

自然发酵“老面”与纯种发酵的糙米发糕挥发性成分及品质分析

许新月¹, 李君^{1*}, 崔怀田¹, 李佳怡¹, 卢苗苗¹, 张春丽², 国宇轩¹,
宋虹¹, 朱丹实¹, 刘贺¹

¹渤海大学食品科学与工程学院 辽宁锦州 121013

²辽宁阜新德美客食品有限公司 辽宁阜新 123000

摘要 以自然发酵“老面”和纯种酵母菌复配植物乳杆菌、酵母菌复配复合乳酸菌为发酵剂制作糙米发糕。利用气相色谱-质谱联用法(GC-MS)结合电子鼻及感官评定分析其挥发性风味成分,结果表明:2%酵母菌复配1.2%植物乳杆菌、2%酵母菌复配0.9%乳酸菌发酵3h,16%“老面”发酵15h,3种糙米发糕挥发性风味物质相近。挥发性风味物质主成分分析和聚类分析结果表明:感官评价结果与乙酸丙酯、3-羟基-2-戊酮、乙偶姻、辛酸乙酯、壬醛含量呈正相关。挥发性物质种类主成分分析表明:感官评价结果与酮类、酯类呈显著正相关。同时对其质构特性进行对比分析,结果表明:2%酵母菌复配1.2%植物乳杆菌或0.9%乳酸菌发酵3h,16%“老面”发酵15h糙米发糕质构特性最佳。

关键词 糙米发糕;自然发酵;挥发性成分;气相色谱-质谱联用

文章编号 1009-7848(2022)08-0285-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.08.031

米发糕是我国南方传统主食之一,大多是以精制米为主要原料,通过接种发酵米浆或酵母菌作为发酵剂进行生产加工,因其松软适中的口感、丰富的营养价值以及大米独特的香味和酒香味而深受消费者的喜爱^[1]。沈伊亮等^[2]研究了不同原料对米发糕品质的影响,结果表明原料不同会导致米发糕的质构特性发生改变;李庆龙等^[3]将粳米粉和籼米粉两种米粉材料混合制备发糕,产品品质较单一原料制备的样品好;郭蕾等^[4]在米发糕传统发酵液中分离出发酵特性较好的植物乳杆菌和卡斯特酒香酵母,并开发了固态发酵剂;张印等^[5]发现米面混合发酵工艺可明显改善传统发酵的米发糕品质。

糙米作为一种全谷物食品,不仅可以促进人体肠道中有益菌的生长繁殖,提高人体免疫功能,还具有预防心血管疾病、癌症的功能^[6],已逐渐成为食品领域开发和利用的热点。目前国内外相继开发了糙米饮料、糙米面包^[7]、糙米面条^[8]、速食糙米粉、糙米饼干等多种糙米制品^[9]。“老面”是北方传统自然发酵剂,主要是发面蒸制馒头时剩下的

一团面,在自然条件下发酵并密封冷藏而形成的具有多种微生物的野生菌体系^[10]。许多研究者针对“老面”制品的品质、制作工艺和菌种组成^[11]进行了研究,发现“老面”中的微生物主要是酵母菌、乳酸菌和醋酸菌等微生物^[12],在发生糖化和酯化等反应时可使发酵制品具有良好的风味和口感^[13-14]。然而,由于“老面”是在自然环境下通过手工发酵制成的,环境对发酵体系中微生物菌群产生的影响较大,造成其活性和比例的变化,进而导致菌群组成的演变,因此“老面”野生菌体系不确定性因素较多,质量不稳定,难以形成规模化的高质量工业化生产^[15-16]。

本研究分别以自然发酵“老面”、酵母菌复配植物乳杆菌、酵母菌复配混合乳酸菌作为发酵剂,研制糙米发糕。同时,研究了与自然发酵“老面”风味等同的复配菌粉。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

碎米粉、糙米粉,盘锦光合蟹业有限公司;植物乳杆菌,西安百川生物科技有限公司;乳酸菌,北京川秀科技有限公司;无水乙醇(色谱纯级),国药集团化学试剂有限公司;小麦粉、小苏打、白砂糖、安琪酵母均采购于当地超市。

收稿日期:2021-08-18

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31972031)

作者简介:许新月(1998—),女,硕士生

通信作者:李君 E-mail: dadao0416@163.com

1.2 仪器与设备

TA-XT Plus 质构分析仪,英国 Stable Micro System 公司;7890A/5975C 气相色谱-质谱联用仪,美国 Agilent 公司;PEN3 电子鼻,德国 AIRSENSE 公司;固相微萃取手动进样手柄、DVB/CA/PDMS(50/30 μm)纤维头,美国 Supelco 公司;THZ-D 台式恒温振荡器,江苏太仓市实验设备厂。

1.3 试验方法

1.3.1 糙米发糕样品的制备 参考郭蕾等^[7]的方法,并稍作修改。将糙米和碎米按照 1:2 质量比混合均匀、粉碎,以料液比为 15:11 的比例加水混匀,加入料液质量 17% 的白砂糖,接种(酵母菌复配乳酸菌粉、酵母菌复配植物乳杆菌、自然发酵“老面”)后于 32 $^{\circ}\text{C}$ 恒温发酵,加入 0.25% 小苏打充分搅拌,注模,25 $^{\circ}\text{C}$ 醒发 15 min,蒸制 20 min,制备完成后备用。

1.3.2 质构的测定 测定条件:P/50R 探头,TPA 模式,校正高度 50 mm,测试前速度 1 mm/s,测试中 1 mm/s,测试后 3 mm/s,压缩形变量 35%,测试结果取 3 次测定的平均值。

1.3.3 电子鼻的测定 PEN3 型电子鼻传感器由 10 种不同的化学传感元件组成,不同传感器具有不同的性能(见表 1)。称取 10 g 样品于离心管中,密封,室温下静置 30 min 后进行检测,每组样品重复测定 3 次。参考 Kachele 等^[18]的方法对样品进行测试并稍作修改。具体参数如下:清洗时间 110 s,样品准备时间 5 s,测定时间 120 s,载气流速 350 mL/min,样品流速 300 mL/min。通过电子鼻自带的软件对 98 s 的数据进行分析。

