

乳酸菌协同发酵对饼干风味的影响及应用

闫博文¹, 赵建新¹, 张均叶^{1,2}, 范大明¹, 管璐静¹, 刘璐璐¹, 陈卫^{1,3}, 张灏¹

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122) (2. 亿滋食品(中国)有限公司, 江苏苏州 215126)

(3. 江南大学国家重点实验室, 江苏无锡 214122)

摘要: 本文基于消费者喜好酸度的探究, 考察乳酸菌协同发酵对饼干风味特性的影响。经消费者对不同 pH 值面团制备的乳酸菌协同发酵饼干的喜好度评价显示, 当发酵面团 pH 值为 4.35~4.20 时具有较高的消费者喜好度评分。采用 21 株乳酸菌发酵制备饼干, 观察其对产品风味的影响。经感官描述性分析发现, 坚果味、水果味(气味和滋味)、乳品酸味和甜味的强度与消费者喜好度呈正相关; 而丁酸味、苦味和酵母味风味强度则与喜好度呈负相关。不同乳酸菌制备的发酵饼干中风味物质的种类和含量均具有差异。酯类、羰基类及烃类化合物的含量与消费者喜好度呈正相关; 而有机酸及醚类物质种类及含量的不同是决定产品风味差异及喜好度评分不同的主要因素之一。结果表明, 乳酸乳球菌 XX3 发酵制得的饼干具有较好的感官风味品质, 其果香风味强度及酯类物质含量显著高于其他组饼干。

关键词: 乳酸菌; 饼干; 风味; 发酵

文章编号: 1673-9078(2017)4-207-214

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.4.032

Effects of Cofermentation with Lactic Acid Bacteria on the Flavor

Characteristics of Biscuits and its Application

YAN Bo-wen¹, ZHAO Jian-xin¹, ZHANG Jun-ye^{1,2}, FAN Da-ming¹, GUAN Lu-jing¹, LIU Lu-lu¹, CHEN Wei^{1,3}, ZHANG Hao¹

(1.School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China) (2.Mondelez Food China, Inc, Suzhou 215126, China) (3.State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Based on consumer preference for acidity, the effect of cofermentation with lactic acid bacteria on the flavor characteristics of biscuits was investigated in this study. During an evaluation of consumer preference using biscuits fermented with lactic acid bacteria that were prepared using doughs with different pH values, the fermented dough with a pH value of 4.35~4.20 scored highly. Biscuit samples were fermented using 21 strains of lactic acid bacteria, whose effects on the flavor were examined. The sensory descriptive analysis evaluation showed that the nutty flavor, the fruity flavor (smell and taste), and the intensity of sweet and tart flavors of dairy products were positively related to consumer preference; the intensity of the butyric acid flavor, the bitter flavor, and the yeast-derived flavor were negatively related. There were significant differences in the contents and types of volatile compounds of biscuits fermented with different strains. The contents of esters, carbonyl compounds, and hydrocarbons were positively related to consumer preference, and the difference in the type and content of organic acids and ether compounds was one of the main factors affecting the flavor differences of the biscuits and the different scores in the preference evaluation. The results show that the biscuits fermented with *Lactococcus lactis* strain XX3 had a relative good sensory flavor quality, and their fruity flavor intensity and ester content were significantly higher than those of other groups.

Key words: lactic acid bacteria; biscuit; flavor; fermentation

收稿日期: 2016-06-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31471721); “十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAD04B03)

作者简介: 闫博文(1987-), 男, 在读博士研究生, 研究方向: 食品生物技术

通讯作者: 赵建新(1971-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品生物技术、食品加工技术

饼干, 主要指的是一种以小麦粉为主要原料(亦可加入糯米粉和淀粉等), 添加或不添加糖类、油脂及其他原料, 经调粉、成型和烘烤等工艺制备的食品^[1]。饼干面团经发酵加工的目的, 主要是为了使面团在发酵后内部产生大量的气体, 并在高温焙烤时迅速膨胀, 从而使得发酵饼干口感蓬松酥脆。

以乳酸菌和酵母菌为主的酸面团技术是最古老的

食品发酵加工技术手段。随着食品工业技术水平的发展,国内外研究发现采用乳酸菌协同酵母菌发酵工艺对发酵面食品的风味、质地及货架期等品质发挥着积极的作用。烘焙类产品的主要风味物质来源于高温烘烤过程中的美拉德反应所形成的。然而,研究发现酸面团的添加可赋予产品更加浓郁的风味特征,这主要是由于乳酸菌代谢过程所引起的酸化作用,可生成大量的游离氨基酸,其作为风味物质前体,为产品的风味的改善发挥着积极的作用。虽然,化学酸化可在一定程度上对产品风味有所改善,但其对产品质地特性的破坏导致研究者始终望而却步。目前,酸面团的应用集中在面包、馒头等主食产品中,而在饼干中的应用却报道有限。此外,饼干由于其水分含量较低,烘烤温度较高,产品中丙烯酰胺含量通常较高,而张均叶^[2]等人研究还发现采用乳酸菌协同酵母发酵可有效降低饼干内所含丙烯酰胺的含量,从而使得产品更加营养健康,迎合市场消费者的喜爱。本研究旨在以开发一款兼具优质风味与营养健康的发酵饼干为目的,基于消费者喜好度评价分析,探索以乳酸菌作为协同发酵剂对发酵饼干风味特性的影响,为乳酸菌在发酵饼干中的工业化生产奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 主要原料和试剂

