

专家组稿专栏

编者按:食品讲究色香味形,故香和味是食品重要的品质指标。食用香精是食品制造业中不可或缺的重要添加剂,起到了增香、矫味、弥补加工损失等的作用。通过对食品或食用香精中特征风味物质的分析测定,可以掌握食品或食用香精中起关键作用的风味赋予(flavor-impact)物质的本质,这对优化食品或食用香精加工或储藏条件,实现标准化生产,具有重要意义。

(栏目主持人:宋焕禄教授)

文章编号:1671-1513(2011)04-0012-07

植物乳杆菌燕麦酸面团发酵面包风味化合物的特征

张庆¹, 钟京¹, 王凤¹, 宋焕禄², 黄卫宁¹, Rayas-Duarte Patricia³

(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. 北京工商大学食品学院, 北京 100048;

3. 俄克拉荷马州立大学农产品与食品研究中心, 美国俄克拉荷马州斯蒂尔沃特 74078-6055)

摘要:应用固相微萃取技术(SPME)和气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)分别对普通小麦面包、普通燕麦面包(含质量分数为20%燕麦粉)、燕麦酸面团面包(用10%燕麦酸面团取代燕麦面包中10%的燕麦粉)以及燕麦酸面团冷冻干燥(冻干)粉面包(用10%燕麦酸面团冻干粉取代燕麦面包中10%的燕麦粉)中的挥发性风味物质进行研究,考察植物乳杆菌燕麦酸面团发酵剂及其冻干工艺对面包风味的影响。结果表明:所有样品中共检测出57种风味物质,主要包括醇类、酸类、醛类、酯类、酮类、脂肪烃类,以及一些芳香族和杂环类化合物。醇类物质的含量最高,其次是芳杂环类、醛类和酸类物质。与普通小麦面包相比,添加燕麦粉面包的风味物质种类更多;甲苯、庚醇、1,3-丙二醇二乙酸酯、辛酸共同存在于3种燕麦面包中,而在普通小麦面包中未检测出。冻干过程中会丧失一些风味物质或风味前体物质,与燕麦酸面团冻干粉面包相比,燕麦酸面团面包中含有一些独有风味物质,分别是双乙酰、2-戊酮、庚酸乙酯、2-乙酰基噻唑、香叶基丙酮。

关键词:植物乳杆菌;燕麦酸面团;冷冻干燥;面包;挥发性风味物质

中图分类号:TS213.2

文献标志码:A

酸面团是由谷物、水和具有活性的微生物,主要指乳酸菌和酵母菌,经过发酵制得的一种面团^[1]。作为一种古老而传统的面包发酵剂,具有改善面包质构、增强风味、提高营养价值等的优点^[2-6]。植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)是酸面团发酵的重

要起始菌株,属于兼性同型发酵乳酸菌,能产生双乙酰和羰基化合物等重要风味物质^[7-8]。

燕麦作为一种多功能性谷物,含有大量高营养价值的物质,是唯一获得美国FDA健康认证的谷物^[9-11]。近几年,燕麦的乳酸菌可发酵性及其在产

收稿日期:2011-06-12

基金项目:国家农业科技成果转化基金项目(2009GB23600520);美国农业部国际合作项目[A-(86269)];国家自然科学基金资助项目(31071595,20576046);国家现代农业产业技术体系建设专项(nycyz-14);加拿大农业部国际交流与合作项目(CCSIC-Food-00107)。

作者简介:张庆,女,硕士研究生,研究方向为烘焙科学、功能配料和食品添加剂;

黄卫宁,男,教授,博士,主要从事食品烘焙与发酵技术、谷物食品化学方面的研究。通讯作者。

品的应用也越来越受到人们的关注^[12]。Gupta等^[13]利用乳酸菌发酵燕麦研制出了一种功能性饮料。张坤等^[14]研究发现乳酸菌发酵对燕麦β-葡聚糖分子质量分布和峰值分子量影响不大。

