

不同发酵时间甜酒酿面团的超微结构与面包香气特征研究

吴玉新¹, 张可欣¹, 蒋 慧¹, 汤晓娟¹, 徐 岩¹, 黄卫宁^{1,*}, 李 宁², Filip Arnaut³

(1.江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏无锡 214122;

2.广州焙乐道食品有限公司, 广东广州 511400;

3.焙乐道食品集团, 比利时布鲁塞尔 B1702)

摘 要:本研究将不同发酵时间(0、24、48、72 h)的广西农家酒曲制备的酒酿应用到面包中,采用 α -氨基态氮表征蛋白酶活力,利用激光共聚焦观察面团的超微结构,通过气质联用测定面包中的挥发性风味物质,并结合感官鉴评,对面包进行品质评价。结果表明:甜酒酿面团(FRD)发酵前后 α -氨基氮含量没有显著性差异($p > 0.05$),但添加有48 h甜酒酿面团的网络结构最稳定。与发酵0 h甜酒酿面包(FRB)相比,48 h甜酒酿面包中酯类、醇类物质明显增多,尤其是辛酸乙酯、壬酸乙酯以及异戊醇,赋予面包更浓郁的花香和果香。除72 h甜酒酿面包外,各组面包比容没有显著性差异($p > 0.05$),48 h甜酒酿面包在感官鉴评中获得更高的分数,面包更易被接受。

关键词:甜酒酿,发酵时间,激光共聚焦,气相色谱-质谱法

Research on Ultrastructure of Dough and Aroma Characteristics of Bread Containing Glutinous Rice Fermented at Different Fermentation Time

WU Yu-xin¹, ZHANG Ke-xin¹, JIANG Hui¹, TANG Xiao-juan¹,

XU Yan¹, HUANG Wei-ning^{1,*}, LI Ning², Filip Arnaut³

(1.State Key School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2.Guangzhou Puratos Food Co., Ltd., Guangzhou 511400, China;

3.Puratos Group NV/SA, Brussels B1702, Belgium)

Abstract: Guangxi farm Qu Starter was used as starter to ferment glutinous rice at different fermentation times (0, 24, 48 and 72 h), which was then added into bread. The α -amino nitrogen content was used to characterize protease activity. The micro structure and volatile flavor content of bread were determined using the laser scanning confocal microscope (CLSM) and GC-MS, respectively. The quality of the bread was determined by sensory evaluation. The results showed that there was no significant difference in α -amino nitrogen content in fermented dough containing the fermented glutinous rice (FRD) before and after fermentation ($p > 0.05$). However, the network structure of the dough after 48 h FRD was the most stable. Compared to the bread with 0 h fermented glutinous rice (FRB), 48 h FRB contained more esters, alcohol substances, especially ethyl caprylate, ethyl decanoate and isoamyl alcohol, giving the bread a more rich floral and fruity. Except bread with 72 h fermented glutinous rice, there was no significant difference in the specific volume of each group of bread ($p > 0.05$). Bread with 48 h fermented glutinous rice obtained higher scores in sensory evaluation, thus making this bread more acceptable.

Key words: fermented glutinous rice; fermented time; CLSM; GC-MS

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)02-0029-08

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.02.006

引文格式: 吴玉新, 张可欣, 蒋慧, 等. 不同发酵时间甜酒酿面团的超微结构与面包香气特征研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(2): 29-36.

面包具有丰富的营养、细腻的口感, 是一种美味又健康的食品。从传统意义上来说, 面包是由高筋

粉为主要原料, 与水以及发酵剂经过搅拌、发酵和烘焙而成。随着人们生活水平的提高, 对面包的风味

收稿日期: 2018-04-16

作者简介: 吴玉新(1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 烘焙科学、酸面团与功能配料, E-mail: 2319581999@qq.com。

* 通讯作者: 黄卫宁(1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 烘焙科学与酸面团发酵技术, 谷物食品添加剂, E-mail: wnhuang@jiangnan.edu.cn。

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目 863 计划(2012AA022207C); 国家自然科学基金(31071595, 31571877); 比利时国际合作项目(BE110021000)。

口感以及营养的要求越来越高,因此研发新的优良风味、营养健康的面包势在必行。

甜酒酿在中国民间流传已久。甜酒酿是利用酒曲中的微生物,以糊化的糯米为原料,利用酒曲中的根霉和米曲霉将糊化后的淀粉糖化,水解成低分子的糖类物质,酿酒酵母利用糖化产物产生醇类物质,给酒酿带来独特的风味^[1]。乳酸菌产生乳酸、乙酸等酸味物质,调节酒酿体系中的 pH,并在酶的作用下与醇类物质反应生成酯类化合物,使得酒酿具有宜人的香气^[2]。甜酒酿具有营养丰富且风味独特的特点,已被广泛应用于谷物加工产品中。李志建等^[3]在馒头中添加甜酒酿来改善馒头的风味。黄璐等^[4]在面包中添加酒酿滤汁,发现制得的面包储藏期得到延长,风味也得到改善。但是由于酒酿中固形物含量大于 50%^[5],若将固形物丢弃就会造成巨大的浪费。

因此,本文旨在研究添加不同发酵时间甜酒酿的面团中蛋白酶和微观结构的变化以及面包的风味化合物特征,探索出最佳发酵时间,以期对酒酿面包的品质改善提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