1.3.4 挥发性风味物质检测 在 Lee 等^[19]的基础上稍作修改。顶空 SPME 条件:准确称取 5.0 g 样品于 SPME 顶空瓶中,密封,插入手动进样器,60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴磁力搅拌器中平衡 15 min,萃取头顶空萃取 40 min 后收回纤维,移出萃取头并立即插入进样口(温度 250 $^{\circ}\text{C}$)中,热解吸 5 min 进样。GC 条件:HP-5MS 色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);载气为高纯 He(99.999%);流量为 15 mL/min;升温程序:初始温度 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 4 min,以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 100 $^{\circ}\text{C}$,以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 220 $^{\circ}\text{C}$,保持 14 min;不分流进样;溶剂延迟时间 3.0 min。MS 条

表 1 电子鼻传感器及响应物质

传感器	性能描述	检测极限/ mL \cdot mL $^{-1}$
R1	对芳香化合物、苯类灵敏	10 $^{-5}$
R2	对氮氧化物灵敏	10 $^{-6}$
R3	对芳香化合物、氨类灵敏	10 $^{-5}$
R4	对氯化物灵敏	10 $^{-4}$
R5	对烯烃、芳香化合物灵敏	10 $^{-6}$
R6	对碳氢化合物灵敏	10 $^{-4}$
R7	对硫化氢灵敏	10 $^{-6}$
R8	对醇类、一些芳香族化合物灵敏	10 $^{-4}$
R9	对芳香族化合物、有机硫化物灵敏	10 $^{-6}$
R10	对烷烃灵敏	10 $^{-5}$

件:电子轰击(EI)离子源 70 eV;离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$;四级杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$;电压 350 V;发射电流 200 μA 。

1.3.5 感官品评 按照组织结构 30%、气味 20%、滋味 20%、色泽 15%、黏弹性 15%,制定糙米发糕感官评定标准(见表 2)。评价小组由 20 名(男、女各 10 人)经过初级感官培训且具有食品专业知识的人组成,根据表中的评定标准对糙米发糕进行打分,去除最高及最低分后取平均分作为最终评定结果。

1.3.6 数据分析与处理 采用 SPSS 19.0、Origin 8.0 以及 Excel 软件对试验数据进行处理、作图及分析,数据以平均值和标准偏差的形式表示。

2 结果与分析

2.1 质构特性分析

2.1.1 不同发酵剂添加量对糙米发糕质构特性的影响 对接种复配 0.3%,0.6%,0.9%,1.2%,1.5% 植物乳杆菌或乳酸菌,10%,16%,22%,28% “老面”制作的糙米发糕进行质构特性测定。质构特性的测定结果可以反映糙米发糕的感官品质,其影响主要表现为硬度与糙米发糕的品质呈现负相关,当硬度达到很大值时,发糕制品发硬口感较差^[20];弹性和凝聚性与发糕制品的品质呈正相关,弹性的大小影响着发糕的口感与组织状态;凝聚性的大小决定了发糕的咀嚼性,凝聚性大的发糕有嚼劲,而凝聚性小的发糕比较软烂口感不好。试

表 2 感官评定标准
Table 2 Sensory evaluation criteria

项目及所占比例	评分标准	评分范围/分
组织结构(30分)	内部气孔小、分布均匀	25~30
	气孔较小、结构疏松	20~25
	气孔大且疏松或且小且紧实	15~20
	气孔或大或小、分布不均匀	<10
气味(20分)	具有糙米发酵的特殊香气	15~20
	轻微的发酶香气、较淡	10~15
	无香气、无异味	5~10
	有异味	<5
滋味(20分)	具有发酵米香味、甜度适中、滋味俱佳	15~20
	有发酵米香味、滋味较淡	10~15
	滋味单一,只有酸味或甜味	5~10
	有米糠味	<5
色泽(15分)	颜色偏白,且均一柔和	11~15
	颜色偏黄、较均一	7~11
	黄色	3~7
	颜色暗黄色、且色泽不均一	<3
黏弹性(15分)	黏度、软硬程度适中、按下恢复快	11~15
	黏性较小、质地偏软或偏硬、恢复性一般	7~11
	黏性较大、质地稍硬、恢复慢	3~7
	黏牙、质地硬塌陷、不能恢复原状	<3

验结果如图 1 所示,随着发酵剂添加量的增多,弹性和凝聚性均呈现先增大后减小的趋势,硬度总体呈现先减小后增大的趋势,而“老面”添加量对于硬度影响不大。酵母菌复配植物乳杆菌或乳酸菌,在发酵过程中发挥菌种协同作用,充分利用蛋白质、糖等大分子物质产生酸类等小分子代谢物,致使发酵产物更丰富,营养更全面。直链淀粉的含量是决定食用品质的关键因素,较低的淀粉含量在一定程度上会使食味变佳。微生物利用蛋白质使直链淀粉裸露出来,把淀粉粒包埋在其中,直链淀粉的增多使淀粉体系的凝聚性、弹性增强,从而改善糙米发糕的品质,而添加量过多时酵母产气

过多,会使糙米发糕内部质地过于空洞,最终造成结构疏松软塌,致使弹性和凝聚性下降,硬度增大^[2]。“老面”添加量增多,面筋含量随之增加,面筋网络结构包裹住发酵过程中产生的气体,同时“老面”中的优势菌,如酵母菌、乳酸菌发挥微生物协同作用,代谢分解蛋白质、糖类,作用于淀粉凝胶体系,从而使糙米发糕弹性和凝聚增加,而当添加量过多时,造成发酵过度,产生的气体溢出,破坏内部网络结构,糙米发糕表面塌陷,致使弹性和凝聚性下降。由图 1 可得,复配 1.2%植物乳杆菌添加量或 0.9%乳酸菌粉,“老面”添加量为 16%时糙米发糕质构特性最佳。

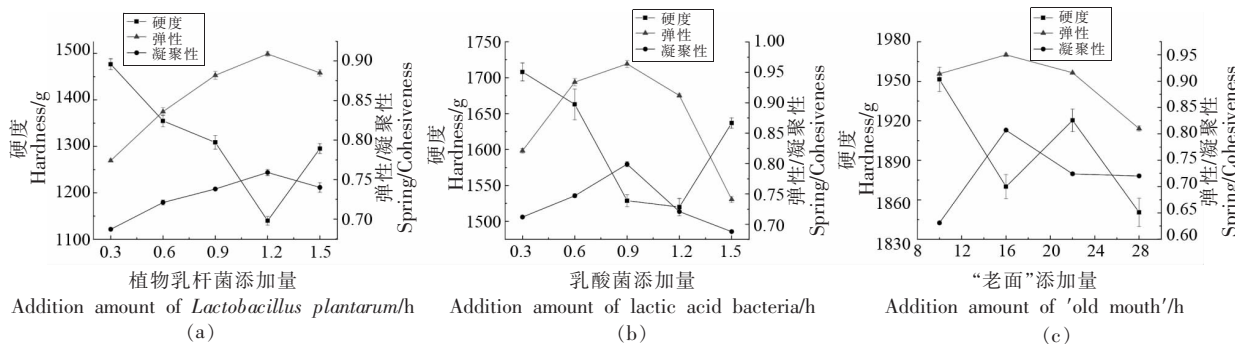


图 1 发酵剂添加量对糙米发糕质构特性影响

Fig.1 Influence of the addition amount of starter on texture characteristics of brown rice cakes

