京理化器械株式会社;面团拉伸仪:JMLD105 型,北京东孚久恒仪器技术有限公司;纯水机:UPL-II-40U 型,四川优普超纯科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 风味发酵液发酵面团的制作 以 300 g 小麦面包粉为基准,将其与 99 g 风味发酵液、99 g 纯净水依次装入 800 mL 宽口玻璃瓶中,混匀,用封口膜密封后于 20 ℃ 恒温摇床以 120 r/min 分别发酵 12,24,36,48,72 h,即得到不同发酵时间的面团样品,每个发酵时间平行 3 次。

1.3.2 发酵面团气味感官评定 选择 6 名食品专业人员组成感官评定小组,评定前期,评价小组成员对样品的描述词汇进行讨论后在描述程度上达成一致。确定发酵面团的 8 种气味感官描述词汇(乳香、干酪味、花香味、水果甜香、酒味、麦芽味、青草香、酸味)及评价标准见表 1,分值越高代表该物质的风味越强烈,每个样品测定 3 次取平均值。

表 1 发酵面团气味感官评鉴依据及评分标准[†]
Table 1 Sensory evaluation basis and scoring standard of fermented dough odor

描述气味词汇	气味来源	参考文献
乳香	醛类及乙酸乙酯等	[12]
干酪味	2-壬酮等	[12]
花香味	己酸乙酯	[13]
水果甜香	辛酸乙酯等	[12]
酒味	乙醇	[12]
麦芽味	醛类物质	[14]
青草香	酮类物质等	[15]
酸味	挥发性酸等	[12]

[†] 无气味(1~2 分);气味较淡(3~4 分);气味稍浓(5~6 分);气味浓厚(7~8 分);气味强烈(9~10 分)。

1.3.3 发酵面团理化指标测定

(1) pH 值、总酸度(TTA):参照张新杰^[16]的方法。
(2) 面团流变特性:参照 GB/T 14615—2019。

1.3.4 挥发性风味物质测定 取样品 100 g 于 200 mL 顶空瓶中,用带有硅橡胶隔垫的瓶盖密封,40 ℃ 水浴 45 min,将已在 250 ℃ 进样口老化无杂峰的萃取头插入顶空瓶中,40 ℃ 吸附 45 min,取出后插入 GC 进样口,解析 2 min,进行 GC-MS 分析。

(1) GC 条件:色谱柱采用 DB-5MS 石英毛细管色谱柱(30 m×320 μm×0.25 μm),进样口温度 250 ℃,载气

为氦气,流速 1 mL/min;升温程序:初始温度 30 ℃,保持 2 min,以 4 ℃/min 升温至 40 ℃,以 5 ℃/min 升温至 60 ℃,以 4 ℃/min 升温至 100 ℃,以 5 ℃/min 升温至 140 ℃,以 10 ℃/min 升温至 250 ℃并保持 10 min,共 47.5 min。

(2) MS 条件:电离方式 EI 源,电离能量 70 eV;离子源温度 230 ℃;四极杆温度 150 ℃;质量扫描范围 33~500。GC-MS 测定结果通过 NIST14.L 数据检索库进行鉴定,面积归一法计算相对含量。

1.4 数据分析

采用 Origin 2018 和 Excel 软件对试验数据进行处理、分析及绘图;采用 SPSS 26.0 软件进行差异性显著分析,以 $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 面团气味感官评价

由图 1 可知,随着发酵时间的延长,8 种气味的强弱呈现不同的表现,其中干酪味在发酵 48 h 内较淡,72 h 时变得稍浓;花香味与水果甜香随发酵时间的延长呈先减后增趋势,但总体水平有差异,花香味较淡,水果甜香较浓;酒味随发酵时间的延长而增加,在 36 h 时达浓厚后不再变化;麦芽味在发酵 24 h 内较浓,36 h 时达到浓厚,继续发酵后又减弱转为较浓;酸味在发酵 48 h 内稍浓,72 h 时减弱变得较淡;乳香和青草味在整个发酵期间无明显变化,均较淡。

各发酵时间段发酵面团气味存在差异,可能是由于风味发酵液中的微生物与酶在不同发酵时间下的活力及活性不同,因而在不同发酵时间所产生的风味物质如醇类、酯类及醛类的物质含量不等。