甜酒曲 广西酒曲(GX);即发活性干酵母 乐斯福(明光)有限公司;黄油 福临门(张家港)有限公司;小麦粉 中粮集团有限公司;粳糯米、食盐、白砂糖 市售;氢氧化钠、茚三酮、甘氨酸、氯化钠 国药集团化学试剂有限公司;罗丹明 B、异硫氰酸荧光素(FITC) 上海阿拉丁生化科技股份有限公司;OTC 冰冻切片包埋剂 徕卡显微系统(上海)贸易有限公司。

WSYH26A 中式电蒸锅 广东美的生活电器制造有限公司;BSC-250 恒温恒湿箱、HHS-21-4 电热恒温水浴锅 上海博迅实业有限公司医疗设备厂;SCIION SQ 456-GC 四级杆质谱气质联用仪 美国布鲁克公司;75 μm CAR/PDMS 固相微萃取头 美国 Supel-co 公司;CM1950 冰冻切片机 德国徕卡公司;LSM710 激光共聚焦显微镜 德国蔡司公司;SM-25 搅拌缸、SPC-40SP 醒发箱、SM-503 电烤炉、SM302N 切片机 新麦机械(无锡)有限公司;CT3 质构分析仪 美国 Brookfield 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 甜酒酿的制备 称取 250 g 糯米,在自来水(500 g 左右)中浸泡 5 h 左右,称取浸泡后的糯米 380 g,大火蒸制 10 min 后,在糯米表面淋少量水,再蒸制 20 min,冷却,待温度降至 36~38 $^{\circ}\text{C}$ 后,拌入甜酒曲(接种量 0.5% w/w),最后放置在 30 $^{\circ}\text{C}$,湿度 85% 条件下分别发酵 0、24、48、72 h。

1.2.2 甜酒酿 pH 及总可滴定酸度(TTA)测定 根据王益妹等^[6]的方法测定不同发酵时间的甜酒酿的 pH 和 TTA。分别称取不同发酵时间(0、24、48、72 h)的甜酒酿 10 g,量取 90 mL 的蒸馏水,放入搅拌子,置于磁力搅拌器上搅拌均匀静置 10 min 后测定 pH。随后用 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液滴定至 pH 为 8.6 时

消耗 NaOH 的毫升数即为 TTA。

1.2.3 甜酒酿面团和面包的制备 制备总粉质量为 300 g 的小麦面团体系,加入酵母 4.5 g、盐 3 g、糖 18 g 和水 165 g,放入搅拌缸中搅拌,先慢速(60 r/min)搅拌 2 min,再快速(120 r/min)搅拌 4 min。而后将 12 g 的黄油倒入搅拌缸中,先慢速搅拌 1 min 至面团将黄油全部吸收,再快速搅拌 3 min 至面筋网络形成。面团静置松弛 5 min,经切割、搓圆后再静置 5 min,整型后放入醒发箱(温度 38 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 85%)中醒发 65 min,最后放入烤箱中上火 170 $^{\circ}\text{C}$,下火 210 $^{\circ}\text{C}$ 烘焙 21 min。甜酒酿面包则用发酵 48 h 的 10% 甜酒酿代替小麦粉制作。

1.2.4 甜酒酿面团的面筋蛋白与超微结构

1.2.4.1 α -氨基态氮的测定 称取 1.25 g 冻干粉(未添加酵母的醒发前后的面团冻干所得),加入 25 mL 1 mol/L 的 NaCl 溶液,震荡摇匀,离心(18000 $\times$ g, 4 $^{\circ}\text{C}$, 30 min)取上清液,参考 Thiele 等^[7]的方法用茚三酮测定上清液中可提取 α -氨基态氮的含量,以甘氨酸为标样制备标准曲线($y = 0.3366x + 0.0638$, $R^2 = 0.9996$),并进行重复实验三次。

1.2.4.2 甜酒酿面团超微结构 根据 1.2.3 的配方制备面团,为排除酵母产气的影响,故不添加酵母^[8]。通过激光共聚焦显微镜观察面团的超微结构,用剪刀剪取 2 g 左右的面团于冷冻切片的托盘上,用 Leica 胶将面团完全包裹,在 -20 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中冻藏约 4~5 h 至内部面团冻实,在冰冻切片机上切片处理,切取 20 μm 的薄片。根据 Silva 等^[9]描述的方法,以丙酮为溶剂,配制 0.25% (w/w) 的异硫氰酸荧光素(FITC)和 0.025% 的罗丹明 B 荧光染料。将染色液覆盖到切片上静置 2 min 后,用蒸馏水脱色,吸去多余水分,盖上载玻片,在激光共聚焦显微镜下进行观察。设置目镜的放大倍数为 10 $\times$,物镜放大倍数为 20 $\times$ 。FITC 和罗丹明 B 的激发/发射波长分别为 488/518 nm 和 568/625 nm。

1.2.5 甜酒酿面包的比容与香气化合物分析

1.2.5.1 甜酒酿面包风味测定 用镊子夹取面包芯,称取 5 g 样品置于样品瓶中,插入已老化的 75 μm Car/PDMS 萃取头,在 60 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴中顶空萃取 40 min,随后进样,于 250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 3 min,同时启动仪器采集数据。

气相色谱条件^[10-11]: DB-WAX 毛细管色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm),载气为 He,流速 0.8 mL/min,起始温度 40 $^{\circ}\text{C}$,3 min 后以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 90 $^{\circ}\text{C}$,随后以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 230 $^{\circ}\text{C}$,保持 7 min。