目前对酸面团发酵改善面包风味的研究主要集中于小麦及黑麦酸面团^[15-17]，关于燕麦酸面团发酵及其冷冻干燥(冻干)工艺对面包风味的影响研究罕有报道。冷冻干燥制品具有体积小、复水性能良好且保存使用方便等优点^[18]。固相微萃取技术(SPME)与气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)是准确分析和鉴定食品风味物质的重要方法^[19]，本实验采用SPME-GC/MS技术，研究燕麦酸面团面包、燕麦酸面团冻干粉面包中的特征挥发风味物质，同时与普通燕麦面包和普通小麦面包比较，考察酸面团发酵剂及其冻干工艺对面包风味的影响，为开发营养丰富、风味独特的燕麦酸面团面包提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

燕麦粉,河北康希有限公司;小麦粉,中粮面业鹏泰有限公司。

即发活性干酵母,广东梅山马力酵母有限公司;植物乳杆菌 Biogreen300,丹尼斯克(中国)有限公司;起酥油,东海粮油工业(张家港)有限公司。

1.2 仪器与设备

SPX-150C型恒温恒湿培养箱,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;TH-B-402型超净台,无锡一净化仪器设备有限公司;手提式灭菌锅,上海三申医疗器械有限公司;冷冻干燥机,英国 Labconco 公司;5K5SSWH型搅拌机,美国 Kitchenaid 公司;醒发箱、烤箱,新麦机械(无锡)有限公司;Finnigan Trance MS气相色谱-质谱联用仪,美国 Finnigan 公司;固相微萃取装置、75 μm CAR/PDMS萃取头,美国 Supelco 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 小麦粉和燕麦粉成分的测定

分别参照文献^[20]AACC方法(2000)44-15A、46-12、08-01和32-09测定小麦粉和燕麦粉的水分含量、粗蛋白含量、灰分含量和总膳食纤维含量。

1.3.2 植物乳杆菌燕麦酸面团及其冻干粉的制备

燕麦粉与水的比例为1:1(*m/m*),将植物乳杆菌活化培养至对数生长后期,取其菌液4 500 r/min

离心15 min,用无菌生理盐水冲洗两次后,加入水中与燕麦粉混合均匀,放入恒温恒湿培养箱中进行培养,培养温度为28℃,培养时间为14 h。

将上述燕麦酸面团灌入平板中,厚度0.8 cm,覆一层保鲜膜放入-40℃预冻,然后真空冷冻干燥48 h。样品冷冻干燥后进行磨粉,过100目筛,4℃储藏备用。

1.3.3 面包的制备

不同面包的制作配方见表1,其中普通小麦面包为空白组,普通燕麦面包为对照组,燕麦酸面团面包和燕麦酸面团冻干粉面包为实验组。对照组与实验组中燕麦粉的量应保持一致,均占总粉的20%。制作工艺:由于燕麦粉自身不含有面筋,且纤维含量较高,会破坏小麦面筋的充分形成。因此本实验采用后加燕麦粉的方法进行搅面^[21]。首先将小麦粉、酵母、盐、糖、油及部分水混匀搅打至面筋充分扩展,然后再加入燕麦粉、燕麦酸面团或燕麦酸面团冻干粉和剩余的水,慢搅至燕麦粉充分溶解后,室温松弛10 min,分割150 g/个,成型、装盘,38℃,85% RH醒发90 min,上下火170/210℃烘焙20 min。

表1 不同面包的制作配方

Tab.1 Ingredients of different breads

配料/%	普通小麦 普通燕麦 燕麦酸面 燕麦酸面团			
	面包	面包	团面包	冻干粉面包
小麦粉	100	80	80	80
燕麦粉	0	20	10	10
燕麦酸面团 ^a	0	0	10	0
燕麦酸面团冻干粉	0	0	0	10
酵母	1.5	1.5	1.5	1.5
盐	1.5	1.5	1.5	1.5
糖	8	8	8	8
油	3	3	3	3
水	60	60	60	60

