

发酵剂发酵、自然发酵与未发酵黑米煎饼的风味物质分析

唐明礼,王勃,刘贺,何余堂,惠丽娟,马涛

(渤海大学 化学化工与食品安全学院,渤海大学粮油科学与技术研究所,辽宁 锦州,121013)

摘要 以戊糖片球菌、肠膜明串珠菌、酿酒酵母作为煎饼专用发酵剂,分析发酵剂发酵与自然发酵黑米煎饼风味上的差异。采用电子鼻确定与自然发酵煎饼风味接近的发酵剂组合,通过固相微萃取-气相色谱-质谱联用(SPME-GC-MS)分析技术,研究未发酵、自然发酵、发酵剂发酵黑米煎饼中挥发性风味物质的构成与变化。结果表明,未发酵黑米煎饼检测出21种挥发性物质,发酵剂发酵制作的黑米煎饼检测含有34种挥发性物质,自然发酵黑米煎饼检测出39种挥发性物质,这些风味物质主要为醇类、酸类、酯类、醛类、酮类和芳香类等化合物。发酵剂发酵与自然发酵挥发性物质种类相差无几、口味基本相似且比未发酵的黑米煎饼挥发性物质种类和数量增多。

关键词 黑米煎饼; 发酵剂; 电子鼻; 固相微萃取; 气相色谱-质谱

煎饼是中国传统的谷物发酵食品之一,由五谷杂粮磨成的面糊摊烙而成。制作煎饼的原料极为广泛,传统的多以粗杂粮为主并在一定程度上保留了籽粒的糊粉层、胚和胚乳等天然成分,故煎饼是全谷物制品,具有较高的营养价值^[1-2]。

目前煎饼的制作多以传统作坊式自然发酵生产,但生产效率低、产品质量不稳定、生产过程易受微生物二次污染,从而使得其食品质量安全堪忧。为解决上述问题,研究者将发酵过程中的优势乳酸菌和酵母菌制成混合发酵剂用于煎饼生产。研究发现由乳酸菌和酵母菌复合发酵剂生产的产品具有较长的货架期、延缓老化、抑制霉菌腐败、改进产品的感官性质、具有更多的挥发性物质、缩短发酵周期,有利于实现工业化,提高产品质量等优点^[3-5]。

煎饼的味道是消费者接受和认可该产品的重要属性,故生产与自然发酵煎饼风味接近的菌种发酵煎饼势在必行。很多因素共同影响煎饼的风味,如面糊发酵有助于醇、酸、酯的形成^[6];酶产生的前体物质直接或间接地参与了风味的形成^[7];焙烤期间热诱导的美拉德反应及脂质氧化反应等都有助于产品的最终风味^[8]。尽管非挥发性成分能提供甜、酸、苦、咸等基本味道,但挥发性成分具有较低的阈值,尽管浓度较低,但显著影响食品的整体风味,最终影响产品的质量^[9]。

本实验利用电子鼻技术分析未发酵、自然发酵和发酵剂发酵煎饼风味上的差异,确定与自然发酵煎饼风味最为接近的菌种组合,应用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法提取黑米煎饼中的挥发性成分进行分析,进一步明确发酵剂与自然发酵的黑米煎饼的异同。

1 材料与方法

1.1 材料

煎饼专用发酵菌种由戊糖片球菌、肠膜明串珠菌和酿酒酵母组成,皆由渤海大学粮油科学与技术研究所提供;煎饼,本溪寨香生态农业有限公司提供(蛋白质:11.5 g/100g、脂肪:2.8 g/100g、碳水化合物:72.5 g/100g、水分:13.2 g/100g);4-甲基-2-戊醇标准品, Sigma 公司; MRS 培养基,北京奥博星生物技术有限责任公司; YEPD 培养基,北京奥博星生物技术有限责任公司; NaCl, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

PEN3 便携式电子鼻,德国 AIRSENSE 公司;固相微萃取装置、50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头、20 mL 顶空钳口样品瓶,美国 Supelco 公司; Agilent 7890N/5975 气质联用(GC-MS)仪,美国 Agilent 公司; DF-401S 集热式恒温加热磁力搅拌器,郑州长城科工贸有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 煎饼制作的操作要点