质谱条件:电离方式为 EI,放射电流 80 μA ,电子能量 70 eV,界面温度 250 $^{\circ}\text{C}$,离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$ 。全扫描进行采集,扫描范围为质荷比 15~300。通过 GC-MS 分析软件系统完成实验数据的处理。

1.2.5.2 甜酒酿面包的比容测定 面包烘烤后在室温下冷却 2 h,采用菜籽置换法^[12]测定面包的比容,计算公式如下:

$$\text{比容}(\text{mL/g}) = \frac{\text{体积}(\text{mL})}{\text{质量}(\text{g})} \quad \text{式(1)}$$

1.2.5.3 感官评定 采用九分嗜好法对空白面包(WB)和甜酒酿面包(FRB)进行感官鉴评^[11]。评分小组由20名(10名女性,10名男性)受到感官鉴评专业训练的人员组成,从9分到1分表示从喜欢到不喜欢。

1.3 数据分析

运用Excel 2013对数据进行计算整理、Origin 9.1绘制图表、SPSS 16.0分析数据之间的显著性差异, $p < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 甜酒酿发酵过程中 pH 和 TTA 变化

由于在甜酒酿发酵早期,酒曲中的霉菌代谢产生琥珀酸、乙酸以及苹果酸等有机酸^[14],所以甜酒酿的 pH 不断下降,在 18 h 后基本稳定在 4.0 左右,达到面团发酵剂的适宜 pH。随着有机酸的不断积累,TTA 也逐渐在 20 h 时增至 7.98 并趋于稳定。pH 和 TTA 能显著影响酒酿发酵液中的蛋白酶和淀粉酶等的酶活^[15],使面团具有较好的加工品质,并最终影响面包品质^[16]。当发酵至 48 h 后,甜酒酿的 TTA 基本趋于稳定,这与 Wu 等^[17]的测定结果相似。

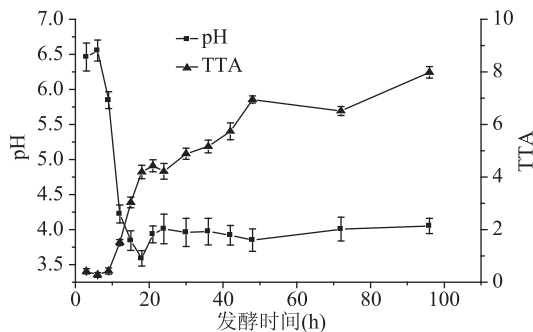


图1 甜酒酿发酵过程中 pH 与 TTA 的变化

Fig.1 Changes of pH and TTA value

during fermentation of fermented glutinous rice

2.2 甜酒酿面团的蛋白水解程度与超微结构

2.2.1 不同发酵时间甜酒酿对面团蛋白水解程度的影响 蛋白酶是面包发酵过程中的关键酶之一,少量的蛋白酶有利于面团网络结构的稳定,过量的蛋白酶则会对面团产生负面影响。通过游离 α -氨基态氮的含量表征含甜酒酿面团中蛋白水解程度, Thiele 等^[7]及 Lopenen 等^[18]均采用这种方法来测定酸面团中蛋白质的水解程度。如图 2 所示,各实验组面团中的 α -氨基态氮含量在醒发后差异变大,除发酵 0 h 甜酒酿面团(FRD)外,所有面团在醒发后 α -氨基态氮含量都得到增加,这与 Huang 等^[15]的研究结果相似。在甜酒酿中,酒曲中的霉菌除了有较强的淀粉水解和蛋白质水解活性^[19],随着甜酒酿发酵时间的延长,霉菌的菌丝和孢子开始自溶,也会释放蛋白酶^[20]。因此,推测添加了不同发酵时间的甜酒酿的面团在醒发后,蛋白质水解程度显著增加,一部分的蛋白质水解有利于将糯米中的蛋白质分解成小分子的氨基酸,形成一种可以包含更多气体的结构。但是过量的蛋白酶则会降解小麦蛋白,弱化面筋,对面包质构产生负面影响,所以优选出最佳蛋白

酶酶活的发酵时间尤为重要^[20]。

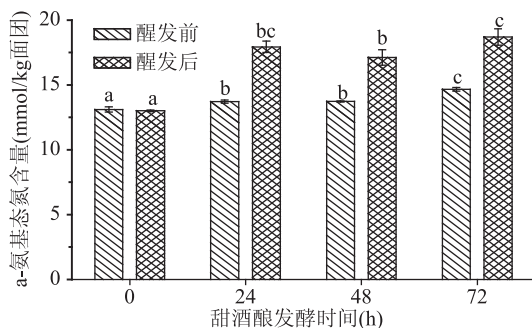


图2 不同发酵时间甜酒酿面团发酵前后可提取 α -氨基态氮含量

Fig.2 Extractable α -amino nitrogen content in dough before and after fermentation with fermented glutinous rice in different fermentation time