注:a——以其中所含燕麦粉含量计算。

1.3.4 面包挥发性风味物质分析

1.3.4.1 挥发性成分的顶空固相微萃取

将面包芯分割成约5 mm×5 mm×3 mm的碎片,放入15 mL SPME样品瓶中,样品约占瓶子体积的3/5,盖好瓶盖,把样品瓶放入60℃恒温水浴中,将老化好的萃取头插入样品瓶的上空,顶空萃取40 min,用手柄使纤维头退回到针头内,拔出针头进样。

1.3.4.2 GC-MS分析

色谱条件:DB-5MS毛细管色谱柱(60m×0.32

mm, 1 μ m); 载气 He 流量: 恒流 1.2 mL/min, 分流 10 mL/min, 前 2 min 不分流, 之后再分流, 分流比为 12:1; 升温程序: 起始温度 40 $^{\circ}$ C, 保留 1 min, 然后以 6 $^{\circ}$ C/min 升温至 160 $^{\circ}$ C, 接着以 10 $^{\circ}$ C/min 升温至 250 $^{\circ}$ C, 保留 10 min.

质谱条件: 电离方式 EI, 进样孔温度 250 $^{\circ}$ C, 离子源温度 200 $^{\circ}$ C, 电子能量 70 eV, 发射电流 200 μ A, 采集方式为全扫描, 采集质量范围 m/z 为 33 ~ 495 u.

1.3.4.3 挥发性成分的定性定量分析

GC-MS 图谱经计算机和人工检索把每个峰同时与 NIST Library 和 Wiley Library 相匹配检索定性, 匹配度和纯度大于 900 作为鉴定结果. 化合物定量: 按峰面积归一化法计算相对百分含量.

2 结果与分析

2.1 小麦粉和燕麦粉的基本组分

小麦粉和燕麦粉的组分情况见表 2.

表 2 小麦粉和燕麦粉的组分情况

Tab. 2 Component contents of wheat flour and oat flour

样品	质量分数/%			
	水分	粗蛋白	灰分	总膳食纤维
小麦粉	13.78	15.52	0.74	2.35
燕麦粉	11.82	15.40	1.71	14.21

2.2 不同面包样品挥发性风味物质的测定结果

图 1 为不同面包中挥发性物质的色谱图, 采用计算机检索和人工解析各峰相应的质谱图, 按面积归一法计算相对百分含量, 分析结果见表 3.

所有样品中共检测出 57 种风味物质, 主要包括醇类、酸类、醛类、酯类、酮类、脂肪烃类, 以及一些芳香族和杂环类化合物. 醇类物质的含量最高, 其次是芳香族、醛类和酸类物质. 不同样品中风味物质种类和含量不同, 燕麦酸面团面包样品中含有 45 种风味物质, 燕麦酸面团冻干粉面包和普通燕麦面包样品中含有 39 种, 普通小麦面包样品中含有 36 种. 有 25 种化合物共同存在于 4 种样品中, 其在普通小麦面包、普通燕麦面包、燕麦酸面团面包、燕麦酸面团冻干粉面包中的比例分别为 97.33%, 93.60%, 89.33%, 87.87%. 酸面团的添加增加了面包风味物质种类, 改善了传统面包的单一口味.

发酵基质对于面包香气的形成至关重要^[22], 高灰分的燕麦粉能够促进挥发性物质的生成, 因此燕

麦面包具有更浓郁的风味^[23]. 甲苯、庚醇、1,3-丙二醇二乙酸酯、辛酸共同存在于 3 种不同的燕麦面包中, 而在普通小麦面包中未检测出. 正辛醛、2-甲基-1,1-联二苯-1-丙烯、(E)-2-壬烯醛、糠醇在普通燕麦面包中未检测出, 而存在于其他 3 种面包样品中, 且在两种酸面团面包中的含量远远高于普通小麦面包. 这可能是由于燕麦粉的添加冲稀了小麦面包原有的风味, 而酸面团则促进了这些风味物质的生成. 与燕麦酸面团冻干粉面包相比, 燕麦酸面团面包中含有一些独有风味物质, 分别是双乙酰、2-戊酮、庚酸乙酯、2-乙酰基噻唑、香叶基丙酮, 说明酸面团发酵剂冻干过程中会丧失一些风味物质或风味前体物质.