表1 本研究所用乳酸菌的基本信息

Table 1 Basic information on LAB strains used in this study

菌株编号	菌种	拉丁学名
ZK1	植物乳杆菌	<i>Lactobacillus plantarum</i>
ZK2	戊糖片球菌	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
ZK3	发酵乳杆菌	<i>Lactobacillus fermentum</i>
ZM1	植物乳杆菌	<i>Lactobacillus plantarum</i>
ZM2	发酵乳杆菌	<i>Lactobacillus fermentum</i>
ZM3	戊糖片球菌	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
ZM4	戊糖片球菌	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
SQ1	植物乳杆菌	<i>Lactobacillus plantarum</i>
SQ2	干酪乳杆菌	<i>Lactobacillus casei</i>
SQ3	戊糖片球菌	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
SQ4	戊糖片球菌	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
XX1	植物乳杆菌	<i>Lactobacillus plantarum</i>
XX2	短乳杆菌	<i>Lactobacillus brevis</i>
XX3	乳酸乳球菌 酸亚种	<i>Lactococcus lactis subsp. Lactis</i>
XX4	明登乳杆菌	<i>Lactobacillus mindensis</i>
SC1	发酵乳杆菌	<i>Lactobacillus fermentum</i>

SC2	发酵乳杆菌	<i>Lactobacillus fermentum</i>
SC3	食蜜魏斯氏菌	<i>Weissella cibaria</i>
SC4	乳酸乳球菌	<i>Lactococcus lactis</i>
SX1	干酪乳杆菌	<i>Lactobacillus casei</i>
SX2	戊糖片球菌	<i>Pediococcus pentosaceus</i>

低筋小麦粉,益海嘉里食品工业有限公司;起酥油,天津南侨食品有限公司;白砂糖,中粮屯河股份有限公司;食用盐,江苏省盐业集团有限公司;即发型活性干酵母,安琪酵母股份有限公司;脱脂乳粉,光明乳业股份有限公司;乳酸菌菌种,江南大学食品生物技术保藏中心,分离自收集于我国不同地区的发酵面团,具体菌株信息见表1。胰蛋白胨、牛肉膏、葡萄糖、磷酸氢二钾、七水合硫酸镁、四水合硫酸锰、乙酸钠、柠檬酸氢二铵、吐温-80、琼脂、甘油、正己烷、庚酸甲酯,国药集团化学试剂有限公司;酵母提取物,英国OXOID有限公司。

1.2 主要仪器设备

Centrifuge 5415R 冷冻离心机(1.5 mL)、79480-30 冻干系统,美国LABCONCO公司;ATLAS MOTOR 150 压面机,意大利MARCATO公司;SM-25 搅拌机、SK-12P 醒发箱、SK-12P 层炉,无锡新麦机械有限公司;Trace MS 气相色谱-质谱联用仪,美国Finnigan公司;75 μ m CAR/PDMS 固相微萃取萃取头,美国Supelco公司。

1.3 实验方法

1.3.1 乳酸菌培养基的配制

(1) 乳酸菌液体培养基(MRS)的配制参照周家春^[3]的配方并稍作修改,具体为:蛋白胨 10 g,牛肉浸膏 10 g,酵母提取物 5 g,葡萄糖 20 g,乙酸钠 5 g,柠檬酸氢二铵 2 g,磷酸氢二钾 2 g,七水合硫酸镁 0.58 g,四水合硫酸锰 0.19 g,吐温-80、1 mL。

(2) 将上述内容物以 1000 mL 去离子水溶解后,用 1 mol/L 盐酸或 1 mol/L 氢氧化钠调节溶液 pH 至 6.2~6.4, 115 $^{\circ}$ C 湿热灭菌 20 min。

(3) MRS 琼脂培养基是在 MRS 液体培养基配方的基础上,添加 1.5%~2.0% 的琼脂, 115 $^{\circ}$ C 湿热灭菌 20 min。

1.3.2 乳酸菌菌粉的制备

(1) 取经 MRS 液体培养基活化的乳酸菌菌液于 8000 r/min、4 $^{\circ}$ C 冷冻离心 10 min,弃上清培养基,并用无菌生理盐水冲洗菌体 2~3 次并弃上清。

(2) 用无菌脱脂乳液重悬菌体,调节至菌浓度在 $8 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{10}$ CFU/mL,将乳酸菌脱脂乳液分装置无