挑选子粒饱满的黑米、大米和大豆为主要实验原

第一作者: 硕士研究生(马涛教授为通讯作者, E-mail: tm1081209@yeah.com)。

收稿日期: 2014-12-17, 改回日期: 2015-01-11

料,其比例为 12:7:1,将黑米和大豆浸泡 10 h,精白米加 1.5 倍水蒸煮 30 min,与浸泡好的黑米和大豆混合,将上述混合物用胶体磨粉碎,然后在 26 ℃ 发酵 10 h,碱中和 pH 至 6.8,摊制温度 180 ℃ 条件进行烙制。

对煎饼面糊进行酵母菌和乳酸菌数量进行检测,确定黑米发酵面糊中乳酸菌与酵母菌的比例为 1.5:1。在发酵剂用量为 3% 的前提下,戊糖片球菌与肠膜明串珠菌的比例为 1:2、1:1、2:1,确定与自然发酵黑米煎饼风味最为接近的乳酸菌比例。

1.3.2 电子鼻检测确定菌种比例

在煎饼不同部位准确称取 2.000 g 放在离心管中,迅速用保鲜膜封口在室温条件下平衡 30 min。电子鼻的测定时间为 120 s,清洗时间:110 s,样品间隔:1 s,传感器室流量:350 mL/min,测量样品流量:350 mL/min。每个样品重复测定 3 次。PEN3 型便捷式电子鼻传感器性能描述见表 1。

表 1 PEN3 型便捷式电子鼻传感器性能描述

Table 1 Properties of sensor on PEN3 electronic nose

传感器	性能描述	备注
R(1)	对芳香成分灵敏	C_7H_8 (10 mL/m ³)
R(2)	灵敏度大,对氮氧化物很灵敏	NO_2 (1 mL/m ³)
R(3)	氨水,对芳香成分灵敏	C_6H_6 (10 mL/m ³)
R(4)	主要对氢气有选择性	H_2 (100 mL/m ³)
R(5)	烷烃,芳香成分	C_3H_8 (1 mL/m ³)
R(6)	对甲烷灵敏	CH_4 (100 mL/m ³)
R(7)	对无机硫化物灵敏	H_2S (1 mL/m ³)
R(8)	对乙醇灵敏	CO (100 mL/m ³)
R(9)	芳香成分,对有机硫化物灵敏	H_2S (1 mL/m ³)
R(10)	对烷烃灵敏	CH_4 (10 mL/m ³)

1.3.3 GC-MS 分析

应用顶空固相微萃取联合气相色谱-质谱分析挥发性化合物。固相微萃取:在煎饼不同部位准确称取 2.000 g 样品切碎于 20 mL 的顶空瓶中,加入 6 mL 的 20% 的 NaCl 溶液、5 μL 的 4-甲基-2-戊醇内标溶液和磁转子,用聚四氟乙烯隔垫密封,在 60 ℃ 的磁力搅拌器中加热平衡 20 min,用已活化好的 DVB/CAR/PDMS 50/30 μm 萃取头(270 ℃ 活化 60 min)顶空吸附 60 min,将萃取头插入 GC 进样口解吸 5 min^[10-11]。每个样品重复实验 2 次。

气相色谱条件:HP-5MS 毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);进样口温度为 250 ℃,不分流模式进样;载气为 He,流速 1.0 mL/min;程序升温:柱初温 35 ℃,保持 5 min,以 5 ℃/min 升至 50 ℃,保持 5

min,再以 5.5 ℃/min 升至 230 ℃,保持 5 min。

质谱条件:色谱-质谱接口温度 280 ℃,离子源温度 230 ℃,四极杆温度 150 ℃;离子化方式:EI;电子能量 70 eV;质量扫描范围 30~550 (m/z)^[10-11]。

1.4 数据分析

样品中挥发性成分的定性分析采用计算机谱库(NIST11/Wiley 7.0)进行检索,样品中挥发性化合物的浓度通过与内标物的浓度比较进行测定。

$$\text{挥发物的浓度} / (\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}) = \frac{CVA_1}{MA_2} \times 10^{-6}$$

式中: C,4-甲基-2-戊醇的浓度,mL/mg; V,4-甲基-2-戊醇的体积,μL; A_1 ,挥发物的峰面积,mV · min; M,样品质量,g; A_2 ,4-甲基-2-戊醇的面积,mV · min。