2.1.2 发酵时间对糙米发糕质构特性影响 将复配植物乳杆菌、乳酸菌的发酵剂发酵时间控制在1,2,3,4 h,“老面”发酵时间控制在13,14,15,16,17 h。试验结果如图2所示,随着发酵时间的延长,弹性和凝聚性呈现先增大后减小的趋势,硬度总体呈现先下降后增大趋势,发酵后期硬度趋于平缓。发酵时间不足,酵母菌产气不足,乳酸菌不能充分利用蛋白质、脂肪等大分子物质,直链淀粉含量低,凝胶网络结构不稳定,导致弹性、凝聚性较小。随着发酵时间延长,不同菌种间发挥协同作用,充分利用蛋白质、糖类、脂肪等物质,使支链淀粉末端脱落,直链淀粉游离出来,直链淀粉的含量增多且进行有序排列,增大了淀粉体系的凝胶强度,最终导致内部结合力增大形成气孔致密、蓬松的蜂窝状结构^[22]。乳酸菌发酵产生的有机酸、多糖等物质也能与酵母菌相互作用,会对糙米发糕的发酵特性和品质产生多方面的影响^[23],从而使弹

性和凝聚性逐渐增大,硬度减小,而发酵时间过长,产酸量过多,导致发酵作用减弱,同时对酵母菌产气能力和糙米发糕凝胶网络的持气性产生影响,使弹性和凝聚性值下降;“老面”体系中的多种微生物发挥糖化、发酵、酯化的协同作用,产生二氧化碳,形成多孔结构,使组织结构更趋于柔软细腻而富有弹性的口感^[24],而随着发酵时间的延长,微生物体系中乳酸菌、醋酸菌等菌种的生长过快,改变了面团的环境,抑制酵母菌的生长,产气能力降低^[25],同时还可能由于发酵过度导致糙米发糕的持气力降低,糙米发糕表层塌陷,内部气孔不均匀,比容减小,使产生的气体溢出,发糕体积无法增大,影响发糕的品质,从而致使硬度值增大,弹性和凝聚性下降。综上,复配植物乳杆菌或乳酸菌发酵时间为3 h,“老面”发酵时间为15 h时制作的糙米发糕质构特性最佳。

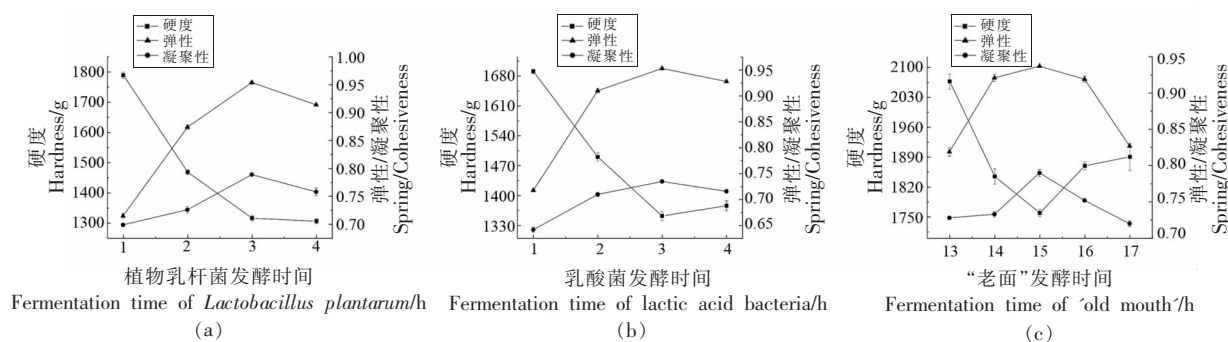


图2 发酵时间对糙米发糕质构特性影响

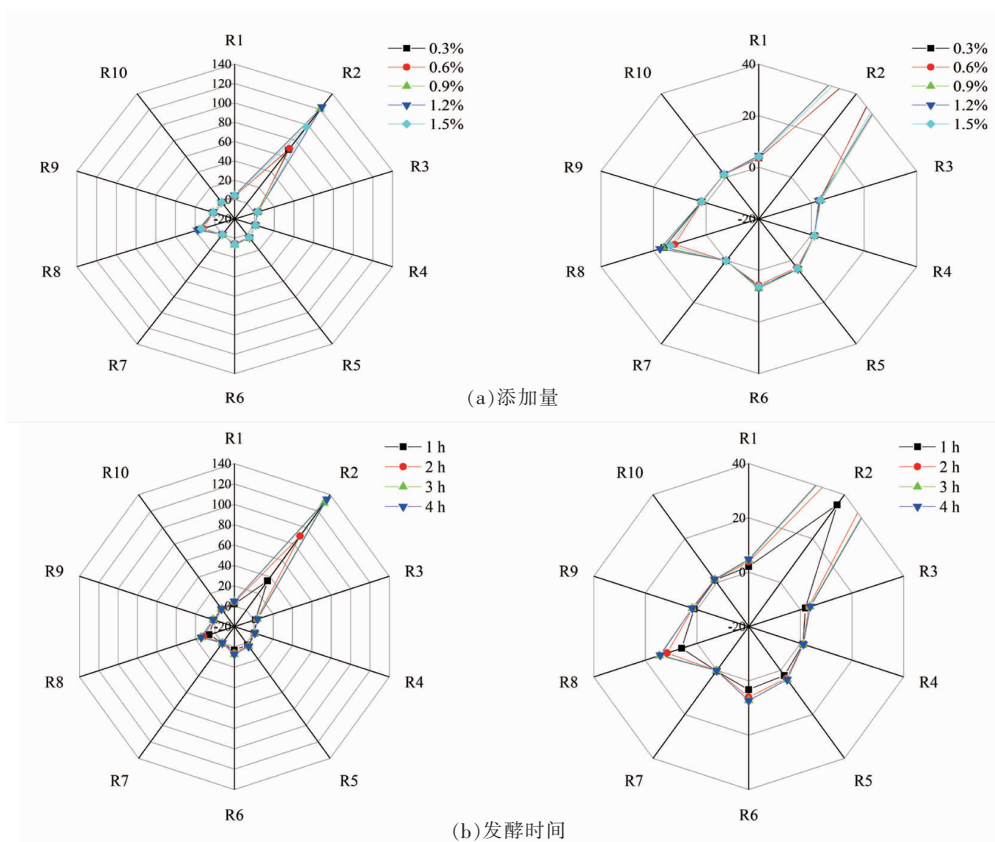
Fig.2 Influence of fermentation time on texture characteristics of brown rice cakes