2.2 面团理化指标

2.2.1 pH 值及 TTA 由图 2 可知,发酵面团 pH 值随发酵时间延长而下降,根据显著性差异分析,可分为发酵

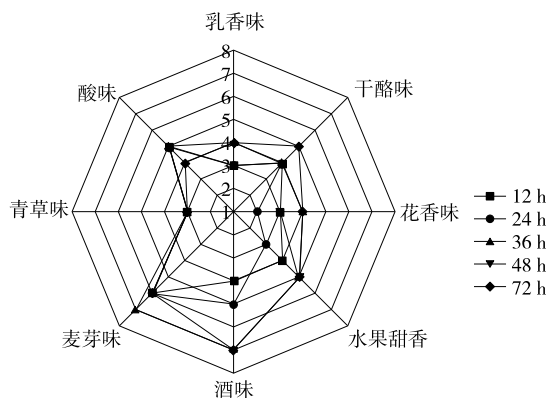


图 1 不同发酵时间下面团气味感官鉴别图

Figure 1 Sensory evaluation chart of dough odor at different fermentation times

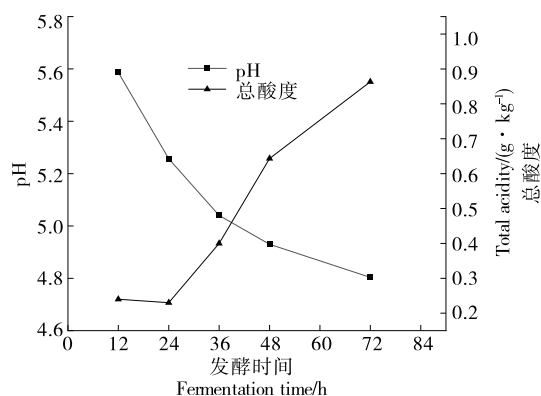


图 2 不同发酵时间下面团的理化指标

Figure 2 Physical and chemical indexes of dough with different fermentation time

12, 24, 36~48, 72 h 4 个阶段。这可能是由于不同发酵阶段微生物的数量和活力不同,尤其是酵母菌生长代谢产酸,使 pH 值在不同发酵时间产生差异性^[17],与邹奇波等^[18]的结论相近,从侧面说明微生物的生长繁殖影响发酵面团的 pH 值。随着发酵过程中产生的其他未解离有机酸的不断积累,TTA 随发酵时间的延长而逐渐增加,根据显著性差异分析,可分为 12~36, 48, 72 h 3 个发酵时间段。

2.2.2 面团流变学特性 由图 3 可知,拉伸阻力、拉伸比及拉伸面积随发酵时间的延长整体呈先增后减趋势;发酵 36 h 时的拉伸阻力(760.33 BU)、拉伸比(13.33)及拉伸面积(45.33 cm²)均达到最高,与发酵 48 h 的无显著性差异,与其他发酵时间均存在显著性差异。其原因是在初始发酵阶段,随着发酵时间的延长,面团黏性不断增强,淀粉颗粒被面筋网络包裹,颗粒间阻力减小形成更紧密的面筋网络^[19],使得拉伸阻力、拉伸比及拉伸面积逐渐增加,但当发酵时间 > 36 h 时,过长的发酵时间使得面团吸水性下降,导致面团中面筋蛋白逐渐被稀释,面筋网络作用减小,筋力减弱^[20]。面团筋力越强则其延伸性越小,因而延伸性在 12 h 时最高,随后降低至 48 h 后又缓慢增加。

2.3 面团挥发性成分

由图 4 可知,5 个发酵时间下面团中共检出 92 种化合物,其中醇类 22 种、酯类 27 种、醛类 12 种、酮类 14 种、烷烃类 10 种、酸类 7 种。发酵面团在不同发酵时间内均以醇类物质为主,其次相对含量较高的物质在不同发酵时间有差别,发酵 12 h 的为醛类,24 h 的为酸类及烷烃类,36 h 的为烷烃类,48, 72 h 的为酯类。当发酵时间为 48 h 时,总的风味物质种类及醇类和酯类物质相对含量最高。