分析不同面包挥发性风味物质和类别, 统计结果见表 4.

表 4 为不同面包挥发性风味物质的类别统计结果. 从表 4 中可看出, 醇类物质所占比例最高, 为 40% ~ 49%. 醇类物质的风味阈值较高, 通常具有芳香、植物香、酸败和土气味^[24]. 4 种样品主要的醇类物质为乙醇和戊醇. 普通小麦面包中的醛类物质相对含量远高于其他 3 种燕麦面包. 酯类物质的相对含量大小依次为燕麦酸面团面包 > 燕麦酸面团冻干粉面包 > 普通燕麦面包 > 普通小麦面包. 内酯作为一类重要的风味化合物^[25], 酸面团的引入促进了内酯的生成, 使面包更富于椰香和果样香气.

乳酸菌利用可发酵糖产生有机酸, 赋予食品酸味. 较高含量酸类化合物的形成是酸面团面包具有独特风味的重要原因^[26]. 由表 4 可见, 与普通燕麦面包相比, 燕麦酸面团面包和燕麦酸面团冻干粉面包的酸类物质相对含量分别增加了 101.43% 和 131.50%; 与普通小麦面包相比, 增幅分别为 67.12% 和 92.08%. 燕麦酸面团面包中的有机酸相对含量较燕麦酸面团冻干粉面包中的有机酸含量低, 推测其原因是燕麦酸面团中植物乳杆菌的活力较燕麦酸面团冻干粉高^[27], 其与面包酵母的协同作用更强, 从而将更多的有机酸转化成其他的风味物质. 这与感官分析的结果一致, 燕麦酸面团面包可以赋予面包更柔和的酸味.

芳香族和杂环类化合物是面包的重要挥发性风味物质^[28-29]. 糠醛、苯甲醛和苯乙醇含量较高, 是芳香族类化合物的重要组成部分. 其中, 糠醛是形成焦糊香气的成分之一^[30]. 燕麦面包的芳香族类化合物含量明显高于普通小麦面包, 这说明燕麦的引入增加了芳香族类化合物的形成. 燕麦酸面团面