2.2 电子鼻分析

2.2.1 植物乳杆菌发酵对挥发性气味的影响 电子鼻检测系统对于样品中挥发性风味物质的微量变化十分敏感,并通过响应值的变化反应风味物质的变化^[26]。响应值表示传感器的相对电阻率(G/G_0)变化趋势^[27]。

由图3可知,植物乳杆菌不同添加量、不同发酵时间对应的糙米发糕香气外部轮廓不同,说明不同添加量和发酵时间产生的挥发性风味物质存在显著差异。由图3可知,R2传感器的响应值变化较显著,说明样品中氮氧化物含量较高。植物乳杆菌添加量为0.3%和0.6%时氮氧化物含量无明显差异,添加量在0.9%和1.2%时氮氧化物含量最

多,且两种添加量对于氮氧化物的生成量没有明显差异。随着发酵时间的延长,氮氧化物含量虽逐渐增多,但在发酵3 h和4 h时无明显差异。由3a可得,传感器R8变化显著,说明随植物乳杆菌添加量的增多,糙米发糕中醇类物质含量增多。由3b可知,R5、R6、R8变化较显著,说明糙米发糕中烃类、芳香类、醇类化合物含量变化较大,在3 h和4 h时,醇类、芳香类化合物含量较高。分析原因可能是随着菌种植物乳杆菌添加量的增多和发酵时间的延长,酵母菌和植物乳杆菌充分发挥作用,将糖、蛋白质等物质转化为醇类、芳香类物质。综上,植物乳杆菌最适添加量为1.2%,发酵时间为3 h。



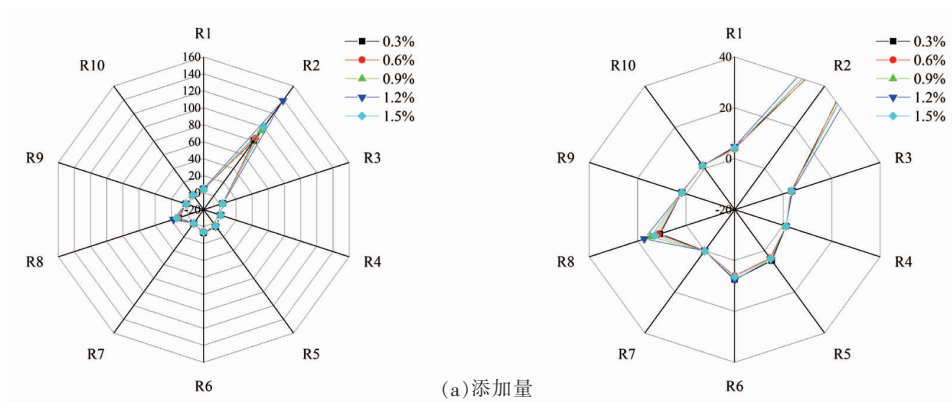
注:右图为对应左图的放大图,下同。

图 3 植物乳杆菌发酵电子鼻雷达图

Fig.3 Electronic nose radar diagram of *Lactobacillus plantarum* fermentation

2.2.2 乳酸菌发酵对挥发性气味的影响 由图 4a 和 4b 可知,随着混合乳酸菌添加量的增多、发酵时间的延长,R2 响应值的变化最显著,添加量 1.2%时 R2 响应值最大,其次为 0.9%;发酵时间为 4 h 时,R2 响应值最大,其次为发酵 3 h,两者差值

不大;由 4a 和 4b 可知,R5、R6、R8 值较大,表明样品中含有较多的烃类、醇类、芳香类化合物。随着乳酸菌添加量增多和发酵时间的延长,R8 随之增大,表明样品中醇类物质随之增多,而 R5、R6 无显著变化。



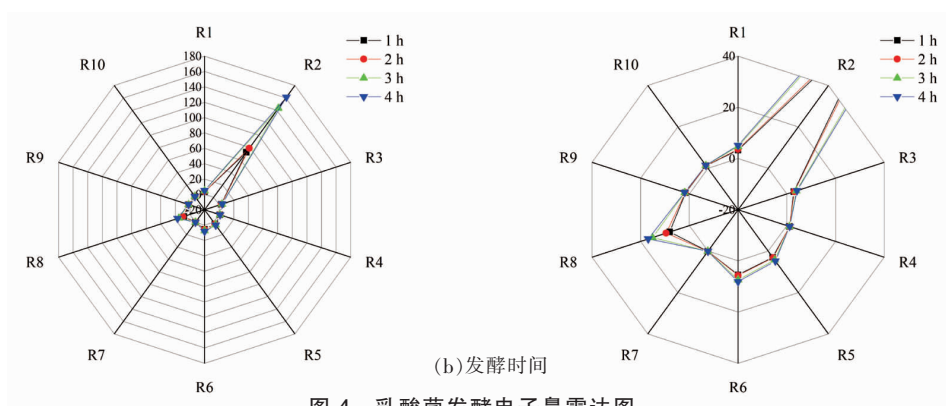


图4 乳酸菌发酵电子鼻雷达图

Fig.4 Electronic nose radar diagram of lactic acid bacteria fermentation

2.2.3 自然发酵“老面”对挥发性气味的影响 由图 5a 和 5b 可知,随着“老面”添加量的增多、发酵时间的延长,R2 响应值的变化最显著,添加量在 22%时 R2 响应值最大,添加量在 16%时与其无显著差异;发酵时间为 16,17,18 h 时,R2 响应值无

显著变化;由 5a 和 5b 可知 R5、R6、R8 值较大,表明样品中含有较多的烃类、醇类、芳香类化合物,综上,“老面”最适宜的添加量为 16%,发酵时间为 15 h。