2.3.1 醇类物质 由表 2 可知,发酵面团中共检出 22 种醇类物质,其中 7 种为共有物质。醇类物质的种类及含

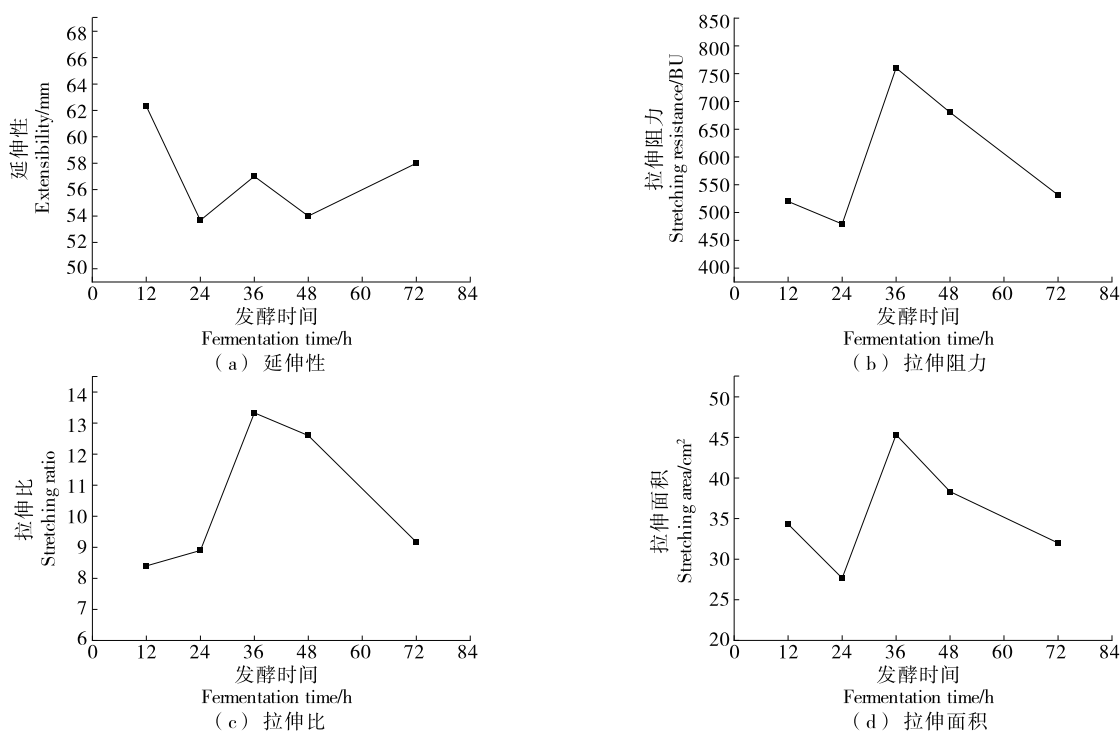


图 3 不同发酵时间下面团的拉伸特性

Figure 3 Stretching characteristics of dough with different fermentation time

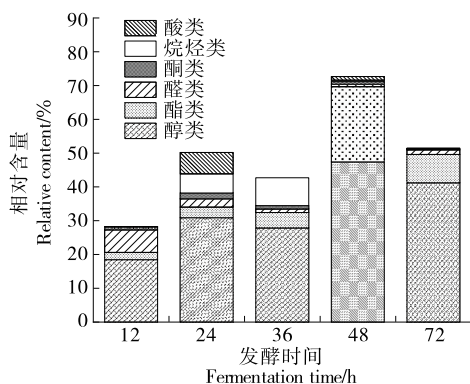


图 4 不同发酵时间下面团中挥发性成分种类的相对含量

Figure 4 Relative content of volatile components in dough at different fermentation time

量随发酵时间的延长先增加后降低,发酵 48 h 时种类最多、相对含量最高,有 13 种醇类物质且相对含量为 47.31%,其中乙醇占 19.48%,能够赋予面团酒香味,因而感官评价时气味浓厚,且与 72 h 的无显著性差异。此外,2-苯乙醇、异戊醇在各发酵时间中均有检出,且含量较高,赋予面团花香及果香^[21]。

2.3.2 酯类物质 由表 2 可知,5 个发酵时间分别检出 6, 9, 10, 16, 12 种酯类物质,其总相对含量由 12 h 的 1.70% 增加到 48 h 的 20.96% (最高) 后逐渐下降。酯类物质中的辛酸乙酯、己酸乙酯及癸酸乙酯在各发酵时间内均有检出且