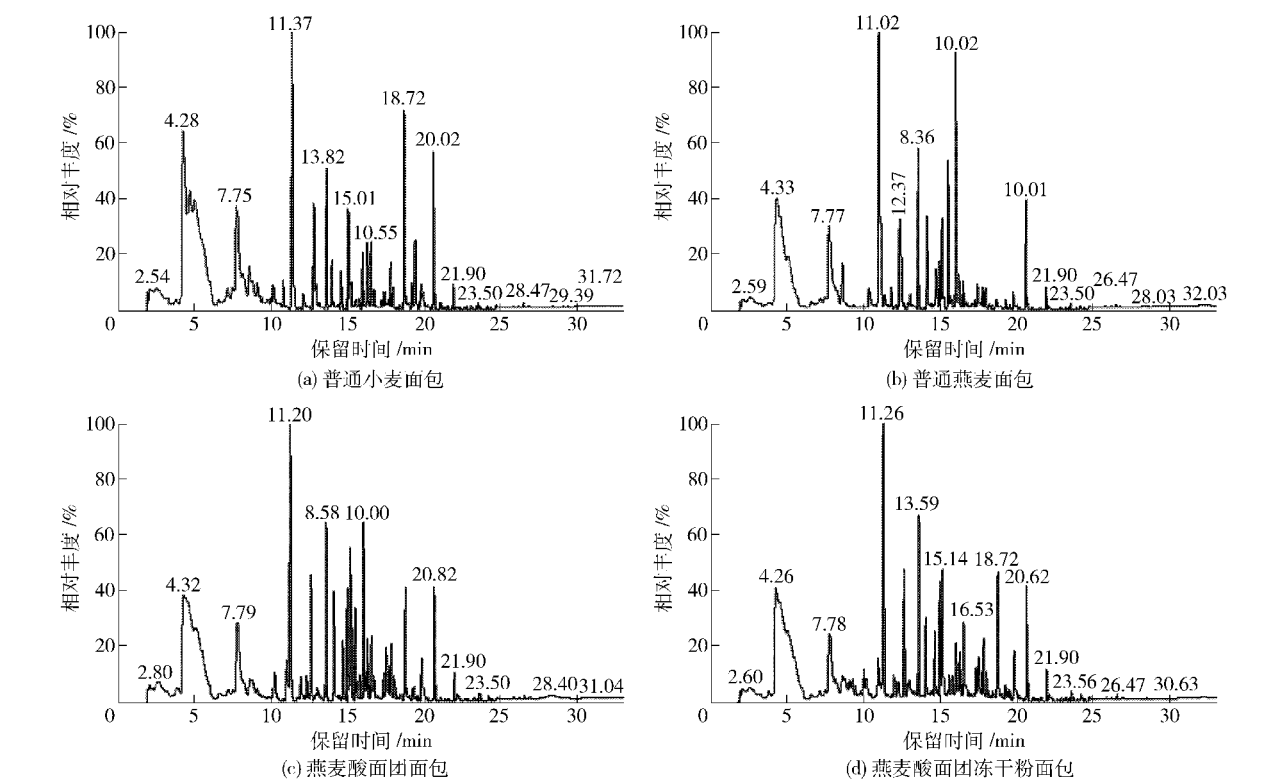


图1 不同面包挥发性风味物质的气相色谱图

Fig.1 GC-MS chromatograms of volatile compounds of different breads

表3 不同面包挥发性风味物质 GC-MS 分析结果

Tab. 3 Composition of volatile flavor compounds in different breads determined by GC-MS						
序号	保留时间/ min	挥发性风味物质	相对含量/%			
			普通小麦面包	普通燕麦面包	燕麦酸面团面包	燕麦酸面团冻干粉面包
1	3. 8	3-甲基丁醛	15. 86	0. 51	0. 71	1. 13
2	4. 26	乙醇	29. 09	21. 36	17. 1	18. 95
3	5. 09	2-戊酮			0. 43	
4	5. 17	双乙酰			1. 02	
5	6. 53	3,6-二甲基十一烷	0. 24			
6	6. 58	甲苯		0. 58	0. 55	0. 42
7	7. 18	2-甲基-3-戊酮	0. 55	0. 47	0. 41	0. 49
8	7. 46	3-乙基-3-甲基庚烷	0. 62	0. 25	0. 19	
9	7. 79	己醛	6. 26	9. 01	7. 43	5. 38
10	8. 09	十一烷				1. 51
11	8. 62	2-甲基辛烷			0. 92	1. 05
12	8. 65	异丁醇		2. 43		
13	8. 71	乙苯			1. 25	1. 2
14	9. 11	十二烷	4. 37	0. 19	0. 6	1. 72
15	10. 20	正庚醛	0. 87	1. 74	1. 74	1. 23
16	11. 02	2-正戊基呋喃	0. 75	1. 08	1. 44	1. 75
17	11. 09	1-丁炔-3-环丙基		0. 24		0. 6
18	11. 20	戊醇	10. 52	16. 62	14. 78	15. 96
19	12. 15	2-甲基吡嗪		0. 15	0. 20	