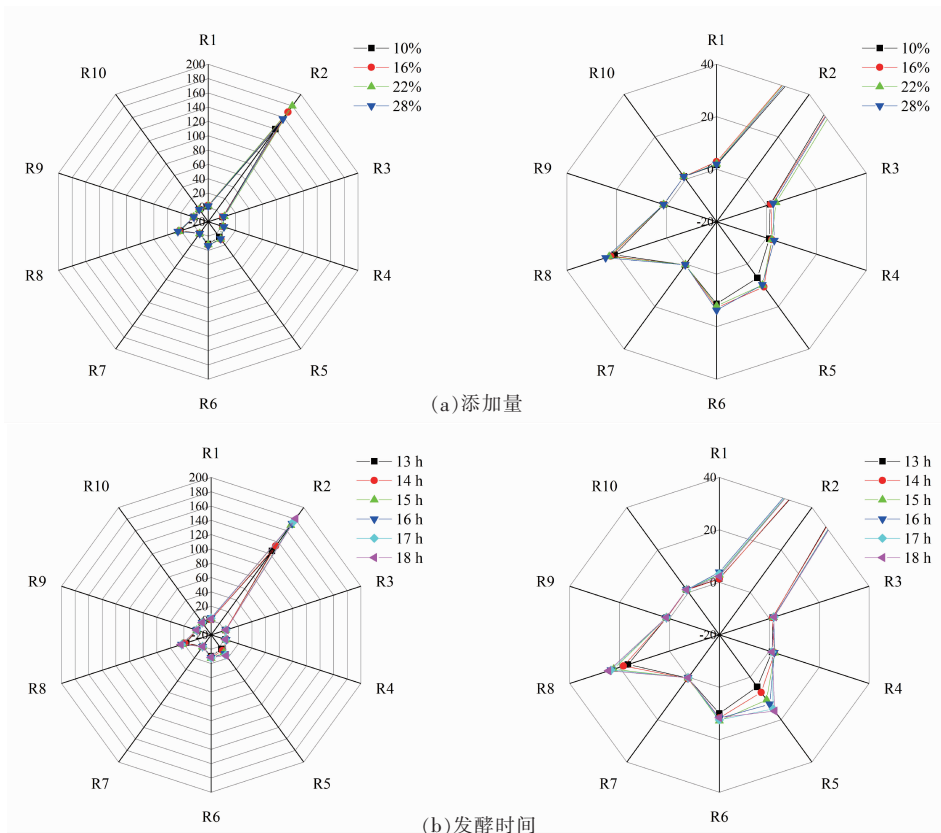


图5 “老面”发酵电子鼻雷达图

Fig.5 Electronic nose radar diagram of 'old mouth' fermentation

2.3 不同发酵剂的糙米发糕挥发性风味成分分析 根据以上质构性质、电子鼻的结果,优选 2%

酵母菌复配 1.2%植物乳杆菌、2%酵母菌复配 0.9%乳酸菌、16%的“老面”,按照糙米发糕制作工

艺利用3种发酵剂分别制作糙米发糕,利用GC-MS测定其挥发性风味成分。

由表3可知,酵母菌复配植物乳杆菌发酵糙米发糕总风味物质种类为24种,其中有8种醇类化合物,6种酸类化合物,4种醛类化合物,4种酯类化合物,2种酮类化合物;酵母菌复配乳酸菌糙米发糕共检测出26种风味物质,6种醇类化合物,7种酸类化合物,4种醛类化合物,5种酯类化合物,3种酮类化合物,还有一种吡啶物质;自然发酵“老面”的糙米发糕共检测出28种风味物质,9种醇类化合物,6种酸类化合物,4种醛类化合物,6种酯类化合物,3种酮类化合物。在发酵过程中,酵母菌、乳酸菌利用蛋白质、碳水化合物等物质产生挥发性风味物质,在乳酸菌的作用下,葡萄

糖经糖酵解途径转化为丙酮酸,再经过柠檬酸代谢等一系列生物化学过程产生醇类、醛类、酸类、酮类化合物,这一系列挥发性化合物的产生对糙米发糕的滋味和风味起到了决定性的作用^[28-31]。3种糙米发糕风味物质相对含量最多的是醇类,含量相差不大。醇类物质的产生与糖代谢、氨基酸代谢、甲基酮还原等反应相关^[32],醇类都具有芳香、植物芳香等特殊香气,与其它成分间存在协同作用,对风味产生有较大影响^[33]。在发酵食品中菌种对于食品风味有重要的影响,“老面”和复配混合乳酸菌体系中具有多种微生物,可以发挥多种微生物的协同作用,提高微生物对营养物质的利用度,使发酵产物更加丰富,营养更全面,所以呈现的风味物质会更多。虽然上述GC-MS检测结果表

表3 3种糙米发糕的风味分析

Table 3 Analysis of flavor of three kinds of brown rice cakes

化合物名称	保留时间(RT)/min	相对含量/%		
		植物乳杆菌	乳酸菌	“老面”
乙醇	2.75	9.10	9.56	10.30
2,3-丁二酮	3.16	0.12	0.13	0.14
己醛	4.70	0.21	0.21	0.20
1-丁醇	6.07	0.08	-	0.05
异戊醇	7.30	12.38	11.29	12.10
己酸乙酯	7.90	0.06	0.07	0.07
甘氨酸	9.01	-	0.13	-
3-羟基-2-丁酮	9.31	2.50	2.61	2.55
1-己醇	10.84	1.03	0.80	0.65
3-羟基-2-戊酮	11.01	-	0.06	0.04
壬醛	11.84	0.50	0.53	0.53
月桂醛	12.07	0.03	0.02	0.02
2-辛醇	12.49	0.11	-	0.08
辛酸乙酯	12.90	0.20	0.27	0.29
醋酸	13.42	0.75	0.61	0.63
苯甲醛	15.10	0.35	0.40	0.43
1-辛醇	15.84	3.39	-	2.50
2-甲基丙酸	16.15	0.42	0.31	0.40
癸酸乙酯	17.70	0.06	0.07	0.05
1-壬醇	18.22	0.30	0.32	0.30
2-甲基己酸	18.61	0.48	0.37	0.40
乙酸丙酯	20.02	-	0.22	0.16
2-戊醇	21.65	-	0.02	0.03
苯乙醇	23.60	11.42	10.20	10.10
辛酸	26.60	0.20	0.20	0.15
壬酸	28.58	0.07	0.07	0.07
棕榈酸乙酯	30.08	-	0.04	0.05
十二酸乙酯	30.10	0.07	-	0.08
正癸酸	30.50	0.04	0.04	0.03
吡啶	33.43	-	0.10	-