相对含量较高,辛酸乙酯在 48 h 时相对含量最高为 10.38%,是主要的酯类物质,能够赋予面团水果香气,因此感官中的水果香气在发酵 48 h 时气味由较淡增强到稍浓。

2.3.3 醛类及酮类 当发酵时间为 12 h 时,醛类物质种类多且相对含量高,以正己醛 (3.97%)、苯甲醛 (1.11%) 为主,赋予面团杏仁香气^[22]。随着发酵时间延长,醛类物质的种类及相对含量减少并伴随着新物质苯乙醛、椰子醛等的产生,与邓瑾等^[23]的结果相近。

酮类物质是通过不饱和脂肪酸受热氧化后降解产生^[24]。酮类物质中的 3-辛酮及 2-辛酮在各发酵时间内均有检出,且发酵 24 h 的相对含量较高分别为 0.69%, 0.84%, 赋予面团青草香,酮类物质相对含量低,可能对发酵面团香的贡献较小,因此随发酵时间延长对青草香无影响。

2.3.4 酸类及烷烃类 酸类物质作为发酵产物对面团的风味贡献较小,主要为合成酯类物质的前体物质。发酵 24 h 时检出 *D*-丙氨酸 (3.66%)、*L*-丙氨酸 (1.51%), 二者能在一定程度上增加甜味而使酸味减弱^[25]。发酵初期微生物生长繁殖产生的酸类物质导致 pH 值降低,但随着发酵时间的延长,直至发酵后期,面团中微生物的生长受到发酵环境中的营养物质及产酸能力的局限^[26],酸类物质逐渐减少, pH 值持续下降的趋势减缓。

烷烃类物质是发生脂质过氧化反应所产生,单独烃类对风味贡献不大,但多种烷烃及烯烃的协同作用可能对面团的风味有整体贡献^[27]。

表 2 不同发酵时间下面团中挥发性成分相对含量[†]

Table 2 Relative content of volatile components in dough at different fermentation times %