注:图中不同小写字母代表醒发前或醒发后不同发酵时间的差异显著性($p < 0.05$),图5同。

2.2.2 不同发酵时间甜酒酿对面团超微结构的影响 图3描述了在激光共聚焦显微镜下添加不同发酵时间甜酒酿的面团超微结构,其中 FITC 将淀粉颗粒染成绿色,罗丹明 B 将面筋蛋白染为红色。如图 3A 所示,空白面团中面筋蛋白以膜状形态存在,结构完整,黑色孔洞少;而淀粉颗粒均匀镶嵌、包裹在面筋网络结构中,起到支撑蛋白网络结构的作用,图中两组分结合均匀且致密,但引入甜酒酿之后,尤其是加入发酵 0 h 的甜酒酿(图 3B),其阻碍了面团中面筋网络的形成,这与甜酒酿对面筋的稀释作用和对二硫键的破坏作用均有关。随着发酵时间的延长,糯米中的蛋白质部分降解,蛋白与淀粉的致密结构得以疏松,有利于气体进入到面团中^[21]。当发酵时间延长至 48 h 时,其面团(图 3D)微观结构中的黑色孔洞的面积最小,且相比于其他甜酒酿组,其结构更为完整,淀粉颗粒与蛋白质的更加均匀。但当发酵时间延长至 72 h 时,蛋白酶酶活性高,面团过度酸化导致小麦面筋降解,阻碍了面筋网络的形成,不利于面团持气^[15]。

小麦面粉中的麦谷蛋白和麦醇溶蛋白形成的网络结构能够使气体截留^[22],糯米粉中醇溶蛋白含量较低,不能形成网状结构,且其淀粉颗粒较小,与蛋白质结合紧密^[23],糯米的引入会对小麦面团结构造成不良影响,但通过添加适当发酵时间的酒酿,面团品质得以改善。

2.3 不同发酵时间甜酒酿面包的风味与比容

2.3.1 不同发酵时间甜酒酿对面包风味特性的影响 在面包的制作中,影响面包风味的因素主要有:原料、发酵过程、降解作用和热反应,这四种因素影响面包风味化合物的成分及含量^[24-25]。本研究通过 GC-MS 方法测定了小麦面包和不同发酵时间甜酒酿面包的挥发性风味化合物,其种类、保留时间和相对含量如表 1 所示,分类统计如图 4 所示。不同发酵时间的甜酒酿对面包的风味物质的种类和相对含量的影响不同。从表 1 中可以看出,添加发酵 48 h 的酒酿所制备的面包的总峰面积最大,且其中具有强烈

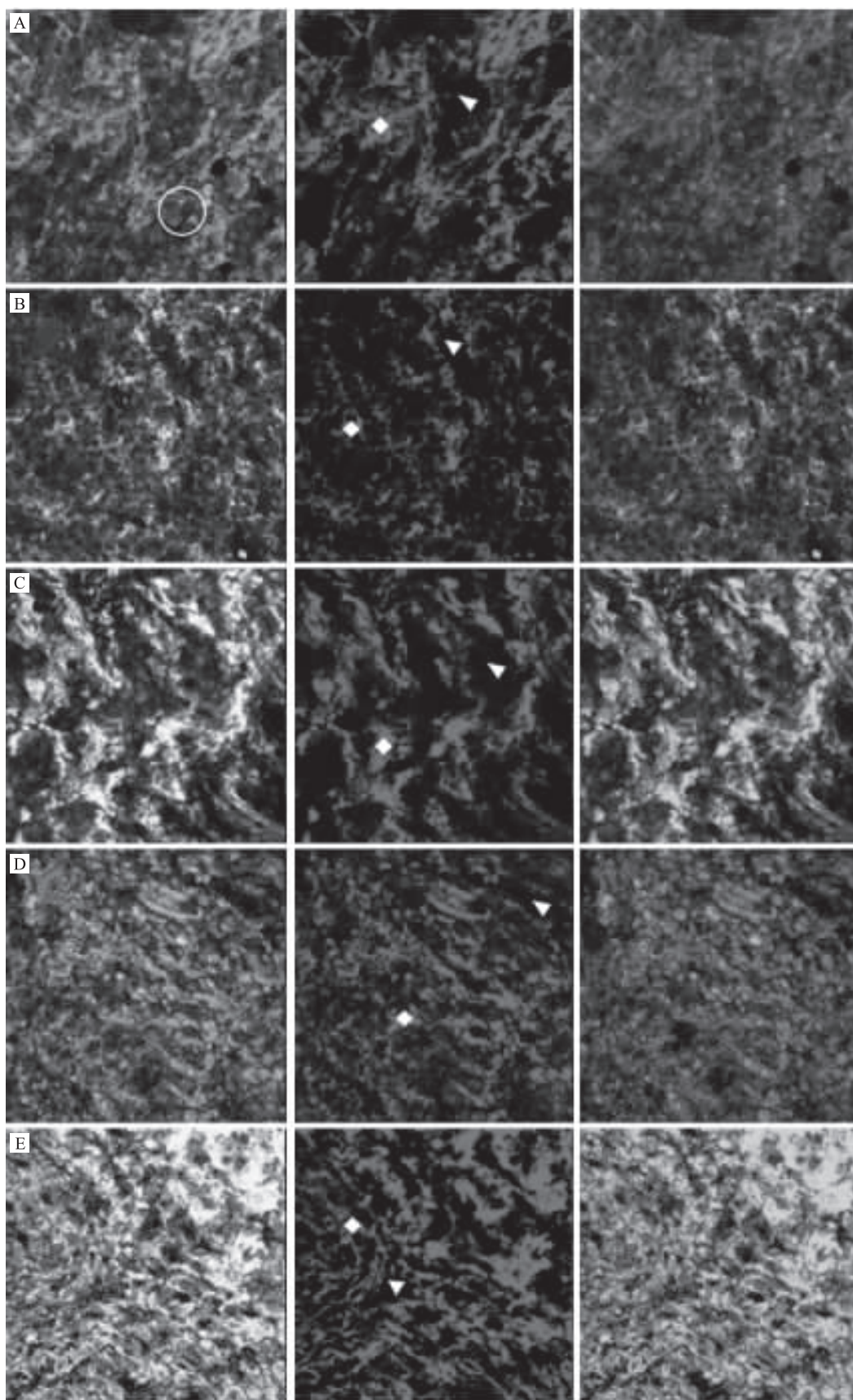


图3 不同面团的激光共聚焦超微结构图(200×)