2 结果与分析

2.1 电子鼻检测与自然发酵煎饼口感相近的乳酸菌比例

采用电子鼻检测与自然发酵煎饼口感相近的菌种比例,结果如图 1~图 3。图 1 为未发酵、自然发酵、发酵剂发酵黑米煎饼的主成分分析,其主成分 1(PC1, 95.06%) 和主成分 2(PC2, 3.46%) 的累积方差贡献率为 98.52%,说明 PC1 和 PC2 包含很大的信息量,基本能够反映样品的信息特征。从图中可看出,发酵剂中戊糖片球菌与肠膜明串珠菌 1:1 的与自然发酵黑米煎饼的口感最为接近,而其他的比例与自然发酵的黑米煎饼分布于各自的区域,能很好地被电子鼻区分。

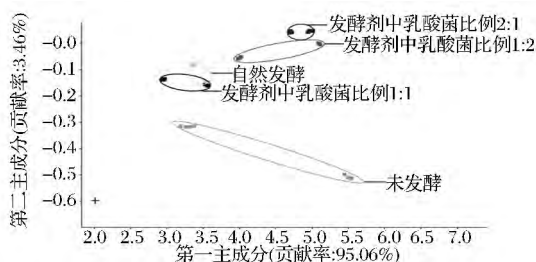


图 1 未发酵、自然发酵、发酵剂生产黑米煎饼的 PCA 分析

Fig. 1 PCA analysis of black rice pancake produced by unfermentation, natural fermentation, leavening agents

图 2 为未发酵、自然发酵、发酵剂生产黑米煎饼的线性判别式分析,第一主成分和第二主成分总的区分贡献率达 95.79%。第一主成分区分贡献率达 83.09%,第二主成分区分贡献率达 12.70%,从图中可看出,LDA 分析可以区分各样品间的差异,但发酵剂中戊糖片球菌与肠膜明串珠菌 1:1 的与自然发酵的煎饼间距离最短,两种煎饼间风味差异最小,其他

均与自然发酵煎饼风味差异较大。

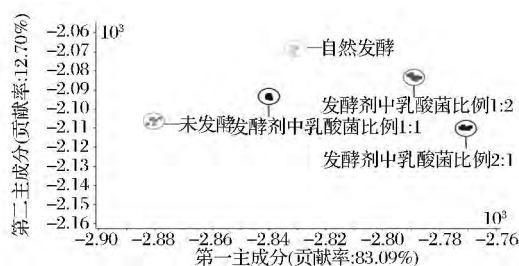


图2 未发酵、自然发酵、发酵剂生产黑米煎饼的LDA分析

Fig. 2 LDA analysis of black rice pancake produced by unfermentation, natural fermentation, leavening agents

图3为电子鼻10个传感器分别对样品的PCA主成分分析的贡献率。R(2)传感器对第一主成分贡献率最大,是第一主成分的特征信号;R(9)传感器对第二主成分贡献率最大。根据各传感器对不同物质的特异敏感度,R(2)和R(9)传感器对不同煎饼风味差异具有主要贡献。

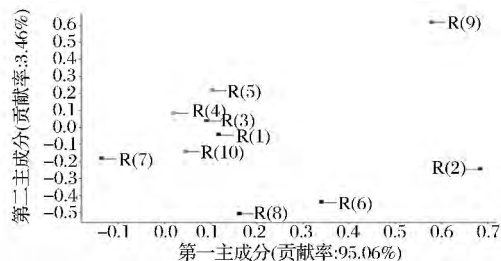


图3 未发酵、自然发酵、发酵剂生产黑米煎饼的Loading分析

Fig. 3 Loading analysis of black rice pancake produced by unfermented, natural fermented, leavening agents

2.2 GC-MS 分析结果

采用固相微萃取对未发酵、发酵剂发酵和自然发酵黑米煎饼的香气成分进行萃取,经气相色谱-质谱联用仪分析鉴定,由GC-MS工作站绘出未发酵和自然发酵玉米煎饼香气成分的总离子流图见图4.5和6。