种类	化合物	发酵时间				
		12 h	24 h	36 h	48 h	72 h
醇类	乙醇	5.20±4.77 ^c	10.03±2.30 ^{bc}	8.70±7.59 ^c	19.48±1.43 ^a	17.82±3.07 ^{ab}
	2-苯乙醇	1.74±0.42 ^d	4.26±0.76 ^c	8.93±2.05 ^b	14.91±0.30 ^a	13.35±1.52 ^a
	异丙醇	2.29±1.11 ^c	2.79±3.42 ^{bc}	2.87±3.06 ^{bc}	7.15±0.78 ^a	4.72±2.04 ^b
	1-辛烯-3-醇	1.01±0.25 ^a	1.04±0.61 ^a	0.51±0.13 ^{ab}	0.50±0.08 ^{ab}	0.33±0.03 ^b
	正己醇	6.95±3.33 ^{ab}	8.65±3.91 ^a	3.83±1.15 ^{bc}	1.79±1.51 ^c	2.25±1.24 ^c
	正辛醇	0.10±0.16 ^c	0.80±0.84 ^a	0.51±0.19 ^{ab}	0.61±0.06 ^{ab}	0.35±0.30 ^{bc}
	正庚醇	0.60±0.31 ^b	1.19±0.55 ^a	0.54±0.12 ^b	0.47±0.02 ^b	0.36±0.04 ^b
	正戊醇	0.36±0.35	0.51±0.12	—	—	—
	2-甲基丁醇	0.18±0.30 ^b	—	—	1.97±0.29 ^a	1.31±0.72 ^a
	环丁醇	—	1.42±1.28	—	—	—
	苯甲醇	—	0.11±0.93	0.11±0.02	0.14±0.06	0.15±0.03
	DL-氨基丙醇	—	—	0.40±0.68	—	—
	3-甲硫基丙醇	—	—	0.75±0.13 ^a	0.19±0.02 ^b	0.17±0.03 ^b
	正丁醇	—	—	0.08±0.13	—	—
	1-壬醇	—	—	—	0.05±0.09	0.12±0.20
	5-甲基-2-己醇	—	—	—	0.02±0.03	—
	香茅醇	—	—	—	0.03±0.02	0.04±0.01
	顺-3-壬烯-1-醇	—	—	—	—	0.07±0.12
	5-硝基-1h-吡唑-3-醇	—	—	—	—	0.01±0.01
	月桂醇	—	—	—	—	0.04±0.06
	(S,S)-(+) -2,3-丁二醇	—	—	—	—	0.02±0.01
	正癸醇	—	—	—	—	0.09±0.11
酯类	己酸乙酯	0.85±0.54 ^b	1.64±1.20 ^b	1.79±0.60 ^b	5.77±3.16 ^a	1.91±0.09 ^b
	癸酸乙酯	0.19±0.24 ^b	0.17±0.04 ^b	0.23±0.06 ^b	2.57±1.55 ^a	1.16±0.10 ^{ab}
	乙酸乙酯	0.04±0.07 ^c	—	—	0.14±0.24 ^b	0.54±0.93 ^a
	甲酸辛酯	0.32±0.31	0.18±0.30	—	—	—
	辛酸乙酯	0.18±0.17 ^b	0.84±0.60 ^b	1.46±0.53 ^b	10.38±6.40 ^a	2.67±0.63 ^b
	氨基甲酸乙酯	0.12±0.19	—	—	—	—
	乙酸正己酯	—	0.12±0.12 ^a	0.06±0.03 ^b	0.13±0.06 ^a	0.05±0.00 ^b
	庚酸乙酯	—	0.09±0.10 ^b	0.10±0.02 ^b	0.50±0.27 ^a	—
	月桂酸乙酯	—	0.16±0.28 ^a	0.02±0.01 ^b	0.15±0.07 ^a	0.13±0.02 ^a
	甲酸己酯	—	0.12±0.20	—	—	—
	结晶紫内酯	—	0.01±0.01	—	—	—
	己酸异丁酯	—	—	0.03±0.04 ^b	0.43±0.32 ^a	0.10±0.09 ^{ab}
	环辛酸酯	—	—	0.06±0.02	—	—
	2-苯乙基丙酸酯	—	—	0.01±0.02 ^b	—	0.10±0.10 ^a
	2-苯基乙酸乙酯	—	—	0.02±0.03	0.02±0.02	—
	己酸异戊酯	—	—	—	0.47±0.34	—
	苯乙酸乙酯	—	—	—	0.09±0.01	0.04±0.03
	壬酸乙酯	—	—	—	0.17±0.09 ^a	0.04±0.04 ^b
	正辛酸异戊酯	—	—	—	0.07±0.06	—
	正辛酸异丁酯	—	—	—	0.04±0.03	—
	己酸丙酯	—	—	—	0.02±0.03	—
	苯甲酸乙酯	—	—	—	0.03±0.02	—
	棕榈酸乙酯	—	—	—	0.01±0.01	0.02±0.01
	氯乙基氨基甲酸酯	—	—	—	—	0.16±0.28