Fig.3 CLSM images of different doughs(200×)

注:不添加发酵酒酿的面团(A),添加发酵0 h(B),24 h(C),48 h(D)和72 h(E)酒酿的面团。第一列为淀粉和面筋网络;第二列为面筋网络;第三列为淀粉;方块代表面筋蛋白,三角形代表孔洞,圆圈代表淀粉颗粒。

葡萄玫瑰香气的壬酸乙酯、具有清甜玫瑰样花香的苯乙醇以及具有特殊杏仁香气的苯甲醛均是在发酵48 h 酒酿面包中相对含量最大。其中除了添加0 h 发酵酒酿的面包外,异戊醇在所有风味物质中所占的相对含量最高,分别为32.68%、30.77%和29.30%。异戊醇具有苹果白兰地香气^[26],阈值较低,仅为250 μg/kg,故其对面包风味的影响很大^[27]。从表1中可以明显看出,在添加有酒酿的面包中,苯乙醇相对含量较高,分别为8.86%、12.66%、18.18%和12.01%,虽然其含量不如异戊醇,但其阈值非常低,仅为80 μg/kg^[28],故其极易被人类嗅知。

根据酯类、醇类、酮类、酸类、烃类、醛类以及杂环芳类,将所有风味化合物进行分类统计。酯类

物质一般具有奶油香、花香和果香等令人愉快的味道^[6]。但是在0 h 的酒酿面包中,乳酸乙酯占酯类相对含量的65.98%,前人的研究中可以发现,乳酸乙酯的嗅觉阈值为128.08 μg/mL,所以较难被人类嗅知^[27]。在添加发酵48 h 酒酿的面包中,辛酸乙酯是酯类中相对含量最高的,占酯类相对含量的35.53%,且其嗅觉阈值只有0.01287 μg/mL^[28],所以添加48 h 酒酿的面包其风味更为宜人。

通过图4可以更直观地看出各风味物质在各大类之间的差别。面包中的酵母和甜酒酿中带入的酵母会利用可发酵的糖作为碳源进行发酵,产生大量醇类物质^[29]。醇类物质同样会给面包带来宜人的风味,并且大量存在于面包中,各组面包中醇类物质的

表1 小麦面包和不同发酵时间酒酿面包中挥发性风味物质组成及相对含量
Table 1 Composition and relative content of volatile flavor compounds of wheat bread and bread with fermented glutinous rice with different fermentation time

序号	保留时间 (min)	挥发性风味化合物	相对含量(%)			
			0 h	24 h	48 h	72 h
1	2.544	正辛烷	4.29	2.06	1.58	2.05
2	3.389	乙酸乙酯	1.76	-	-	-
3	3.556	亚硝酸	0.57	-	-	-
4	4.457	乳酸乙酯	10.78	-	-	-
5	4.916	2,3-丁二酮	-	-	1.52	-
6	4.923	2-戊酮	-	-	-	2.11
7	4.929	醋酸乙烯酯	2.04	-	-	-
8	4.935	3-甲基-2-丁酮	-	1.69	-	-
9	5.421	癸烷	-	0.043	-	0.13
10	5.432	正十一烷	0.033	-	-	-
11	6.818	2,3-戊二酮	0.055	0.095	0.035	0.36
12	7.355	己醛	28.02	7.03	4.55	7.76
13	7.784	异丁醇	1.87	4.09	3.16	3.53
14	8.411	乙酸异戊酯	0.86	0.60	0.60	-
15	9.224	正丁醇	0.083	0.10	-	-
16	9.973	十甲基环五硅氧烷	0.63	0.043	0.026	-
17	10.166	庚醛	0.066	1.43	1.21	1.40
18	11.012	异戊醇	0.74	32.68	30.77	29.30
19	11.599	2-正戊基呋喃	0.12	1.98	2.37	1.59
20	12.113	3-丁烯-1-醇	0.38	0.40	0.21	0.30
21	12.211	正戊醇	0.25	0.85	0.56	0.71
22	12.989	3-羟基-2-丁酮	9.26	2.53	3.17	2.65
23	13.177	正辛醛	0.24	0.33	0.33	0.47
24	13.363	丁腈	6.06	-	-	-
25	13.527	羟胺	1.28	-	-	-
26	14.006	(E)-2-庚烯醛	0.27	0.66	0.57	0.55
27	14.366	甲基庚烯酮	0.84	0.30	0.14	0.071
28	14.485	乳酸乙酯	0.13	0.17	0.26	-
29	14.786	正己醇	0.33	8.51	6.71	9.17
30	15.228	3-乙氧基丙醇	1.16	0.19	0.38	0.28
31	15.556	壬醛	0.78	2.22	2.07	2.21
32	15.952	1,3-己二烯	1.51	0.17	0.16	-
33	16.207	2-辛烯醛	0.41	0.60	0.58	0.53
34	16.342	辛酸乙酯	0.088	2.52	3.14	1.47