明,两种复配菌粉发酵制作的糙米发糕风味物质总数少于“老面”的,但是缺少的几种风味物质含量较低,对于糙米发糕整体风味和感官无明显影响,所以以上两种复配菌粉可代替面肥制作糙米发糕。

2.4 糙米发糕挥发性物质及不同种类主成分及聚类分析

对于3种接种不同发酵剂的糙米发糕挥发性物质及种类进行主成分分析,挥发性物质主成分及种类特征值和方差贡献率如表4、表5所示,载荷图如图6、图7所示。糙米发糕中挥发性风味物质主要集中在前4个主成分,累计方差贡献率为97.282%,挥发性风味物质种类主要集中在前2个主成分,累计方差贡献率为99.989%,较好地包含了原始信息数据总量。糙米发糕感官品评结果与乙酸丙酯、3-羟基-2-戊酮、乙偶姻、辛酸乙酯、壬醛等物质成正相关,而与2-甲基己酸、醋酸、苯乙醇、正丁醇、仲辛醇、异戊醇含量等呈负相关;与糙米发糕挥发性风味物质种类酮类、酯类呈显著正相关,而与酸类呈显著负相关。壬醛、乙偶姻呈绿菜花、乳脂气息^[34],赋予糙米发糕令人愉快的香气,壬醛可赋予糙米发糕一定的清香、果香香味,1-壬醛具有玫瑰的香气,2,3-丁二酮有奶油香味,苯甲醛能赋予产品坚果香、杏仁香^[35]。图8为糙米发糕挥发性风味物质聚类分析图,对聚类分析图进行4聚类分析时,从甘氨酸到辛酸7种风味物

表4 3种糙米发糕挥发性风味物质主成分特征值和方差贡献率

Table 4 Principal component characteristic values and variance contribution rates of volatile flavor substances in three kinds of brown rice cakes

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	16.178	53.927	53.927
2	7.489	24.963	78.890
3	3.470	11.566	90.456
4	2.048	6.826	97.282

表5 3种糙米发糕不同种类挥发性风味物质主成分特征值和方差贡献率

Table 5 Principal component characteristic values and variance contribution rates of different kinds of volatile flavor substances of three kinds of brown rice cakes

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	4.765	79.411	79.411
2	1.235	20.578	99.989

质为聚为一枝,三羟基二戊酮到仲戊醇聚为一枝,壬酸单独聚为一枝,异戊醇到正己醇聚为一枝,其聚类分析结果与主成分分析载荷图中各物质分析结果一致。

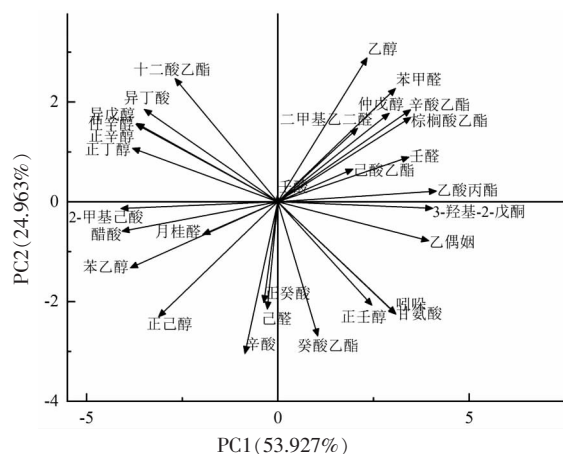


图6 糙米发糕挥发性风味物质主成分载荷图

Fig.6 Principal component load of volatile flavor substances in brown rice cake

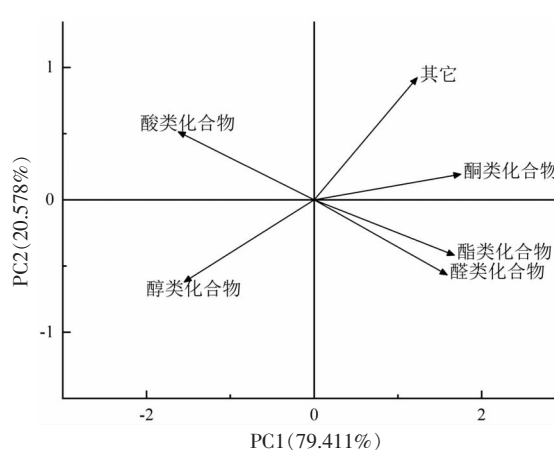


图7 糙米发糕挥发性风味物质种类主成分载荷图

Fig.7 Principal component load diagram of volatile flavor compounds in brown rice cake

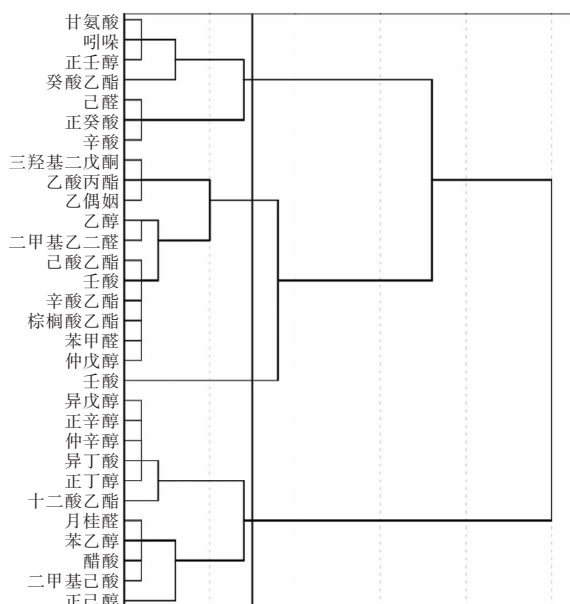


图 8 糙米发糕挥发性风味物质聚类分析

Fig.8 Cluster analysis of volatile flavor compounds in brown rice cake

2.5 感官评价分析

糙米发糕的感官评价结果如表 6 所示, 对比 3 种不同发酵剂蒸制发糕, 发现用 16% 的“老面”发酵制作糙米发糕时感官评分最高, 其次是 0.9% 混合乳酸菌, 1.2% 植物乳杆菌的糙米发糕, 两种复配菌粉制作发糕的感官评价与“老面”无较大差别, 均具有明显的酒香味和发酵香气, 甜度适中, 弹性较好, 风味和滋味俱佳; 同一种发酵剂使用不同添加量的感官评价结果也具有显著差异, 酵母菌与 0.9% 混合乳酸菌或 1.2% 植物乳杆菌混合、16% “老面”发酵蒸制的发糕风味较好。