续表 2

种类	化合物	发酵时间				
		12 h	24 h	36 h	48 h	72 h
醛类	正己醛	3.97±3.40 ^a	0.70±0.32 ^b	0.05±0.08 ^c	—	—
	庚烯醛	0.46±0.79	—	—	—	—
	辛烯醛	0.49±0.45	—	—	—	—
	苯甲醛	1.11±0.79 ^a	0.47±0.23 ^{ab}	0.95±0.23 ^a	0.18±0.07 ^b	0.09±0.02 ^b
	正庚醛	0.14±0.23	—	—	—	—
	辛醛	0.08±0.14	—	—	—	—
	正壬醛	0.07±0.13	—	—	—	—
	乙醛	0.10±0.11 ^b	1.15±1.99 ^a	—	—	0.04±0.07 ^c
	苯乙醛	—	0.09±0.09	0.03±0.02	0.08±0.06	0.04±0.01
	椰子醛	—	0.04±0.01 ^b	0.05±0.01 ^b	0.19±0.26 ^a	0.18±0.01 ^a
	癸醛	—	0.01±0.02	—	0.01±0.02	0.01±0.02
	甘油缩甲醛	—	—	—	0.26±0.45	1.01±1.75
酮类	3-辛酮	0.51±0.26 ^{ab}	0.69±0.83 ^a	0.36±0.11 ^{bc}	0.17±0.16 ^{cd}	0.04±0.07 ^d
	3-辛烯-2-酮	0.22±0.19	—	—	—	—
	2-辛酮	0.18±0.31 ^c	0.84±1.00 ^a	0.47±0.20 ^b	0.49±0.21 ^b	0.13±0.11 ^c
	2-壬酮	—	0.15±0.19	—	—	—
	异丙基正己基酮	—	0.17±0.28	—	—	—
	2-十四酮	—	—	0.03±0.05	—	—
	双甲酮	—	—	—	—	0.13±0.21
	2-庚酮	—	0.05±0.08	—	—	—
	2-十二酮	—	—	0.03±0.04	—	—
	纳曲酮	—	—	0.02±0.03	—	—
	反式-1-萘酮	—	—	—	0.02±0.03	—
	5-甲基-3-庚酮	—	—	—	0.10±0.16	—
	4-异丙基环己酮	—	—	—	—	0.04±0.06
	3-甲基-4-壬酮	—	—	—	—	0.04±0.06
酸类	DL-2-氨基丙酸	0.03±0.06 ^b	1.12±1.02 ^a	—	—	—
	D-丙氨酸	—	3.66±3.17	—	—	—
	α-甲基氢肉桂酸	—	0.20±0.02	—	—	—
	L-丙氨酸	—	1.51±2.62	—	—	—
	乙醛酸	—	—	—	0.78±1.36	—
	DL-3-氨基丁酸	—	—	—	0.26±0.45	—
	辛酸	—	—	—	0.01±0.02	—
烷烃类	环氧乙烷	—	4.73±3.31 ^b	8.10±7.06 ^a	0.05±0.09 ^c	—
	苯乙烯	—	0.56±0.80 ^a	0.03±0.02 ^b	0.09±0.15 ^b	—
	十一烷	—	0.05±0.09	0.01±0.01	—	—
	十二烷	—	0.06±0.08	0.01±0.01	0.07±0.06	—
	1,2-环氧己烷	—	0.05±0.08	—	—	—
	2-甲基二十五烷	—	0.05±0.07	—	—	—
	1-甲酰吡咯烷	—	0.05±0.08	—	—	—
	β-蒎烯	—	0.02±0.03	—	—	—
	苯并环丁烯	—	0.04±0.07	—	—	—
	十七烷	—	—	0.01±0.02	—	—

† —表示未检出;小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

3 结论

试验结果表明,利用风味发酵液进行面团发酵时,发酵时间对面团的气味、pH 值、总酸值、面团流变学特性和挥发性成分具有显著影响。发酵过程中的微生物数量增加,酵母产酸量积累 pH 值逐渐降低,总酸值逐渐升高。面团流变学特性中的拉伸阻力、拉伸面积及拉伸比随发酵时间延长呈先上升后下降趋势,延伸性则先下降后升高,表明适度发酵(发酵 36 h)有利于面筋网络的形成和稳定。发酵面团中共检出 92 种挥发性成分,其中醇类及酯类物质的相对含量较高,且随发酵时间的延长呈先上升后下降,在 48 h 时达到最高值,分别为 47.31%, 20.96%。醇类物质中的共有成分乙醇、2-苯乙醇、异戊醇含量高,表现以酒香及花香为主,是主要呈香物质;酯类物质中共有成分辛酸乙酯、己酸乙酯及癸酸乙酯含量高,表现以水果香气为主,可能是发酵面团风味的主要贡献物质;酸类及烷烃类种类少含量低,对风味贡献较小;醛类及酮类物质相对含量随发酵时间延长逐渐减少,对面团风味贡献较小,可能是在发酵过程中的转化或损失所致,其机理有待进一步研究。综上,当发酵时间为 36~48 h 时,可终止发酵,此发酵时间对面团的风味及品质较好,工厂化生产中可以此作为参考。