续表

序号	保留时间 (min)	挥发性风味化合物	相对含量(%)			
			0 h	24 h	48 h	72 h
35	16.589	乙酸	0.16	4.58	3.36	4.61
36	16.707	庚醇	—	0.89	0.84	0.98
37	16.773	糠醛/呋喃甲醛	—	—	0.62	0.53
38	17.273	2-乙基己醇	0.75	0.13	0.13	0.17
39	17.759	苯甲醛	0.14	2.35	2.72	2.11
40	17.965	壬酸乙酯	—	—	2.49	2.07
41	18.295	正辛醇	1.06	0.21	0.22	0.30
42	18.476	二甲基丙二酸	3.62	0.95	0.43	1.66
43	18.535	2,3-丁二醇	—	—	—	0.52
44	19.319	丁酸	0.20	0.26	0.15	0.35
45	19.398	癸酸乙酯	0.25	0.44	0.46	0.49
46	19.593	苯乙酮	0.14	0.23	0.21	0.25
47	19.676	1-壬醇	0.18	0.22	0.18	0.28
48	19.858	异戊酸	0.036	0.82	0.53	1.47
49	19.993	顺-3-壬烯-1-醇	0.65	0.50	0.54	0.93
50	20.255	四氢呋喃	2.12	0.071	0.075	—
51	20.417	3-甲硫基丙醇	1.27	0.52	0.58	0.30
52	20.642	1,3-丙二醇二乙酸酯	—	0.080	0.079	—
53	20.695	异冰片基异戊酸酯	0.12	0.86	0.93	1.073
54	20.906	2-苯异丙醇	0.60	0.024	—	0.064
55	21.325	5-癸烯-1-醇	1.89	0.24	—	—
56	21.326	顺-4-癸烯-1-醇	—	—	0.25	0.18
57	21.417	乙基 4-羟基丁酸酯	—	—	0.15	—
58	21.542	2,4-癸二烯醛	0.30	0.13	0.10	0.071
59	21.603	乙酸苯乙酯	0.30	0.31	0.63	0.33
60	21.869	月桂酸乙酯	—	0.066	0.079	—
61	21.958	正己酸	1.44	1.25	0.93	1.36
62	22.264	苯甲醇	0.77	0.70	0.73	1.04
63	22.663	苯乙醇	8.86	12.66	18.18	12.01
64	24.237	辛酸	0.15	0.13	0.15	0.090
65	27.834	吡啶	0.066	0.076	0.17	0.13
总相对峰面积			1817.38	2115.72	2274.2	1555.9
风味物质种类			53	51	51	46

注：“—”代表未检出。

相对含量分别为 20.85%、62.92%、63.41% 和 60.06%，这是由于酒曲中的酿酒酵母利用糯米发酵，产生大量的醇类物质，同时，酒酿发酵过程中会产生还原糖，有利于面包酵母的生长，这也解释了在添加 0 h 酒酿的面包中醇类物质含量不如其他发酵组的面包。结合表 1 和图 4 的结果可以发现，添加 48 h 酒酿的面包的挥发性风味物质的含量相对较高，风味也明显优于其他各组。

2.3.2 不同发酵时间甜酒酿对面包比容的影响 在面包配方中添加不同发酵时间的酒酿制备面包，测定所制得面包的比容，如图 5。由图 5 可知，除添加 72 h 发酵酒酿组比容较小以外，其他几组面包的比容均没有显著差异($p > 0.05$)。这说明在发酵过程中产生的少量蛋白酶对糯米的淀粉蛋白网络具有有利的影响，持气能力增强，甜酒酿发酵过程中霉菌水解淀粉产生

的还原糖有利于酵母菌的生长，在面包醒发过程中产生更多的气体。但是当添加的甜酒酿发酵时间达到 72 h，面包的比容大幅度下降，说明过量的蛋白酶将小麦蛋白水解，使得面筋网络结构遭到破坏，比容大幅度减小。综合而言，添加发酵 48 h 的酒酿的面包，效果最佳。

2.3.3 不同发酵时间甜酒酿对面包感官评分的影响 采用九分嗜好法对添加不同发酵时间的甜酒酿的面包进行感官鉴评，如图 6 所示。从图 6 中可以看出，添加 24、48 h 甜酒酿的面包的外观得分相对较高。在色泽方面，添加 48、72 h 的甜酒酿的面包得分一样高，这可能是由于甜酒酿发酵时间增加，积累的还原糖的含量不断增多，加剧了烘焙过程中的美拉德反应，使得面包呈金黄色，更为诱人，所以更受欢迎。在风味得分中，同样是添加 48 h 和 72 h 的甜酒

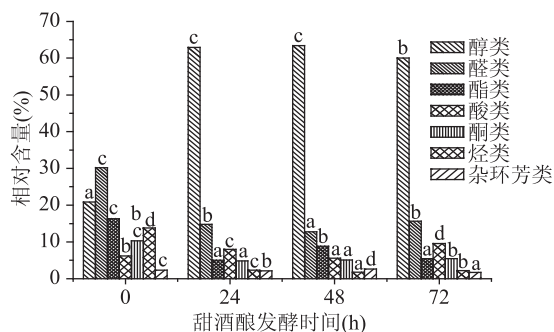


图4 小麦面包以及不同发酵时间的酒酿面包中挥发性化合物统计

Fig.4 Statistics of volatile flavor compounds in wheat bread and breads with fermented glutinous rice with different fermentation time