菌干燥冻干瓶中,于-20℃预冻12~24h。

(3)将预冻好的乳酸菌脱脂乳液置于冻干系统中进行真空冷冻干燥,冻干条件:冷阱温度-45~-55℃、真空度2~6Pa,干燥48h,干燥好的乳酸菌粉密封恒温保存于4℃。

1.3.3 饼干的制备

本研究中作为实验对象的饼干样品共有3种,分别为酵母发酵饼干^[4]、乳酸菌协同发酵饼干及化学酸化饼干。

表2 发酵饼干制作配方

Table 2 Fermented biscuit recipes

原辅料	酵母发酵饼干/%	乳酸菌协同发酵饼干/%
低筋小麦粉	100	100
起酥油	30	30
白砂糖	5	5
食用盐	1	1
酵母发酵剂	1	1
乳酸菌菌粉	0	2
无菌水	30	30

(1)将除无菌水与酵母发酵剂/乳酸菌菌粉外的原辅料投入搅拌器内,以80r/min搅拌5min。

(2)将酵母发酵剂/乳酸菌菌粉溶解于部分无菌水中,并与剩余无菌水一起投入搅拌器内,所有原辅料以速率180r/min搅拌7min高速搅拌形成表面光滑的饼干面团。

(3)将饼干面团静置于条件为温度35℃、湿度70%的醒发箱内分别发酵6h、8h、10h、12h、14h、18h、24h和28h。

(4)发酵完成的面团用压片机压至2mm厚,并切割成5×5cm²大小的面片,在面火180℃、底火160℃的条件下烘烤15min,冷却后得到酵母发酵饼干/乳酸菌协同发酵饼干的成品。

注:化学酸化组饼干,按酵母组所述的方法制备饼干面团,且在步骤b)中以0.5mol/L乳酸分别调节面团酸度至其pH值至具体实验需求,按空白组中焙烤参数加工饼干。

1.3.4 挥发性化合物的测定

(1)准确称取样品2.00g于15mL样品瓶内,样品所占体积约为样品瓶的2/5,向样品瓶内加入500mg/L庚酸甲酯1μL作为内标。

(2)采用固相微萃取(SPME)的方法提取样品中的挥发性化合物,具体步骤为:将样品瓶置于60℃恒温水浴,已老化好的萃取头插入样品瓶内上部空间

内萃取40min,纤维头退回枕头内,拔出针头进样。

(3)采用GC-MS测定发酵饼干中的挥发性风味物质,其具体设置参照Kaseleht等^[5]的方法并稍作修改:

色谱条件

色谱柱:HP Innowax 毛细管柱,30m×0.25mm×0.25mm;升温程序:色谱柱温度40℃,保留3.5min→升温5℃/min直到90℃→升温12℃/min直到220℃→终温保留7min。

质谱条件

进样口温度:250℃,离子源温度:200℃;离子源:EI源,70eV;发射电流:200μA;测定方式:全扫描,采集质量范围为33~495m/z;进样方式:恒流0.8mL/min,无分流进样,载气为氦气(99.999%)。

1.3.5 发酵饼干的感官评价

1.3.5.1 乳酸菌协同发酵饼干风味特征的确定

乳酸菌协同发酵饼干的感官评价描述词确定的方法参照Varapha等^[6]的方法,并稍作修改。

(1)不同发酵剂制备的饼干被切割成5×5cm的方块,饼干样品均保存于干燥密封无异味的塑料罐内,为了降低贮藏对感官品质的影响,所有样品均在制备完成后72h以内完成感官评价。

(2)乳酸菌协同发酵饼干的感官评价小组由15名以前从事过饼干感官评定的专业食品感官人员组成(其中男性6名、女性9名),所有感官评价小组成员前期需接受1.5h/d为期4d的关于乳酸菌发酵产品的感官术语的培训。

(3)在评定初期,随机抽取12种不同乳酸菌协同发酵制备的样品用于感官术语的确定,评定人员被要求尽可能多且针对性地提出单一风味特征的描述性词语(评定人员不需考虑此风味对产品是否存在积极或消极影响)。

(4)评价小组成员对每一个样品的描述词汇开展讨论直至成员对该词汇在对样品的风味贡献的描述程度上达成一致。

(5)选取12种不同乳酸菌协同发酵制备样品所共有的描述词汇,确定为乳酸菌协同发酵饼干的风味描述词汇表。经过讨论,感官评价小组确定的乳酸菌协同发酵饼干的风味特征描述词如表所示。

准备具有每一描述词汇风味的典型参考物质,评价小组成员通过讨论确定参考物质的评分,满分10分,分数越高代表参考物质该风味越强烈。

表 3 乳酸菌协同发酵饼干感官特征描述词汇表

Table 3 Phrases describing the aroma and flavor characteristics of LAB-fermented biscuits