参考文献

- [1] 许贺然. 金针菇菌根发酵液对其子实体品质及风味的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019: 1-2.
XU H R. Effect of flammulina velutipes root fermentation broth on the quality and flavor of its fruiting body[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019: 1-2.
- [2] XIONG X Q, LIU C, ZHENG X L. Regulation of structure and quality of dried noodles by liquid pre-fermentation[J]. Foods, 2021, 10(10): 2 408.
- [3] YI C, ZHU H, YANG R, et al. Links between microbial compositions and volatile profiles of rice noodle fermentation liquid evaluated by 16S rRNA sequencing and GC-MS [J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 118: 108774.
- [4] SU W Y, GAO S Y, ZHAN S J, et al. Evaluation of volatile profile and in vitro antioxidant activity of fermented green tea infusion with *Pleurotus sajor-caju* (Oyster mushroom) [J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 14: 865991.
- [5] WICKRAMASINGHE P, MUNAFO J P. Key odorants from the fermentation broth of the edible mushroom *ischnoderma resinosa* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(7): 2 036-2 042.
- [6] XIONG H, GUAN Q L, GONG M F, et al. Fermentation properties of yogurt with fermented broth of *Paecilomyces cicadae* [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 559(1): 12-13.
- [7] 张国华. 不同地区传统面食发酵剂中菌群结构及优势菌种代谢的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 2-4.
ZHANG G H. Microbial communities in traditional sourdoughs from different areas of China and metabolic activity of dominant microorganism[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014: 2-4.
- [8] 张露晶, 张昕茹, 王鑫. 添加食用菌发酵液的全麦面包的研究进展[J]. 中国食用菌, 2021, 40(4): 104-107, 112.
ZHANG L J, ZHANG X R, WANG X. Research progress of whole wheat bread adding edible fungi fermentation broth[J]. Edible Fungi of China, 2021, 40(4): 104-107, 112.
- [9] 吴哲宽, 饶雄飞, 马希斌, 等. 固相微萃取研究进展[J]. 云南化工, 2021, 48(10): 9-10.
WU Z K, RAO X F, MA X B, et al. Development of solid phasemicroextraction technology[J]. Yunnan Chemical Technology, 2021, 48(10): 9-10.
- [10] 王丹, 张岚, 王佳鑫, 等. HS-SPME-GC-MS 法分析发酵过程中荞麦和小麦面团香气成分变化[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 207-217.
WANG D, ZHANG L, WANG J X, et al. HS-SPME-GC-MS analysis of variations in the aroma composition of buckwheat and wheat during fermentation [J]. Food Science, 2018, 39(20): 207-217.
- [11] 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 T Y, WANG H Y, LIU Z D. 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.
- [12] 邢小龙. 河南地区老酵面团菌群结构及优势菌种复配研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2020: 64-68.
XING X L. Microbial communities in Chinese traditional fermented dough from Henan province and compound properties of predominant microorganism[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2020: 64-68.
- [13] 马子琳. 产单宁酶乳酸菌在豆类酸面团馒头中的应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 44-46.
MA Z L. Study on the application of tannase-producing LAB in legumes sourdough steamed bread[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 44-46.
- [14] SCHUTTER D P D, SAISON D, DELVAUX F, et al. Optimisation of wort volatile analysis by headspace solid-phase microextraction in combination with gas chromatography and mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography A, 2008, 1 179(2): 75-80.
- [15] 周一鸣, 欧阳博雅, 向茜, 等. 不同乳酸菌发酵酸面面对品质及风味的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 176-183.
ZHOU Y M, OUYANG B Y, XIANG Q, et al. Effect of sourdough fermented by different lactic acid bacteria on bread quality and flavor[J]. Food Science, 2022, 43(2): 176-183.
- [16] 张新杰. 东北地区传统粘豆包发酵面团的微生物多样性及其与理化性质的关系[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017: 12-13.