注:不同字母代表同种物质在不同发酵时间相对含量差异显著性($p < 0.05$)。

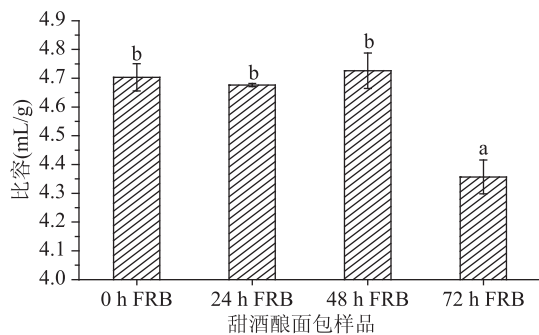


图5 含不同发酵时间甜酒酿面包比容

Fig.5 Specific volume of bread with fermented glutinous rice of different fermentation time

酿的面包得分较高,随着酒酿发酵时间的延长,得分越高,当发酵至48 h时,感官评分达到最大,这表明随着时间的增加,风味物质不断积累,越来越受到人们的喜爱。总体而言,添加48 h发酵酒酿的面包的质量最好,这也与整体可接受度的分数结果一致。因此,48 h为甜酒酿的最佳发酵时间。

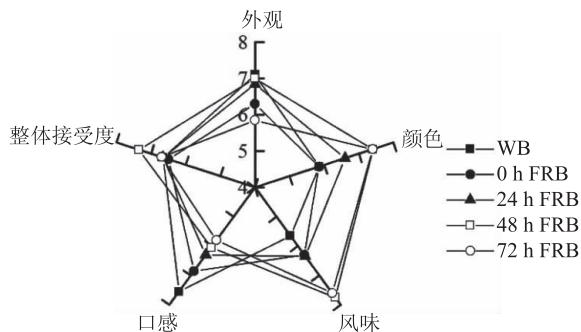


图6 小麦面包及含不同发酵时间甜酒酿面包感官分析

Fig.6 Sensory evaluation of bread with fermented glutinous rice of different fermentation time

3 结论

本文研究了不同发酵时间的甜酒酿对面团特性及面包烘焙特性的影响。随着发酵时间的增加,甜酒酿的pH迅速下降,至18 h左右趋于稳定,发酵48 h

后,甜酒酿的TTA基本趋于稳定。从酒酿面团的超微结构中可以发现,添加发酵48 h的面团的面筋网络结构较好,少量的蛋白酶有利于减弱无麸质糯米对面团面筋的弱化作用。发酵酒酿的加入使得面包的风味明显提升,尤其是添加发酵48 h酒酿的面包,醇类和酯类物质的含量明显增加,醇类物质相对含量高达63.41%,酯类物质相对含量为8.82%,尤其是辛酸乙酯、壬酸乙酯以及异戊醇,赋予面包更浓郁的花香和果香。除含有72 h酒酿外的面包,比容没有显著性($p > 0.05$)差异。在感官鉴评中,含48 h酒酿的面包获得最高的分数,成为最受欢迎的面包。本研究为甜酒酿面包的生产提供一定理论依据。

参考文献

- [1] 康宪.传统桂林甜酒曲微生物协同作用及应用研究[D].广州:华南农业大学,2016.
- [2] 顾国贤.酿造酒工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,1996:520-536.
- [3] 李志建,杨晓露,刘长虹,等.米酒酿与酵母混合发酵对馒头品质影响[J].粮食加工,2013(1):40-42.
- [4] 黄璐,陈晓红,李惑,等.酒酿滤出汁对面包品质的改良作用[J].食品科学,2015,36(17):48-53.
- [5] 张可欣,蒋慧,汤娟娟,等.复合酶制剂提高甜酒酿面包发酵烘焙特性的研究[J].食品科学,2018,39(1):16-21.
- [6] 王益妹.生香酵母及其面团发酵过程与面包香气特征研究[D].无锡:江南大学,2016.
- [7] Thiele C, Ganzle M G, Vogel R F. Contribution of sourdough lactobacilli, yeast, and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavor[J]. Cereal Chemistry, 2002, 79(1):45-51.
- [8] Li Z N, Tang X J, Huang W N. Rheology, microstructure, and baking characteristics of frozen dough containing *Rhizopus chinensis* lipase and transglutaminase[J]. Cereal Chemistry, 2011, 88(6):596-601.
- [9] Silva E, Birkenhake M, Scholten E, et al. Controlling rheology and structure of sweet potato starch noodles with high broccoli powder content by hydrocolloids[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(1):42-52.
- [10] Birch A N, Petersen M A, Hansen Å S. The aroma profile of wheat bread crumb influenced by yeast concentration and fermentation temperature[J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 50(2):480-488.
- [11] 王益妹,钱超,黄卫宁,等.梅兰春酒酿中生香酵母的分离鉴定及其发酵面包香气成分分析[J].食品与发酵工业,2016,42(9):45-51.
- [12] 孙银凤,徐岩,黄卫宁,等.不同发酵基质的酸面团对酵母面团体系面包烘焙及老化特性的影响[J].食品科学,2015,36(13):37-42.
- [13] 尚珊,黄卫宁,贾春利,等.热处理对糯麦面团面包品质的影响[J].食品科学,2013,34(23):20-24.
- [14] 张海波,张彦,陈少峰.江米酒中有机酸分析[J].食品科技,2007(7):203-205.
- [15] Huang L, Chen X, Rui X, et al. Use of fermented glutinous

rice as a natural enzyme cocktail for improving dough quality and bread staling[J].RSC Advances,2017,7(19):11394-11402.