续表 3

序号	保留时间/ min	挥发性风味物质	相对含量/%			
			普通小麦面包	普通燕麦面包	燕麦酸面团面包	燕麦酸面团冻干粉面包
20	12. 19	十三烷				1. 34
21	12. 30	正辛醛	0. 28		0. 85	0. 67
22	12. 56	3-羟基-2-丁酮	3. 31	5. 04	4. 20	5. 08
23	13. 04	顺-2-烯庚醛				0. 82
24	13. 07	羟基丙酮	0. 13			
25	13. 16	2,6-二甲基吡嗪		0. 15		
26	13. 20	甲基庚烯酮	0. 14	0. 15	0. 21	
27	13. 58	正己醇	2. 3	5. 32	4. 86	4. 67
28	14. 06	壬醛	0. 94	3. 17	3. 15	2. 5
29	14. 09	庚酸乙酯			0. 27	
30	14. 34	3-辛烯-2-酮		0. 24	0. 18	
31	14. 66	辛酸乙酯	0. 74	1. 47	1. 50	1. 71
32	14. 93	3-乙氧基丙醇	0. 17			
33	14. 95	乙酸	2. 14	1. 83	3. 33	3. 63
34	15. 05	庚醇		0. 49	0. 49	0. 58
35	15. 15	糠醛	1. 9	2. 37	4. 13	3. 65
36	15. 50	1-辛烯-3-醇	0. 13			
37	15. 60	2-甲基-1,1-联二苯-1-丙烯	0. 15		0. 51	0. 8
38	15. 67	癸醛	0. 11	0. 41		
39	15. 76	2-乙酰基呋喃		0. 25		
40	16. 00	苯甲醛	0. 92	8. 32	4. 81	1. 34
41	16. 13	(E)-2-壬烯醛	0. 24		0. 65	0. 92
42	16. 22	2,3-丁二醇	1. 7	1. 62	2. 34	1. 61
43	16. 43	1-辛醇	0. 14	0. 31	0. 23	0. 25
44	16. 53	丁酸	1. 47	0. 92	2. 08	2. 63
45	17. 60	2-乙酰基噻唑			0. 19	
46	17. 69	糠醇	0. 23		0. 74	0. 63
47	17. 81	戊酸	0. 87	0. 65	1. 45	1. 61
48	18. 00	3-壬烯-1-醇	0. 32	0. 46	0. 45	0. 52
49	18. 65	1,3-丙二醇二乙酸酯		0. 24	0. 40	0. 31
50	19. 29	顺-4-癸烯-1-醇	0. 24	0. 35	0. 31	0. 2
51	19. 52	2,4-癸二烯醛		0. 17	0. 20	
52	19. 82	己酸	0. 57	0. 61	1. 27	1. 47
53	19. 96	香叶基丙酮			0. 19	
54	20. 62	苯乙醇	2. 53	2. 56	2. 47	2. 67
55	20. 73	丙位辛内酯	0. 25	0. 28	0. 32	0. 38
56	21. 90	丙位壬内酯	0. 36	0. 47	0. 53	0. 65
57	22. 10	辛酸		0. 18	0. 31	0. 36

包中的芳杂环类化合物含量最高,并独有优质风味物质 2-乙酰基噻唑。普通燕麦面包中含独特的优质

风味物质 2,6-二甲基吡嗪和 2-乙酰基呋喃。燕麦酸面团面包和普通燕麦面包中均检测出 2-甲基吡嗪。

表4 不同面包挥发性风味物质的类别统计分析结果
Tab.4 Analytical results of volatile flavor compound
sorts in different breads

物质类别	相对含量/%			
	普通小麦 面包	普通燕麦 面包	燕麦酸面团 面包	燕麦酸面团 冻干粉面包
醇类	44.61	48.96	40.56	42.74
酸类	5.05	4.19	8.44	9.70
醛类	24.56	15.01	14.73	12.65
酮类	4.13	5.9	6.64	5.57
酯类	1.35	2.46	3.02	3.05
芳杂环类	6.48	15.70	16.29	13.06
烷烃类	5.23	0.44	1.71	5.62