3 结论

本试验应用 GC-MS、电子鼻检测技术, 结合主成分分析和聚类分析研究自然发酵“老面”和纯种发酵的糙米发糕中挥发性风味物质。挥发性风味物质主成分分析和聚类分析结果表明: 感官评定结果与乙酸丙酯、3-羟基-2-戊酮、乙偶姻、辛酸乙酯、壬醛呈显著正相关, 赋予糙米发糕乳脂味、清香味、果香味; 挥发性物质种类主成分分析结果表明: 感官评定结果与酮类、酯类呈显著正相关。同时, 结合糙米发糕质构特性对比分析, 结果表

表 6 糙米发糕的感官评价结果

Table 6 Sensory evaluation results of brown rice cakes

接种发酵剂名称	感官评分/分
混合乳酸菌(0.9%)	89.8 ± 0.31
混合乳酸菌(1.2%)	82.2 ± 0.43
植物乳杆菌(0.9%)	80.1 ± 0.09
植物乳杆菌(1.2%)	89.5 ± 0.12
“老面”(16%)	90.4 ± 0.36
“老面”(22%)	83.8 ± 0.16

明: 2% 酵母菌复配 1.2% 植物乳杆菌、2% 酵母菌复配 0.9% 乳酸菌发酵 3 h, 16% “老面”发酵 15 h, 3 种糙米发糕挥发性风味物质相近且质构特性最佳。由此可以确定纯种发酵基本可以代替自然发酵“老面”制作糙米发糕, 且糙米发糕风味和感官良好, 最终确定了糙米发糕的制作工艺和复配菌间配比。糙米发糕工艺配方: 糙米粉: 碎米粉=1:2, 绵白糖 17%, 去离子水 73%, 发酵剂(2% 酵母菌复配 1.2% 植物乳杆菌或 0.9% 乳酸菌粉, 发酵 3 h; “老面”16%, 发酵 15 h), 小苏打 0.25%。

参 考 文 献

- [1] 仰思颖. 发酵糙米糕工艺研究及品质改良[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
YANG S Y. Study on the process and quality improvement of fermented brown rice steam sponge cake[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.
- [2] 沈伊亮, 陈德文, 李秀娟, 等. 大米品种特性与米发糕质构特性的相关性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(7): 79-82.
SHEN Y L, CHEN D W, LI X J, et al. Correlation between characteristics of rice and texture properties of steamed rice sponge cake[J]. Food Science, 2009, 30(7): 79-82.
- [3] 李庆龙, 胡洋华, 黄明泰. 自发米糕粉的研制[J]. 粮食与饲料工业, 1993(3): 14-15.
LI Q L, HU Y H, HUANG M T. Preparation of spontaneous rice cake powder[J]. Grain and Feed Industry, 1993(3): 14-15.
- [4] 郭蕾, 刘小翠, 赵思明. 米发糕复配粉的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 218-221.
GUO L, LIU X C, ZHAO S M. Study on pre-

- mixed powder of fermented rice cake[J]. *Food Science*, 2008, 29(9): 218-221.
- [5] 张印, 王凯, 连惠章, 等. 米面混合发酵工艺对米发糕品质的影响研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2020(3): 28-32.
- ZHANG Y, WANG K, LIAN H Z, et al. The effect of mixed fermentation process on the quality of rice cake[J]. *Grain and Feed Industry*, 2020(3): 28-32.
- [6] SEKI T, NAGASE R, TORIMITSU M, et al. Insoluble fiber is a major constituent responsible for lowering the post-prandial blood glucose concentration in the pre-germinated brown rice[J]. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 2005, 28(8): 1539-1541.
- [7] KHOSHGOZARAN-ABRAS S, AZIZI M, BAGHERIPOOR-FALLAH N, et al. Effect of brown rice flour fortification on the quality of wheat-based dough and flat bread[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2014, 51(10): 2821-2826.
- [8] BAEK J, LEE S. Functional characterization of brown rice flour in an extruded noodle system[J]. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 2014, 57(4): 435-440.
- [9] 王立, 段维, 钱海峰, 等. 糙米食品研究现状及发展趋势[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(2): 236-243.
- WANG L, DUAN W, QIAN H F, et al. Research and development of brown rice products[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2016, 42(2): 236-243.
- [10] 李梁, 薛蓓, 罗章, 等. 基于高通量测序分析冻干老面与新鲜老面细菌群落结构[J]. *中国食品添加剂*, 2018(10): 126-131.
- LI L, XUE B, LUO Z, et al. Comparison of bacterial diversity from freeze-dried sourdough and fresh sourdough by high-throughput sequencing[J]. *Chinese Food additives*, 2018(10): 126-131.
- [11] 邓嘉进, 康宗华. 浅谈传统老面肥发酵技术研究进展以及发展趋势[J]. *现代面粉工业*, 2019, 33(3): 19-22.
- DENG J J, KANG Z H. Research progress and development trend of traditional old flour fertilizer fermentation technology[J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2019, 33(3): 19-22.
- [12] VUYST L D, HARTH H, KERREBROECK S V, et al. Yeast diversity of sourdoughs and associated metabolic properties and functionalities[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2016, 239: 26-34.
- [13] 滕超, 曲玲玉, 孙伟哲, 等. 传统馒头发酵剂的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(11): 1-5.
- TENG C, QU L Y, SUN W Z, et al. The progress of traditional starter cultures applied to Chinese steamed bread[J]. *Food Research and Development*, 2015, 36(11): 1-5.
- [14] LIU T, LI Y, SADIQ F A, et al. Predominant yeasts in Chinese traditional sourdough and their influence on aroma formation in Chinese steamed bread[J]. *Food Chemistry*, 2018, 242: 404-411.
- [15] 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.
- ZHANG G H, HE G Q. Traditional starter cultures of Chinese steamed bread - A review[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2012, 12(11): 115-120.
- [16] 王雪婷, 廖钰婷, 何瑞, 等. 传统酸面团中优良菌种的筛选、鉴定及在苦荞麸皮馒头中的应用[J]. *食品科技*, 2017, 42(2): 156-164.
- WANG X T, LIAO Y T, HE R, et al. Screening and identification of the dominant bacteria from Chinese traditional sour doughs and application in tartary buckwheat bran steamed bread[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 42(2): 156-164.
- [17] 郭蕾, 刘小翠, 沈硕, 等. 米发糕生产工艺的研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2010(7): 26-28.
- GUO L, LIU X C, SHEN S, et al. A study on production process of fermented rice cake[J]. *Grain and Feed Industry*, 2010(7): 26-28.
- [18] KACHELE R, ZHANG M, GAO Z, et al. Effect of vacuum packaging on the shelf-life of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets stored at 4 °C[J]. *LWT*, 2017, 80: 163-168.
- [19] LEE S M, LIM H J, CHANG J W, et al. Investigation on the formations of volatile compounds, fatty acids, and γ -lactones in white and brown rice during fermentation[J]. *Food Chemistry*, 2018, 269: 347-354.
- [20] 陈海旭, 赵丽芹, 负婷婷, 等. 益生菌发酵糙米饮料的制作工艺及其营养价值研究[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(11): 269-275.
- CHEN H X, ZHAO L Q, YUN T T, et al. Study on manufacturing process and nutritional value of brown rice beverage by probiotic fermentation[J].