[16] Struyf N, Verspreet J, Verstrepen K J, et al. Investigating the impact of alpha-amylase, alpha-glucosidase and glucoamylase action on yeast-mediated bread dough fermentation and bread sugar levels[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 75: 35-44.

[17] Wu C, Liu R, Huang W, et al. Effect of sourdough fermentation on the quality of chinese northern-style steamed breads[J]. Journal of Cereal Science, 2012, 56(56): 127-133.

[18] Lopenon J, Sontagstrophm T, Venäläinen J, et al. Prolamin hydrolysis in wheat sourdoughs with differing proteolytic activities[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(3): 978-984.

[19] Yang S, Choi S J, Kwak J, et al. Aspergillus oryzae strains isolated from traditional korean nuruk; Fermentation properties and influence on rice wine quality[J]. Food Science and Biotechnology, 2013, 22(2): 425-432.

[20] 任飞, 韩珍琼. 甜酒酿发酵机理的初步研究[J]. 中国酿造, 2012, 31(8): 140-143.

[21] Yasuko Kawamura-Konishi, Kazuo Shoda, Hironori Koga, et al. Improvement in gluten-free rice bread quality by protease treatment[J]. Journal of Cereal Science, 2013, 58: 45-50.

[22] Jaehyung Park, Ji Sun Seo, Seul-Ah Kim, et al. Microbial

diversity of commercial makgeolli and its influence on the organoleptic characteristics of korean rice sourdough, jeung-pyun[J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2017, 27(10): 1736-1743.

[23] 孙沛然, 姜斌, 沈群. 水分含量对粳米和糯米淀粉颗粒结构的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(3): 40-49.

[24] Martinezanaya M A. Enzymes and bread flavor[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(9): 2469-2480.

[25] Quilez J, Ruiz J A, Romero M P. Relationships between sensory flavor evaluation and volatile and nonvolatile compounds in commercial wheat bread type baguette[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(6): S423-S427.

[26] Zhao Y, Li J, Xu Y, et al. Characterization of aroma compounds of four brandies by aroma extract dilution analysis[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2009, 60(3): 269-276.

[27] 段珍珍, 袁敏, 常荣, 等. 有机酸及挥发性香气在枇杷醋加工中的变化及对品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(12): 114-123.

[28] 范文来, 徐岩. 白酒 79 个风味化合物嗅觉阈值测定[J]. 酿酒, 2011, 38(4): 80-84.

[29] 涂雅俊. 葡萄干发酵汁的性质及其对面包烘焙特性的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2013.

(上接第 28 页)

展[J]. 轻工科技, 2017(2): 3-6.

[2] 孙慧敏, 马晓军. 木薯淀粉及木薯变性淀粉性质比较研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(6): 82-84.

[3] 黄祖强. 淀粉的机械活化及其性能研究[D]. 南宁: 广西大学, 2006.

[4] 张本山, 王斌. 淀粉多晶体系中的链链结晶与链水结晶结构研究[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(1): 48-50.

[5] Wongs agonsup R, Pujchakarn T, Jitrakbumrung S, et al. Effect of cross-linking on physicochemical properties of tapioca starch and its application in soup product[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 101(1): 656-665.

[6] Huang Z Q, Xie X L, Chen Y, et al. Ball-milling treatment effect on physicochemical properties and features for cassava and maize starches[J]. Comptes Rendus Chimie, 2008, 11(1): 73-79.

[7] Geng F, Chang P R, Yu J, et al. The fabrication and the properties of pretreated corn starch laurate[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 80(2): 360-365.

[8] 李贺, 林日辉, 龙寒, 等. 木薯淀粉预处理及对酶法合成松香淀粉酯的影响[J]. 林产化学与工业, 2015, 35(1): 89-93.

[9] Liu P L, Zhang B S, Shen Q, et al. Preparation and structure analysis of noncrystalline granular starch[J]. International Journal of Food Engineering, 2010, 6(4): 61-64.

[10] 徐立宏, 张本山, 杨连生, 等. 醇碱法制备非晶颗粒态淀

粉[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2007, 35(4): 39-41.

[11] 陈翠兰, 张本山, 陈福泉. 淀粉结晶度计算的新方法[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 68-71.

[12] Hornung P S, Cordoba L D P, Schnitzler E, et al. Brazilian Dioscoreaceas starches: Thermal, structural and rheological properties compared to commercial starches[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2017, 127(3): 1869-1877.

[13] Lemos P V F, Barbosa L S, Ramos I G, et al. The important role of crystallinity and amylose ratio in thermal stability of starches[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2018, 131(3): 2555-2567.

[14] 胡洋, 夏文, 李积华, 等. 高速射流对木薯淀粉结构和性能的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(2): 56-60.

[15] 孙丹丹, 张宏伟. 机械球磨对木薯淀粉颗粒形态及结晶性能的影响[J]. 化学工程与装备, 2009(8): 8-9.

[16] Chen J, Jane J. Properties of granular cold-water-soluble starches prepared by alcoholic-alkaline treatments[J]. Cereal Chemistry, 1994, 71(6): 623-626.

[17] 陈福泉, 刘环裕, 张本山, 等. 醇水相湿热处理对玉米淀粉颗粒性质的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(10): 2388-2394.

[18] 范聪聪, 周洵, 张国权. 乙醇碱法处理对荞麦颗粒状冷水可溶淀粉溶解度的影响[J]. 粮食加工, 2011, 36(5): 40-43.