滋味贡献	描述	参考
丁酸味	酸及干酪混合味, 常可联想到酸败的牛奶	丁酸=10 (气味)
面味	潮湿的、未烘烤彻底的滋味, 常可联想到谷物产品	生饼干面团=9 (滋味)
坚果味	轻微的甜味, 表征与坚果风味相联系的综合性描述语	小麦胚芽=7 (气味)
水果味	与成熟水果相联系, 包括甜味、过熟味和略微酸味	草莓=5 (气味); 7 (滋味)
发酵味	与发酵酵母制品或发酵面制品相联系的风味	苏打饼干=7 (气味)
灰尘味	密闭空间 (如阁楼或衣橱) 的气味	4-羟基苯甲醛=10 (气味)
酸乳品味	与奶制品相联系的发酵酸味	奶油奶酪=5 (滋味)
柠檬味	新鲜柠檬的酸味	柠檬汁=5 (气味); 7 (滋味)
醋味	与醋相联系的轻微柔和酸味伴随辛辣味	白醋=7 (气味); 9 (滋味)
饼干基质		
苦味	一种基本滋味 (典型: 咖啡因)	0.01% 咖啡因溶液=2; 0.02% 咖啡因溶液=4
咸味	一种基本滋味 (典型: 氯化钠)	0.2% 氯化钠溶液=2; 0.25% 氯化钠溶液=3
酸味	一种基本滋味 (典型: 柠檬酸)	0.015% 柠檬酸溶液=2; 0.08% 柠檬酸溶液=5
甜味	一种基本滋味 (典型: 蔗糖)	1.0% 蔗糖溶液=1

1.3.5.2 喜好度评分

(1) 20 名日常喜好饼干的消费者 (其中男性 7 名, 女性 13 名) 组成消费者评价小组, 对不同组样品饼干进行喜好度评分;

(2) 满分 10 分, 1~10 分分别代表: 1~2 分表示非常不喜欢; 3~4 分表示比较不喜欢; 5~6 分表示既不喜欢也不讨厌; 7~8 分表示比较喜欢; 9~10 分表示非常喜欢。

1.3.6 数据处理及分析

本研究中的实验除在方法中另提及外, 均执行 3

次平行实验。利用 SPSS Statistics 17.0 软件对实验数据进行单因素 ANNOVA 分析及聚类分析, Tukey HSD 被用于确定 $p < 0.05$ 水平时数据的显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 乳酸菌协同发酵饼干酸味的消费者喜好度评价

表 4 不同 pH 面团制备的乳酸菌协同发酵饼干的消费者喜好度评价

Table 4 Consumer preference evaluation of biscuits fermented with different LAB strains and prepared from doughs with different pH values

面团 pH	ZM1	SX1	SQ1	XX3	ZK3	乳酸酸化组
4.65~4.50	3.40±0.71	3.27±0.68	3.33±0.60	3.73±0.68	3.60±0.88	3.47±0.50
4.50~4.35	4.00±0.63	4.07±0.68	4.13±0.72	4.07±0.68	4.07±0.57	3.07±0.68
4.35~4.20	4.47±0.50	4.47±0.62	4.40±0.61	4.53±0.62	4.53±0.62	3.00±0.52
4.20~4.05	4.07±0.44	4.07±0.68	4.07±0.57	4.20±0.65	4.27±0.68	2.53±0.62
4.05~3.90	3.53±0.62	3.53±0.50	3.60±0.61	3.67±0.70	3.73±0.57	2.40±0.71
3.90~3.75	3.20±0.54	3.27±0.57	3.20±0.65	3.13±0.72	3.13±0.62	2.27±0.57
3.75~3.60	2.87±0.62	2.80±0.65	2.73±0.57	2.73±0.68	2.67±0.60	1.87±0.62
3.60~3.45	2.47±0.50	2.20±0.65	2.27±0.68	2.27±0.77	2.40±0.61	1.47±0.50

由于酵母发酵饼干发酵时间较长, 产品常伴随一定的后酸味。为了判断我国消费者对乳酸菌协同发酵饼干酸味的接受度, 本研究采用来自五种不同酸面团中分离得到的 5 株乳酸菌 ZM1、SX1、SQ1、XX3 和 ZK3 作为发酵剂, 观察其对不同终点 pH 面团制备的发酵饼干酸味的消费者感官喜好度的影响, 同时与化

学酸化至相同 pH 面团所制备的饼干进行比较分析, 结果如表 4 所示。

研究结果表明, 感官小组对 6 组饼干样品均可品出酸味, 其中消费者感官小组对酵母发酵饼干的酸味的喜好度评分为 3.72。在化学酸化组中, 消费者评分小组对饼干的打分均低于酵母饼干, 且消费者对饼干

酸味的喜好度随着其 pH 值的降低而逐渐减小, 消费者认为随着化学酸化面团 pH 的降低饼干口味上呈现过酸的趋势, 这种过酸的味道并非是令人愉悦的, 而是被认为是具有刺激性的。此外, 过度酸化的面团黏性增加, 在烘烤过程中易变形、表面易皱缩, 且成品饼干中空层变少, 脆性降低, 产品易碎易掉屑, 说明有机酸为饼干的风味和质构带来了负面影响^[7]。