3 结 论

燕麦酸面团面包中的风味物质类别最多,为45种,而普通小麦面包、普通燕麦面包和燕麦酸面团冻干粉面包中分别为36种、39种和39种。有25种化合物共同存在于4种样品中,乙醇含量最高,其次为戊醇、己醛、正己醇、苯甲醛、3-羟基-2-丁酮和糠醛。添加燕麦粉的面包风味物质种类增加,甲苯、庚醇、1,3-丙二醇二乙酸酯、辛酸共同存在于3种不同的燕麦面包中,而在普通小麦面包中未检测出。与燕麦酸面团冻干粉面包相比,燕麦酸面团面包具有更柔和的酸味,且含有一些独有风味物质,分别是双乙酰、2-戊酮、庚酸乙酯、2-乙酰基噻唑、香叶基丙酮。

参考文献:

[1] Rocken W, Voysey P A. Sourdough fermentation in bread making[J]. Journal of Applied Bacterium Symposium Supplement, 1995, 79: 38-48.

[2] Decock P, Cappelle S. Bread technology and sourdough technology[J]. Trends in Food Science & Technology, 2005, 16: 113-120.

[3] Arendt E K, Ryan L A M, Bello F D. Impact of sourdough on the texture of bread[J]. Food Microbiology, 2007, 24(2): 165-174.

[4] Hansen B, Hansen A. Volatile compounds in wheat sourdoughs produced by lactic acid bacteria and sourdough yeasts[J]. Zeitschrift fur Lebensmittel Untersuchung und Forschung, 1994, 198: 202-209.

[5] Poutanen K, Flander L, Katina K. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective[J]. Food Microbiology, 2009, 26(7): 693-699.

[6] Katina K, Arendt E, Liukkonen K H, et al. Potential of sourdough for healthier cereal products[J]. Trends in Food Science & Technology, 2005, 16(1-3): 104-112.

[7] Corsetti A, Settanni L. Lactobacilli in sourdough fermentation[J]. Food Research International, 2007, 40(5): 539-558.

[8] Hansen A, Schieberle P. Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: applied and fundamental aspects[J]. Trends in Food Science and Technology, 2005, 16: 85-94.

[9] Krauss R M, Eckel R H, Howard B. AHA dietary guidelines. Revision 2000: A statement for healthcare professionals from the nutrition committee of the American Heart Association[J]. Circulation, 2000, 102: 2284-2299.

[10] 王凤, 黄卫宁, 刘若诗, 等. 采用 Mixolab 和 Rheometer 研究含外源蛋白燕麦面团的热机械学和动态流变学特性[J]. 食品科学, 2009, 30(13): 147-151.

[11] FDA. Food labeling health claims oats and coronary heart disease[J]. Federal Register, 1996, 61(3): 296-337.

[12] 万晶晶, 黄立群, 张庆, 等. 乳酸菌发酵对燕麦淀粉物化及热力学特性的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(19): 100-105.

[13] Gupta S, Cox S, Abu-ghannam N. Process optimization for the development of a functional beverage based on lactic acid fermentation of oats[J]. Biochemical Engineering Journal, 2010, 52(2-3): 199-204.

[14] 张坤, 黄卫宁, 堵国成, 等. 旧金山乳杆菌与自然发酵燕麦酸面团发酵剂中β-葡聚糖含量及其分子量的分布[J]. 食品科学, 2009, 30(21): 320-323.

[15] 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 flavour[J]. Cereal Chem, 2002, 79(1): 45-51.

[16] Gobbetti M, De Angelis M, Corsetti A, et al. Biochemistry and physiology of sourdough lactic acid bacteria[J]. Trends in Food Science & Technology, 2005, 16(1-3): 57-69.

[17] Gobbetti M. The sourdough microflora: Interactions of lactic acid bacteria and yeasts[J]. Trends in Food Science & Technology, 1998, 9(7): 267-274.