未发酵、自然发酵、发酵剂发酵的黑米煎饼中挥发性成分组成及相对含量见表2,共鉴定出55种挥发性物质,未发酵黑米煎饼检测出21种挥发性物质,发酵剂制作的黑米煎饼检测出34种挥发性物质,自然发酵黑米煎饼检测出39种挥发性物质。这些挥发性物质主要包括醛类、酮类、酯类、醇类、烃类和芳香族化合物等,这些物质共同构成了黑米煎饼的独特风味,这些化合物可能源于面糊的发酵、酶反应以及摊制过程中的美拉德反应和脂质氧化反应^[2]。

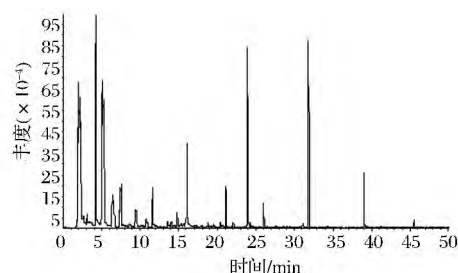


图4 未发酵黑米煎饼的总离子流图

Fig. 4 Total ion chromatogram of black rice pancake produced by unfermentation

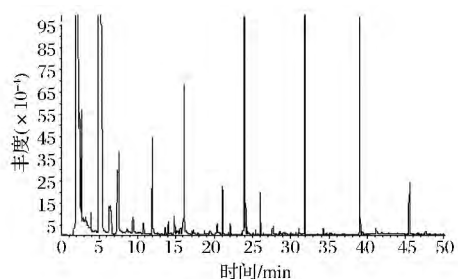


图5 发酵剂发酵黑米煎饼的总离子流图

Fig. 5 Total ion chromatogram of black rice pancake produced by leavening agents

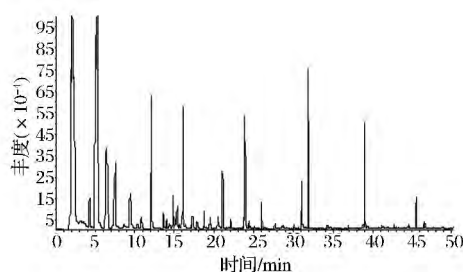


图6 自然发酵黑米煎饼的总离子流图

Fig. 6 Total ion chromatogram of black rice pancake produced by natural fermentation

2.2.1 羰基化合物

羰基化合物包括醛类和酮类物质,在煎饼等产品中有重要的作用。微量醛可使食品香气更加醇厚,如壬醛有令人愉快的香味,存在于柠檬草油、玫瑰油、肉桂油等物质中^[3]。己醛是一种具有青草气及苹果香味的成分,天然品存在于苹果、草莓中^[4];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^[5];苯乙醛具有玫瑰花香^[6]。其他如乙醛、丁醛、戊醛等均有助于发酵食品香气的形成^[3]。在3种煎饼中共检测出12种醛类化合物,在未发酵煎饼、发酵剂发酵和自然发酵煎饼中分别检测出6种,10种和7

表2 不同黑米煎饼挥发性物质的 GC-MS 分析结果
Table 2 Composition of volatile flavor compounds in different black rice pancake determined by GC-MS