由乳酸菌发酵制备的饼干, 在面团 pH 由 4.65 下降至 4.05 的过程中, 消费者对饼干的喜好度打分主要维持在 4 分以上, 超过了对酵母饼干的评分。这主要是由于乳酸菌的酸化作用, 可激活面团中的酸性蛋白酶, 促进体系中游离氨基酸的形成, 且随着发酵时间的延长, 游离氨基酸总量不断提高, 进而有助于产品风味的改善^[8]。然而过度的酸化作用会导致消费者因产品的酸刺激而产生的不悦。因此, 当饼干面团发酵至 pH 在 4.35~4.20 范围内时, 消费者对乳酸菌协同发酵饼干的喜好度打分最高, 其中以 XX3 和 ZK3 分别制备的发酵饼干酸味的消费者喜好度评分均达到了 4.53。

2.2 乳酸菌对发酵饼干描述性风味特征及喜好度的影响

研究发现, 影响消费者对乳酸菌发酵烘焙产品喜好度的主要因素为产品的酸度、香气及滋味等^[9]。因此, 产生适合的酸味、香气及口味是选择发酵饼干用乳酸菌的主要参考因素。本节考察不同乳酸菌对发酵饼干风味的影响。本文采用 21 株乳酸菌分别制备的发酵饼干及酵母发酵饼干的 16 种风味特征的强度进行评价, 并对 22 组发酵饼干作消费者喜好度打分, 表 5 显示了消费者对不同乳酸菌协同发酵饼干风味特征强度及喜好度的评分。

消费者对酵母发酵饼干的喜好度评分为 5.8, 而 21 组不同的乳酸菌协同发酵饼干的喜好度分数则在 3.2~9.2 范围内广泛分布。ZK1、ZK3、ZM1、SQ1、SQ2、XX1、XX2、XX3、SC1、SC4 和 SX2 这 11 株乳酸菌制备的发酵饼干喜好度得分高于酵母发酵饼干, 而其中 XX3 和 SC2 所制备的饼干评分最高, 分

别为 9.2 和 9.1 分。经描述性感官分析发现, 该 2 株菌制备的饼干果香、坚果气味浓郁, 且酸味柔和, 其中坚果味、水果气味和水果滋味均与喜好度呈显著正相关。另一方面, XX4、ZM4 及 SC3 这 3 组发酵饼干的喜好度评分最低, 分别为 3.2、3.7 及 3.7 分。此 3 组饼干在气味和口感上均具有较刺激的酸味, 且在气味中能辨别出腐败乳制品所具有的典型丁酸味, 而在滋味中则能较明显的尝到令人不愉快的苦味。

对此 16 种风味特征及喜好度作主成分分析, 提取前 2 个主成分计为 PC1 及 PC2, 其结果如图 1 所示。

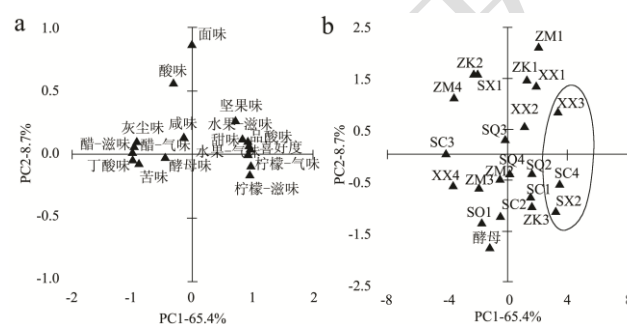


图 1 发酵饼干风味特征的主成分分析

Fig.1 Principle component analysis of the aroma and flavor characteristics of fermented biscuits

注: a 为 Factor loading 图; b 为 Score 图。

第一主成分 (PC1) 主要由气味中的坚果味、水果味、柠檬味及滋味中的水果味、柠檬味、酸乳品味、甜味组成, 它们具有较高的载荷, PC1 解释了感官总方差的 65.4%; 第二主成分 (PC2) 主要由气滋味中的面味和饼干基质整体酸味组成, 它解释了感官总方差的 8.7%。喜好度位于载荷图中第一象限, 与其同一象限的有坚果味、水果味 (气味和滋味)、乳品酸味和甜味, 表明这些风味特征与消费者喜好度呈正相关; 丁酸味、苦味和酵母味三个特征位于第三象限, 表明这些风味特征与喜好度呈负相关。结果表明消费者更倾向于选择具有浓郁水果及酸乳品风味的发酵饼干, 而丁酸味、苦味越强烈则导致消费者喜好度显著下降。得分图显示 XX3、SC4 及 SX2 组可通过 PC1 成分看出, 3 组饼干在滋气味方面令人愉悦且喜好度评分较高, 其中 XX3 组位于第一象限且具有较好的感官喜好度。