[18] 刘若诗, 万晶晶, 黄卫宁, 等. 冻干酸面团发酵剂对发酵面团及面包香气的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(7): 11-15.

[19] 刘若诗, 黄立群, 张峦, 等. 冷冻面团发酵技术在中式食品中的应用 I——海藻糖影响包子类冷冻面团中挥发性风味物质的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(15): 21-25.

- [20] American Association of Cereal Chemist. Approved methods of the AACCC[M]. 10th ed. Saint Paul Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 2000.
- [21] Flander L, Suortti T, Katina K, et al. Effects of wheat sourdough process on the quality of mixed oat-wheat bread[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44: 656–664.
- [22] Czerny M, Schieberle P. Important aroma compounds in freshly ground wholemeal and white flour-identification and quantitative changes during sourdough fermentation [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2002, 50(23): 6835–6840.
- [23] Flander L, Marttila M S, Suortti T, et al. Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality[J]. Food Science and Technology, 2006, 40: 860–870.
- [24] 徐岩. 发酵食品微生物学[M]. 北京:中国轻工业出版社,2001:168.
- [25] Pozo-bayon M A, Fuichard E, Cayot N. Flavor control in baked cereal products[J]. Food Reviews International, 2006, 22(4): 335–379.
- [26] Gobbetti M, Simonetti M S. Volatile compound and organic acid productions by mixed wheat sourdough starters: influence of fermentation parameters and dynamics during baking[J]. Food Microbiology, 1995(12): 497–507.
- [27] 段立, 黄卫宁, 堵国成. 提高冷冻酸面团中乳酸菌抗冻性的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 151–154.
- [28] Ur-Rehman S, Paterson A, Piggott J R. Flavour in sourdough breads: a review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2006, 17(10): 557–566.
- [29] Katina K. Sourdough: a tool for the improved flavor, texture and shelf-life of wheat bread[D]. Finland: University of Helsinki, 2005: 1–92.
- [30] Heenan S P, Dufour J P, Hamid N, et al. Characterisation of fresh bread flavour: Relationships between sensory characteristics and volatile composition [J]. Food Chemistry, 2009, 116(1): 249–257.

Flavor Character of Bread with Oat Sourdough Fermented by *Lactobacillus plantarum*

ZHANG Qing¹, ZHONG Jing¹, WANG Feng¹, SONG Huan-lu², HUANG Wei-ning¹,
Rayas-Duarte Patricia³

- (1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;
2. School of Food and Chemical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;
3. Food and Agricultural Products Research Center, Oklahoma State University, Stillwater OK 74078-6055, USA)

Abstract: Common wheat bread, common oat bread (20% (*w/w*) oat flour substitution), oat sourdough bread (10% oat flour substitution + 10% oat sourdough substitution) and freeze-dried oat sourdough bread (10% oat flour substitution + 10% freeze-dried oat sourdough substitution) were analyzed for their volatile compound composition by solid phase micro-extraction/gas chromatography-mass spectrometry (SPME/GC-MS) in order to explore the effects of oat sourdough starter and freeze drying of sourdough on volatile flavor compounds of bread. The oat sourdough was fermented with starter culture of *Lactobacillus plantarum*. A total of 57 compounds were identified in the four breads, including alcohols, acids, aldehydes, esters, ketones, aliphatic compounds, aromatic and heterocyclic compounds. The most abundant volatile compound category in all samples was alcohols, followed by aromatic and heterocyclic compounds, aldehydes and acids. Breads supplemented with oat flour showed more kinds of volatile compounds. Toluene, heptanol, trimethylene acetate, caprylic acid were determined in oat breads but not in wheat bread. Some flavor compounds or flavor precursors were lost during freeze drying. Diacetyl, 2-pentanone, ethyl heptanoate, 2-acetylthiazole and geranylacetone were unique in oat sourdough bread.

Key words: *Lactobacillus plantarum*; oat sourdough; freeze drying; bread; volatile flavor compounds

(责任编辑:叶红波)