类	化合物名称	保留时间/min	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)		
			未发酵煎饼	发酵剂发酵煎饼	自然发酵煎饼
醛类	正己醛	6.397 8	2 542.249	22 367.44	5 297.464 9
	正辛醛	15.938 4	—	971.214	546.842
	庚醛	10.793 2	—	2 104.820	—
	壬醛	21.095 1	1 256.383	3 634.684	1 854.435
	癸醛	26.032 7	1 314.168	1 530.6	1 402.726
	苯乙醛	17.957 2	241.878	—	—
	苯甲醛	13.585	—	2 304.93	677.610 7
	2-己烯醛	8.589 7	612.325	1 210.203	—
	反-2-辛烯醛	18.764 8	437.256	1 405.111	837.612
	反-2-十二烯醛	33.150 7	—	—	191.035
	反-2-壬烯醛	23.806 2	—	638.301	—
	反,反-2,4-癸二烯醛	31.051 1	—	801.134	—
酮类	苯乙酮	19.064 8	—	274.229	320.785
	香叶基丙酮	36.911 5	—	194.607	54.561
	5-甲基-2-己酮	10.354 8	—	888.015	231.394
	2-庚酮	10.343 3	—	—	141.522
	2,3-辛二酮	15.096 2	186.381	693.562	—
	3-辛烯-2-酮	17.830 4	—	232.2	81.114
	甲基庚烯酮	15.211 6	293.563	—	249.521
	反式- β -紫罗兰酮	37.419 1	—	43.828	54.843
酯类	亚硫酸二甲酯	2.602 3	329.979	1 690.957	1 856.874
	棕榈酸甲酯	54.123 8	—	—	90.461
	五氟辛酸酯	19.503 2	—	1 199.83	—
酸类	醋酸	3.133	583.19	1 187.914	731.363 6
醇类	苯乙醇	21.625 8	—	—	287.455
	2-乙基乙醇	17.345 8	—	763.284	467.626 9
	正己醇	9.443 4	2 975.332	7 510.377	4 479.897
	正庚醇	14.404 1	—	877.079	1 346.437
	正辛醇	19.526 2	220.593	—	—
	1-壬醇	24.452 2	—	664.156	152.731
	1-辛烯-3-醇	14.830 9	1 221.327	3 312.653	1 854.626
	糠醇	8.958 9	—	828.126	640.156
	反式香叶基香叶醇	51.228 2	—	—	195.395
烯烃类	1-(2-甲基丙基)-环戊烯	17.288 1	173.614	—	—
	双戊烯	17.126 6	144.293	277.171	199.676
	1-十六烯	42.702 8	—	390.402	453.768
	2-甲基-2,3-己二烯	25.248 3	—	—	76.296
	2-甲基-1-庚烯	15.177	—	418.954	—
烷烃类	丙烷	42.691 2	3.219 8	—	—
	1-乙基-2-甲基-环戊烷	13.619 6	377.035	—	—
	1,3-二甲基-环戊烷	14.438 6	190.531	—	—
	十一烷基-环戊烷	44.664	—	160.553	150.865
	1,1-(2-甲基-1,3-丙二基)双环己烷	28.616 9	—	—	130.251
	顺式-1-(环己基甲基)-4-乙基-环己烷	37.615 3	—	—	99.747
	十四烷	34.696 6	—	167.957	137.432
	5-甲基-十四烷	40.857	—	—	72.45
	正十五烷	38.815	—	232.859	—
	2,6,10,14-四甲基-十六烷	50.201 4	—	—	189.284
	2-甲基-十六烷	41.5607	—	—	198.35
	正十七烷	46.382 9	—	175.001	—
	1,2-环氧十八烷	30.693 4	55.313 8	—	81.395
	3-甲基-二十一烷	37.096 1	—	245.563	—
	2,5-二叔丁基酚	39.345 7	—	350.849	183.970 1
芳香类	4-仲丁基苯酚	31.062 6	377.157	—	359.700 4
	2-正戊基呋喃	15.35	355.041	1 002.585	305.316

注 “—”表示未检出。

种醛类物质。发酵后增加了正辛醛、庚醛、苯甲醛、反,反-2,4-癸二烯醛、反-2-壬烯醛、反-2-十二烯醛,这可能是由于面糊发酵过程中微生物的发酵作用所致。发酵剂发酵比自然发酵增加了庚醛、2-己烯醛、反-2-壬烯醛、反,反-2,4-癸二烯醛,这可能是由于发酵剂的代谢产物和其它物质发生了某种化学发应。

未发酵、发酵剂发酵和自然发酵 3 种煎饼共检测出 2、5、6 种酮类物质,说明发酵后酮类物质也有所增加,自然发酵比发酵剂发酵增加了 2-庚酮,这可能是面糊中除发酵剂菌种外其他乳酸菌和酵母菌产生的代谢产物。从表 2 看出香叶基丙酮存在发酵黑米煎饼中,其含量为 294.607、54.561 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。具有青香、果香和木香等味道,对黑米煎饼产生积极影响。羰基类化合物在所检成分中占有较大比例,是黑米煎饼风味的主要来源。