表 5 乳酸菌及酵母发酵饼干风味特征及喜好度评分

Table 5 Evaluation of the aroma and flavor characteristics and the preference for LAB- or yeast-fermented biscuits

菌株	丁酸味	面味	坚果味	水果气味	水果滋味	酵母味	灰尘味	酸乳品味	柠檬气味
ZK1	3.00±0.50	2.40±0.28	4.00±0.40	3.20±0.55	3.00±0.38	2.40±0.30	3.00±0.32	4.60±0.42	2.60±0.31
ZK2	4.40±0.36	2.60±0.30	3.00±0.41	1.80±0.40	2.20±0.40	3.20±0.32	4.80±0.36	3.60±0.31	2.0±0.36
ZK3	3.40±0.51	2.20±0.31	4.20±0.38	4.40±0.35	3.80±0.41	2.80±0.31	3.20±0.40	4.40±0.35	2.8±0.29

转下页

接上页

ZM1	3.20±0.48	2.60±0.28	4.00±0.39	4.40±0.40	5.20±0.25	2.60±0.35	2.80±0.41	5.20±0.32	2.6±0.30
ZM2	3.80±0.50	2.20±0.29	3.00±0.40	2.40±0.42	2.40±0.40	2.80±0.33	3.00±0.40	4.00±0.34	2.2±0.36
ZM3	4.20±0.52	2.20±0.27	3.20±0.42	2.80±0.51	1.60±0.50	3.20±0.36	4.00±0.38	3.00±0.35	2.0±0.40
ZM4	4.60±0.47	2.60±0.30	2.80±0.33	1.20±0.30	1.80±0.49	3.40±0.34	4.80±0.35	3.00±0.34	1.4±0.33
SQ1	4.40±0.37	2.00±0.28	3.20±0.42	2.00±0.42	2.40±0.48	3.00±0.35	3.40±0.30	3.40±0.36	1.8±0.34
SQ2	3.00±0.50	2.20±0.26	3.80±0.36	3.60±0.45	4.20±0.35	2.80±0.33	2.60±0.36	4.60±0.30	2.8±0.39
SQ3	3.60±0.46	2.40±0.30	3.40±0.32	2.60±0.49	3.20±0.40	3.20±0.36	3.20±0.40	4.20±0.25	2.4±0.36
SQ4	3.80±0.45	2.00±0.26	3.60±0.41	2.60±0.50	4.20±0.40	2.80±0.40	2.80±0.35	3.80±0.40	2.4±0.38
XX1	2.80±0.35	2.60±0.31	3.60±0.40	4.60±0.40	4.40±0.35	3.20±0.33	2.80±0.41	5.00±0.35	2.8±0.40
XX2	3.20±0.50	2.60±0.29	3.40±0.38	5.00±0.45	4.60±0.39	2.40±0.30	3.00±0.45	4.20±0.31	2.4±0.33
XX3	1.80±0.39	2.60±0.28	4.60±0.39	5.00±0.40	5.80±0.25	2.80±0.31	2.40±0.36	5.00±0.30	2.8±0.38
XX4	4.80±0.35	2.20±0.31	2.60±0.35	2.20±0.43	1.20±0.46	3.00±0.29	4.40±0.29	2.80±0.30	1.6±0.34
SC1	3.00±0.44	2.20±0.28	3.00±0.36	4.40±0.40	4.60±0.26	2.40±0.31	3.00±0.32	4.80±0.35	2.6±0.38
SC2	3.60±0.41	2.40±0.27	3.00±0.39	3.40±0.50	3.00±0.35	3.20±0.30	3.40±0.30	4.20±0.32	2.2±0.35
SC3	4.60±0.33	2.20±0.30	2.40±0.40	1.00±0.50	2.20±0.30	3.20±0.35	5.00±0.36	3.20±0.34	1.4±0.34
SC4	2.40±0.50	2.00±0.32	4.00±0.36	4.80±0.40	5.60±0.35	3.00±0.32	2.20±0.36	5.40±0.36	3.0±0.39
SX1	4.40±0.30	2.60±0.29	3.40±0.39	2.40±0.39	2.80±0.45	3.40±0.31	3.40±0.34	3.20±0.40	1.6±0.35
SX2	2.00±0.40	2.20±0.25	3.00±0.40	4.80±0.35	5.20±0.40	3.20±0.30	2.00±0.29	5.60±0.38	3.2±0.37
酵母	4.00±0.33	2.00±0.33	2.80±0.36	2.60±0.50	1.80±0.30	3.00±0.32	2.80±0.40	4.00±0.34	2.0±0.35
菌株	柠檬滋味	苦味	醋味气味	醋味滋味	咸味	酸味	甜味	喜好度	
ZK1	2.40±0.33	1.60±0.35	3.80±0.34	4.40±0.31	6.20±0.30	4.60±0.35	3.20±0.32	6.00±0.25	
ZK2	1.60±0.36	2.20±0.33	5.80±0.39	6.20±0.36	6.00±0.36	4.40±0.45	3.00±0.36	4.80±0.28	
ZK3	2.40±0.40	1.40±0.34	4.00±0.35	4.20±0.34	5.80±0.37	3.20±0.39	2.80±0.40	6.20±0.30	
ZM1	2.20±0.41	1.40±0.31	3.60±0.38	3.80±0.38	6.20±0.40	4.40±0.40	4.00±0.36	7.30±0.18	
ZM2	2.00±0.42	1.60±0.32	4.00±0.34	4.60±0.39	6.40±0.41	3.80±0.37	3.60±0.25	5.60±0.20	
ZM3	1.80±0.38	2.40±0.35	5.40±0.38	6.00±0.40	6.00±0.26	3.80±0.36	2.60±0.34	4.50±0.35	
ZM4	1.20±0.39	2.60±0.39	6.40±0.38	6.80±0.30	6.00±0.42	4.20±0.35	2.60±0.38	3.70±0.28	
SQ1	1.60±0.34	2.00±0.35	5.60±0.34	5.80±0.40	5.40±0.42	4.00±0.30	2.80±0.39	6.50±0.25	
SQ2	2.40±0.36	1.60±0.36	3.20±0.36	3.40±0.30	5.60±0.36	4.00±0.39	4.20±0.34	7.40±0.15	
SQ3	2.00±0.39	1.80±0.34	4.60±0.39	5.00±0.34	6.20±0.35	3.80±0.34	3.60±0.35	5.00±0.40	
SQ4	2.20±0.35	2.40±0.36	4.20±0.34	4.80±0.35	5.80±0.38	4.40±0.36	3.80±0.36	5.40±0.27	
XX1	2.40±0.36	1.20±0.39	3.40±0.35	3.60±0.34	5.40±0.39	4.60±0.34	3.80±0.39	8.50±0.31	
XX2	2.00±0.34	2.00±0.40	4.40±0.25	4.00±0.39	5.80±0.34	3.60±0.35	3.80±0.40	6.80±0.28	
XX3	2.40±0.40	1.20±0.50	2.80±0.40	2.40±0.34	6.20±0.35	3.20±0.32	4.60±0.36	9.20±0.12	
XX4	1.20±0.39	3.60±0.43	6.20±0.36	6.40±0.30	6.40±0.35	3.80±0.34	2.40±0.34	3.20±0.23	
SC1	2.40±0.41	1.60±0.38	3.80±0.35	4.20±0.31	5.80±0.36	3.60±0.39	4.00±0.31	6.70±0.24	
SC2	2.00±0.42	2.00±0.41	3.40±0.36	3.80±0.50	5.60±0.40	3.20±0.34	3.60±0.32	5.60±0.32	
SC3	1.20±0.39	4.00±0.35	6.60±0.40	6.80±0.22	6.20±0.41	4.20±0.36	3.20±0.35	3.70±0.20	
SC4	2.80±0.35	0.60±0.36	2.80±0.40	2.80±0.36	6.00±0.36	4.00±0.31	4.00±0.36	8.20±0.30	
SX1	1.40±0.36	2.20±0.39	5.60±0.38	6.00±0.31	6.00±0.34	4.40±0.29	3.40±0.39	4.50±0.19	
SX2	3.00±0.38	1.00±0.31	3.00±0.36	3.20±0.38	6.20±0.39	3.40±0.40	4.40±0.40	9.10±0.15	
酵母	1.80±0.30	2.40±0.32	4.80±0.35	3.80±0.41	5.80±0.50	3.00±0.30	3.20±0.41	5.80±0.16	