- Food and Fermentation Industry, 2014, 40(11): 269-275.
- [21] 杨韵, 吴卫国, 李敏. 米发糕发酵工艺条件的研究[J]. 农产品加工, 2014(3): 42-45.
YANG Y, WU W G, LI M, et al. Technological conditions of fermented rice cake by fermentation[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2014(3): 42-45.
- [22] 张桂英, 杜文娟, 王玲. 小米品种特性与米发糕品质特性的相关性研究[J]. 食品科技, 2020, 45(10): 168-173.
ZHANG G Y, DU W J, WANG L, et al. Correlation between variety characteristic of different millet and quality properties of steamed millet sponge cake[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(10): 168-173.
- [23] MORONI A V, ARENDT E K, DAL BELLO F. Biodiversity of lactic acid bacteria and yeasts in spontaneously-fermented buckwheat and teff sourdoughs[J]. Food Microbiology, 2011, 28(3): 497-502.
- [24] RIPARI V, CECCHI T, BERARDI E. Microbiological characterisation and volatiles profile of model, ex-novo, and traditional Italian white wheat sourdoughs[J]. Food Chemistry, 2016, 205(15): 297-307.
- [25] THIELE C, GÄNZLE 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.
- [26] CHEN Q, SONG J, BI J, et al. Characterization of volatile profile from ten different varieties of Chinese jujubes by HS-SPME/GC-MS coupled with E-nose[J]. Food Research International, 2018, 105: 605-615.
- [27] 樊月, 刘伟, 徐芬, 等. 不同种类山东煎饼特征风味成分差异分析[J]. 食品科学, 2020, 41(12): 173-179.
FAN Y, LIU W, XU F, et al. Analysis of characteristic flavor components in different kinds of Shandong pancakes[J]. Food Science, 2020, 41(12): 173-179.
- [28] CHENG H. Volatile flavor compounds in yogurt: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2010, 50(10): 938-950.
- [29] ROURAY W, MISHRA H N. Scientific and technical aspects of yogurt aroma and taste: A review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2011, 10(4): 208-220.
- [30] CHAVES A, FERNANDEZ M, LERAYER A, et al. Metabolic engineering of acetaldehyde production by *Streptococcus thermophilus*[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, 68(11): 5656-5662.
- [31] 韩之皓, 郭帅, 黄天. 复合益生菌发酵不同基料乳酸菌饮料中挥发性代谢物差异分析[J]. 中国食品学报, 2021, 21(3): 300-314.
HAN Z H, GUO S, HUANG T, et al. Difference analysis of volatile flavor metabolite in *Lactobacillus* beverage fermented with complex probiotics[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(3): 300-314.
- [32] MOLIMARD P, SPINLER H E. Compounds involved in the flavor of surface mold-ripened cheeses: Origins and properties[J]. Journal of Dairy Science, 1996, 79(2): 169-184.
- [33] BRYANT R, MCCLUNG A. Volatile profiles of aromatic and non-aromatic rice cultivars using SPME/GC-MS[J]. Food Chemistry, 2010, 124(2): 501-513.
- [34] CHUNG H Y. Volatile components in fermented soybean (*glycine max*) curds[J]. J Agric Food Chem, 1999, 47(7): 2690-2696.
- [35] 任为一, 陈海燕, 李婷. 嗜热链球菌发酵乳中挥发性风味物质的 GC-MS 指纹图谱[J]. 中国食品学报, 2020, 20(9): 190-202.
REN W Y, CHEN H Y, LI T, Analysis of volatile flavor compounds in fermented milk with *Streptococcus thermophilus* by gas chromatographic fingerprints[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(9): 190-202.

Analysis of Volatile Constituents and Quality of Brown Rice Cake by Natural Fermentation 'Old Mouth' and Pure Breed Fermentation

Xu Xinyue¹, Li Jun^{1*}, Cui Huaitian¹, Li Jiayi¹, Lu Miaomiao¹, Zhang Chunli², Guo Yuxuan¹,
Song Hong¹, Zhu Danshi¹, Liu He¹

¹College of Food Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121013, Liaoning

²Liaoning Fuxin DeMeiKe Food Co. Ltd., Fuxin 123000, Liaoning)

Abstract Natural fermented 'old mouth' and pure yeast mixed with *Lactobacillus plantarum* and yeast mixed with lactic acid bacteria were used as starter cultures to make brown rice cake. The volatile flavor components of brown rice cake were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) combined with electronic nose and sensory evaluation. The results showed that: 2% yeast compounded with 1.2% *Lactobacillus plantarum*, 2% yeast compounded with 0.9% *lactic acid bacteria* fermented for 3 h, 16% 'old mouth' fermented for 15 h, the volatile flavor substances of the three brown rice cakes were similar. The results of principal component analysis and cluster analysis of volatile flavor substances showed that the sensory evaluation results were positively correlated with the contents of propyl acetate, 3-hydroxy-2-pentanone, acetoin, ethyl octanoate and nonal. The principal component analysis of volatile substances showed that the sensory evaluation results were positively correlated with ketones and esters. At the same time, the comparative analysis of the texture characteristics of brown rice cake showed that 2% yeast combined with 1.2% *Lactobacillus plantarum* or 0.9% *Lactobacillus* fermented for 3 h and 16% 'old mouth' fermented for 15 h had the best texture characteristics

Keywords brown rice cake; natural fermentation; volatile component; GC-MS