2.2.2 醇、酸和酯类化合物

3 种黑米煎饼中共检测出 9 种醇、1 种酸和 4 种酯类化合物,占总挥发性成分的 15.2%、1.4% 和 6.8%。发酵剂发酵的黑米煎饼挥发物种类小于自然发酵,原因可能是发酵剂在发酵过程中作为优势菌种会抑制其他菌种的生长及代谢,最终导致代谢产物减少,挥发性物质减少。醇类都具有芳香、植物芳香等特殊香气,对赋予发酵黑米煎饼香气作用较大,而且与其他成分间存在相乘作用,如苯乙醇具有新鲜面包香、清甜的玫瑰花香,1-辛烯-3-醇具有蘑菇香味和强烈的药草香韵,也是香料行业中一种有价值的合成香料^[17-19],尽管醇类的阈值较高,但醇类物质可以与有机酸形成酯类物质,有利于黑米煎饼风味物质的形成^[20]。酸类化合物只检测到醋酸,均存在 3 种产品中且发酵后均有不同程度的增加。研究发现,一些有机酸在高温下与醇类反应生成酯类,一部分酯类可成为特有化合物^[21]。由表 2 可知,发酵前后醇和酯类化合物均有一定程度的增加,酸类物质没有发生变化。研究发现与单一发酵剂相比,酵母菌和乳酸菌共同发酵会形成更多的风味物质^[22]。

2.2.3 烯烃、烷烃类化合物

根据表 2 烷烃类化合物的含量在所有检测的挥发性化合物中含量最高。烷烃类化合物在发酵后数量和种类明显增强,十一烷基-环戊烷和十四烷均存在于发酵剂发酵和自然发酵的煎饼中。正十五烷、正十七烷、3-甲基-二十一烷存在于发酵剂发酵煎饼中,十一烷基-环戊烷、1,1-(2-甲基-1,3-丙二基)双环己烷、顺式-1-(环己基甲基)-4-乙基-环己烷、十四烷、5-

甲基-十四烷存在于自然发酵煎饼中,自然发酵比发酵剂发酵煎饼的烷烃种类多,可能是由于自然发酵面糊中微生物种类较多,不同种类代谢产物可发生复杂的生化反应及在摊制过程美拉德反应导致。

2.2.4 芳香类化合物

芳香类化合物是煎饼等产品的重要化合物,3 种煎饼产品中检测到 3 种芳香类化合物,未发酵煎饼中检测到 2 种芳香类化合物,其 4-仲丁基苯酚含量最高,含量为 377.157 $\mu\text{g}/\text{kg}$,发酵剂发酵黑米煎饼中检测到 2 种芳香类化合物,其 2-正戊基呋喃含量最高,含量为 2402.585 $\mu\text{g}/\text{kg}$,自然发酵的黑米煎饼共检测到 3 种芳香类化合物,其 4-仲丁基苯酚含量最高,含量为 359.700 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

3 结论

本实验利用电子鼻及 GC-MS 技术确定了发酵剂生产黑米煎饼的菌种比例及对发酵剂与自然发酵黑米煎饼的挥发性风味物质进行了分析,对发酵剂在黑米煎饼生产中的应用进行了评价。

利用戊糖片球菌与肠膜明串珠菌比例为 1:1 的发酵剂发酵得到的煎饼与自然发酵黑米煎饼的口感最为接近。发酵后挥发性化合物种类明显增多。醛类和酮类挥发性物质对黑米煎饼风味起关键作用,其数量及种类较多,是煎饼风味物质的主体风味物质。发酵剂发酵与自然发酵的黑米煎饼中酮类和醇类挥发物种类相似,烷烃和芳香类化合物数量相近。故由戊糖片球菌、肠膜明串珠菌和酵母菌制成的混合发酵剂可用于煎饼的连续化及工业化生产。

参 考 文 献

- [1] Anderson J W. Whole grains and coronary heart disease: the whole kernel of truth [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2004, 80(6): 1459-1460.
- [2] Levi F, Pasche C, Lucchini F, et al. Refined and whole grain cereals and the risk of oral, oesophageal and laryngeal cancer [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2000, 54(6): 487-489.
- [3] Plessas S, Bekatorou A, Gallanagh J, et al. Evolution of aroma volatiles during storage of sourdough breads made by mixed cultures of *Kluyveromyces marxianus* and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* or *Lactobacillus helveticus* [J]. Food Chemistry, 2007, 107(2): 883-889.
- [4] Ganzle M. G., Vermeulen N, Vogel R F. Carbohydrate, peptide and lipid metabolism of lactic acid bacteria in sourdough [J]. Food Microbiology, 2006, 24(2): 128-138.
- [5] Rehman S U, Paterson A, Piggott J R. Flavour in sourdough