接上页

SQ3	883.66±72.55	627.27±31.25	468.72±18.66	91.68±16.33	247.91±21.22	338.82±16.09	3268.90±263.12
SQ4	218.75±16.86	606.48±28.76	439.28±26.11	146.70±12.48	268.44±19.99	385.28±10.33	6067.81±320.20
XX1	2024.60±89.39	1215.97±60.45	682.61±20.36	193.27±20.36	502.73±24.20	561.59±7.10	2997.93±158.36
XX2	1692.43±88.47	447.60±36.88	254.98±11.11	229.64±24.33	419.87±26.33	525.71±21.55	1964.38±198.36
XX3	5417.85±180.17	1077.49±59.32	346.24±13.50	18.49±6.35	402.21±21.02	503.77±26.30	1224.92±178.66
XX4	227.91±18.52	352.00±20.48	165.38±10.66	302.45±19.78	98.64±19.00	0.00±0.00	11352.64±369.41
SC1	605.41±28.71	573.49±35.22	474.64±25.30	327.90±20.88	292.35±16.30	109.83±19.33	5059.73±300.36
SC2	694.72±25.61	483.16±31.24	101.28±20.00	54.83±14.23	208.66±18.24	86.79±16.23	3928.49±190.63
SC3	309.79±18.02	258.72±19.55	71.59±20.99	260.75±25.60	193.73±13.64	0.00±0.00	7209.61±301.00
SC4	997.84±65.99	996.61±60.11	513.70±27.60	36.49±10.23	399.34±24.00	238.47±20.30	4061.95±299.63
SX1	1007.68±79.33	298.37±16.99	254.44±17.36	120.71±15.35	270.48±21.22	597.46±28.33	6837.57±300.47
SX2	4627.35±158.96	1307.52±62.68	801.62±29.60	41.27±12.36	518.79±23.36	327.19±14.64	1425.74±169.65
酵母	320.82±20.69	568.98±27.51	917.94±24.57	62.54±16.32	289.41±20.47	331.88±20.11	1107.88±150.33