- ZHANG X J. The research of microbial diversity on northeast traditional sticky bean bun sourdough and its relationship with the physical and chemical properties [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017: 12-13.
- [17] 艾志录, 聂文静, 邢小龙, 等. 不同地区传统老酵头对面团发酵特性及馒头品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(10): 71-78.
- AI Z L, NIE W J, XING X L, et al. Effects of Chinese traditional starters from different regions on fermentation characteristics of dough and quality of steamed bread[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(10): 71-78.
- [18] 邹奇波, 程新, 陈诚, 等. 混菌发酵酸面团对全麦面包风味与烘焙特性的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(4): 32-39.
- ZOU Q B, CHENG X, CHEN C, et al. Effects on flavor and baking characteristics of whole wheat bread by fermented sourdough with the mixed culture[J]. Food & Machinery, 2020, 36(4): 32-39.
- [19] 张毅. 制面过程小麦面团特性及面筋网络结构影响机理的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021: 32-34.
- ZHANG Y. Study on the influence mechanism of dough making process on wheat dough characteristics and gluten network structure[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2021: 32-34.
- [20] 张凤婕, 张天语, 曹燕飞, 等. 甘薯泥对面团流变特性及馒头品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(6): 1-5.
- ZHANG F J, ZHANG T Y, CAO F Y, et al. The effects of mashed sweet potato on rheological quality of dough and quality of steamed bread[J]. Food Research and Development, 2020, 41(6): 1-5.
- [21] 李涛, 周颖, 张军, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 和 PCA 分析不同发酵原料对草莓酒香气成分的影响[J/OL]. 食品与发酵工业. (2022-07-08) [2022-09-27]. <https://link.cnki.net/doi/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031972>.
- LI T, ZHOU Y, ZHANG J, et al. Effect of different fermentation materials on aroma components of strawberry wines based on HS-SPME-GC-MS and PCA[J/OL]. Food and Fermentation Industries. (2022-07-08) [2022-09-27]. <https://link.cnki.net/doi/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031972>.
- [22] 宋晶晶, 王犁烨, 赵昊, 等. 不同品种葡萄皮渣蒸馏酒挥发性香气成分分析[J]. 中国酿造, 2020, 39(6): 124-132.
- SONG J J, WANG L Y, ZHAO H, et al. Analysis of volatile components in distilled spirits with grape skin residue of different varieties[J]. China Brewing, 2020, 39(6): 124-132.
- [23] 邓瑾, 李志建, 刘长虹, 等. 顶空固相微萃取—气质联用分析酵母发酵面团挥发性风味物质[J]. 食品科技, 2015, 40(11): 124-130.
- DENG C, LI Z J, LIU C H, et al. Analysis of volatile components in fermented dough made with Jiaozi (leaven) by HS-SPME-GC-MS[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(11): 124-130.
- [24] RUIZ J, VENTANAS J, CAVA R. New device for direct extraction of volatiles in solid samples using SPME[J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(11): 5 115-5 121.
- [25] 丁兆伟. 利用微生物的不对称降解原理筛选 D-丙氨酸菌种及发酵工艺[D]. 大连: 大连工业大学, 2014: 40-41.
- DING Z W. Using asymmetric degradation principle of microorganism isolate D-alanine strains and fermentation process [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2014: 40-41.
- [26] 周春艳, 张华铮, 陈红兵, 等. 酸面团发酵技术应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(17): 375-380.
- ZHOU C Y, ZHANG H Z, CHEN H B, et al. Progress in application of sourdough fermentation technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(17): 375-380.
- [27] 朱文政, 严顺阳, 徐艳, 等. 顶空固相微萃取—气质联用分析不同烹制时间红烧肉挥发性风味成分[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 247-253.
- ZHU W Z, YAN S Y, XU Y, et al. Analysis of volatile flavor components of braised pork with different cooking time by SPME-GC-MS[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(2): 247-253.

欢迎订阅《粮食与食品工业》

- CNKI 中国期刊全文数据库收录期刊
- 万方数据中国数字化期刊群收录期刊
- 中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊
- 中文科技期刊数据库收录期刊

《粮食与食品工业》杂志是集粮油基础理论、实际应用于一体的综合科技期刊, 已成为米、面、油、食品、淀粉及深加工、仓储、检化验等行业发布新技术、新产品、新成果信息的良好载体, 工程技术人员交流技术、切磋技艺的合适平台, 是中国粮油学会食品分会、油脂分会和发酵面食分会会刊。主要设置专题综述、粮油工程、食品科技、生物工程、粮食流通技术、粮油建筑工程、粮油装备与自动控制、粮油市场、发酵面食、标准与检测、信息传递等栏目。国内外公开发行, 双月 15 日出版, 大 16K 本。

订阅方法:

- 邮发代号: 28-197, 全国各邮局(所)均可订阅, 每期定价 8 元, 全年定价 48 元。
- 现金订阅: 直接通过邮局汇款至《粮食与食品工业》编辑部订阅, 全年定价 60 元(包括平邮邮费), 本处常年办理订阅业务。
- 银行汇款:

帐户: 无锡中粮工程科技有限公司 开户行: 江苏银行无锡城郊支行
帐号: 88101018890000277

联系方式:

地址: 无锡市惠河路 186 号 《粮食与食品工业》编辑部
邮编: 214035 电话: 0510-85867384, 85867515-660
传真: 0510-85867384 E-mail: lsypgy@126.com

欢迎订阅

敬请赐稿

欢迎刊登广告