- bread: A review [J]. Trends in Food Science and Technology, 2006, 17(10): 557 - 566.
- [6] Hazelwood L A, Daran J-M, Pronk J T, et al. The Ehrlich pathway for fusel alcohol production: a century of research on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2008, 74(8): 2259 - 2266.
- [7] Martínez-Anaya M A. Enzymes in bread flavour [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1994, 44: 2 469 - 2 480.
- [8] Pozo-Bayón M A, Guichard E, Cayot N. Flavor control in baked cereal products [J]. Food Reviews International, 2006, 22(4): 335 - 379.
- [9] Quílez J, Ruiz J A, Romero M P. Relationships between sensory flavor evaluation and volatile and nonvolatile compounds in commercial wheat bread [J]. Journal of Food Science, 2006, 71(6): S423 - S427.
- [10] Paraskevopoulou A, Chrysanthou A, Koutidou M. Characterisation of volatile compounds of lupin protein isolate - enriched wheat flour bread [J]. Food Research International, 2012, 48(2): 568 - 577.
- [11] Plessas S, Alexopoulos A, Bekatorou A, et al. Examination of freshness degradation of sourdough bread made with kefir through monitoring the aroma volatile composition during storage [J]. Food Chemistry, 2011, 124(2): 627 - 633.
- [12] Pozo-Bayón M A, Guichard E, Cayot N. Flavor control in baked cereal products [J]. Food Reviews International, 2006, 22(4): 335 - 379.
- [13] 宋国新, 余应新, 王林祥, 等. 香气分析技术与实例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 21 - 22; 301; 368.
- [14] 也兰春, 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.
- [15] 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.
- [16] 聂庆庆, 徐岩, 范文来, 等. 洋河系列绵柔型白酒香气成分研究 [J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 68 - 74.
- [17] 苏东海, 李自红, 胡丽花, 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.
- [18] 刘若诗, 黄卫宁, RAYAS-DUARTE Patricia. 燕麦酸面团发酵剂的冻干和储藏对面包风味的影响 [J]. 食品科学, 2010, 31(21): 15 - 19.
- [19] 黄劲松, 陈建兵, 杜先锋. 褐变抑制剂对贮藏期间蘑菇的感官指标及挥发性香气的影响 [J]. 食品科学, 2008, 29(7): 448 - 451.
- [20] 吴海燕, 解万翠, 杨锡洪, 等. 固相微萃取 - 气相色谱 - 质谱联用法测定腌制金丝鱼挥发性成分 [J]. 食品科学, 2009, 30(18): 278 - 281.
- [21] 杨洁彬, 郭兴华. 乳酸菌 - 生物学基础及应用 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1996: 170 - 172.
- [22] Corsetti A, Settanni L. Lactobacilli in sourdough fermentation [J]. Food Research International, 2007, 40(5): 539 - 558.

Analysis on volatile flavor compounds in black rice pancake produced by leavening agents, natural fermentation and unfermentation

TANG Ming-li, WANG Bo, LIU He, HE Yu-tang, HUI Li-juan, MA Tao

(College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Bohai University Grain and Oil Science and Technology Institute of Bohai University, Jinzhou 121013, China)

ABSTRACT *Pediococcus pentosaceus*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Saccharomyces cerevisiae* were used as special pancake fermentation agent, and the flavor differences between black rice pancake produced by fermentation with agent and that produced by natural fermentation were analyzed. The combination of fermentation agents was determined by the electronic nose to obtain pancake with flavor similar to that of naturally fermented pancake. The compositions and changes of volatile flavor compounds in black rice pancake produced through unfermentation, natural fermentation, and fermenting agent were studied by SPME-GC-MS (solid phase micro extraction-gas chromatography-mass spectrometry). The results showed that, the natural fermented pancake and the pancake produced using fermenting agent one respectively contained 39 and 34 kinds of volatile substances, including Alcohols, acids, esters, aldehydes, ketones and aromatic compounds and so on, whereas the unfermented pancake contained 21 kinds of volatile substances. Pancake produced by fermenting agent and natural fermented black rice pancake had almost the same kinds of substances and similar tastes, and there were more variety and higher quantity of substances in them compared to the unfermented pancake.

Key words black rice pancakes; leavening agent; electronic nose; solid phase micro extraction; gas chromatography-mass spectrometry