3 结论

本文利用乳酸菌协同酵母发酵制备发酵型饼干产品,通过消费者喜好度评价,结合描述性感官分析及挥发性风味物质的测定,观察不同乳酸菌发酵对产品风味的影响及其与消费者喜好度评价间的关系。结果表明,当饼干面团发酵至 pH 在 4.35~4.20 范围内时,消费者对乳酸菌协同发酵饼干的喜好度评价最高。基于上述研究,本文对 21 株制得发酵饼干产品进行描述性感官分析发现,坚果味、水果气味和水果滋味与消费者喜好度评价呈显著正相关,而丁酸味和苦味则与消费者喜好度评价呈显著负相关。为了进一步验证描述性感官评价的准确性,本文对上述 21 组产品进行了挥发性风味物质测试发现,具有较高消费者喜好度评价的产品酯类物质的含量显著高于其他组,且具有较高含量的羰基类和较少的挥发性有机酸;而感官描述性评价较差的产品中含有较高含量的挥发性有机酸成分,这与高浓度的有机酸导致产品的气味尖锐且刺激有着密切关系。

参考文献

- [1] GB/T 20980-2007,饼干[S]
GB/T 20980-2007, Biscuit [S]
- [2] 张均叶,赵建新,闫博文,等.乳酸菌发酵降低饼干中丙烯酰胺含量机理的初步探究[J].现代食品科技,2015,12:277-282
ZHANG Jun-ye, ZHAO Jian-xin, YAN Bo-wen, et al. Reducing acrylamide content in biscuits via lactic acid bacteria fermentation [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 12: 277-282
- [3] 周家春.乳酸菌菌种的简便分离和培养[J].食品科学,1998, 19(1):39-41
ZHOU Jia-chun. Simple method for isolating and culturing of lactic acid bacteria [J]. Food Science, 1998, 19(1): 39-41
- [4] Pedersen L, Kaack K, Bergsoe M N, et al. Effects of chemical and enzymatic modification on dough rheology and biscuit characteristics [J]. Journal of Food Science, 2005, 70(2): E152-E158
- [5] Kaseleht K, Paalme T, Mihhalevski A, et al. Analysis of volatile compounds produced by different species of *Lactobacilli* in rye sourdough using multiple headspace extraction [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2011, 46(9): 1940-1946
- [6] Lotong V, Chamber IV2 E, Chamber D H. Determination of the sensory attributes of wheat sourdough bread [J]. Journal of Sensory Studies, 2000, 15: 309-326
- [7] Clarke C, Schober T, Dockery P, et al. Wheat sourdough fermentation: effects of time and acidification on fundamental rheological properties [J]. Cereal Chemistry, 2004, 81(3): 409-417
- [8] Ganzle M G, Loponen J, Gobbetti M. Proteolysis in sourdough fermentation: mechanisms and potential for improved bread quality [J]. Trends in Food Science and Technology, 2008, 19(10): 513-521
- [9] Brandt M J. Sourdough products for convenient use in baking [J]. Food Microbiology, 2007, 24(2): 161-164
- [10] 韩江雪,丁筑红,李仲军,等.不同乳酸菌强化接种发酵辣椒挥发性风味成分分析[J].食品科学,2012,10:179-183
HAN Jiang-xue, DING Zhu-hong, LI Zhong-jun, et al. Volatile analysis of chili fermented by different *Lactobacillus Species* [J]. Food Science, 2012, 10: 179-183
- [11] Seitz L M, Chung O K, Rengarajan R. Volatiles in selected commercial breads 1 [J]. Cereal Chemistry, 1998, 75(6):

- 847-853
- [12] Elferink S J, Krooneman J, Gottschal J C, et al. Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1, 2-propanediol by *Lactobacillus buchneri* [J]. Applied & Environmental Microbiology, 2001, 67(1): 125-132
- [13] Zehentbauer G, Grosch W. Crust aroma of baguettes i. key odorants of baguettes prepared in two different ways [J]. Journal of Cereal Science, 1998, 28(1): 81-92
- [14] Katina K, Heiniö R L, Autio K, et al. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread [J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 39(10): 1189-1202

现代食品科技