

# 不同菌种发酵对蚕豆酱风味成分的影响

刘莹<sup>1</sup>, 胡茂丰<sup>2</sup>, 刘素纯<sup>1,3</sup>

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南长沙 410128) (2. 湖南农业大学生物科学技术学院, 湖南长沙 410128)  
(3. 食品科学与生物技术湖南省重点实验室, 湖南长沙 410128)

**摘要:** 本试验采用顶空固相萃取结合气质联用的技术检测由米曲霉、黑曲霉、根霉、毛霉4种不同单一菌种发酵的蚕豆酱在后发酵15 d和40 d两个时期酱醅中的香气成分。数据表明各菌种发酵的蚕豆酱在后发酵15 d至40 d酱醅中的挥发性成分变化较大, 主要特征风味物质种类不断丰富。在后发酵前期阶段蚕豆酱中醇类和酸类物质占主要地位, 随着发酵时间的延长, 蚕豆酱中的醛类、酯类和杂环类物质含量会上升, 而酮类及酸类物质减小。由米曲霉、黑曲霉、根霉及毛霉纯种发酵制作的4种酱中主要的特征风味物质有2,3-丁二醇、3-甲基丁醇、2-甲基丁醇、芳樟醇、苯乙醇、苯甲醛、苯乙醛、琥珀酸-3,4-二甲基苯基庚基酯、三甲基吡嗪等, 且由米曲霉发酵的蚕豆酱风味物质较丰富, 该菌种是制作蚕豆酱的良好发酵剂。

**关键词:** 米曲霉; 黑曲霉; 根霉; 毛霉; 蚕豆酱; 风味物质

文章编号: 1673-9078(2015)3-190-196

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.3.032

## Effect on Volatile Flavor Compounds in Broad Bean Sauce Fermented in Four Different Ways

LIU Ying<sup>1</sup>, HU Mao-feng<sup>2</sup>, LIU Su-chun<sup>1,3</sup>

(1. College of Food Science and Technology Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

(2. College of Bioscience and Biotechnology Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

(3. Hunan Key Laboratories of Food Science and Biotechnology, Changsha 410128, China)

**Abstract:** Four different fungus including *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus niger*, *Mucor*, and *Rhizopus* were used in the fermentation process to produce broad bean sauce. The volatile flavor compounds in the four different types of broad bean sauce, secondary-fermented for 15 and 40 days, were analyzed by HS-SPME combined with GC-MS. The results showed that the volatile flavor compounds were changeable, and the type of flavors in the broad bean sauce became enriched during the fermentation process. In the initial stages of fermentation, the major volatile flavor compounds in the four products were alcohols and acids. Aldehydes, esters, and other heterocyclic content were enhanced with the progress of fermentation, but ketones and acid content declined. The major volatile flavor compounds simultaneously found in the above four products were 2,3-butanediol, 1-butanol, 3-methyl-, 1-butanol, 2-methyl, linalool, phenethanol, benzaldehyde, hyacinthin, succinic acid-3,4-dimethyl phenyl heptyl ester, and trimethyl pyrazine. The volatile flavor compounds in the *Aspergillus oryzae*-fermented broad bean sauce were most abundant, indicating that *Aspergillus oryzae* was a great fungus to be used for the fermentation of broad bean sauce.

**Key words:** *Aspergillus oryzae*; *Aspergillus niger*; *Rhizopus*; *Mucor*; broad bean; fermentation; volatile flavor compounds; gas chromatography-mass spectrometry

对于发酵食品而言, 其产生的风味物质与食品中的微生物有着重要联系, 不同的微生物利用食物原料进行生长代谢, 通过不同的代谢途径产生各种化合物, 如醇类、醛类、酮类、酸类、酯类等挥发性物质。据研究表明, 食品中对其香气风味物质贡献最大的是挥

收稿日期: 2014-08-11

基金项目: 湖南省科技计划项目 (2012NK3072)

作者简介: 刘莹 (1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向为营养与食品卫生学

通讯作者: 刘素纯 (1966-), 女, 博士, 教授, 研究方向为营养与食品卫生学

学

发性化合物<sup>[1]</sup>, 蚕豆酱的风味香气就是多种挥发性香气成分的综合。蚕豆酱的香气主要是在后期发酵形成, 目前蚕豆酱中所检测到挥发性物质种类就有几十上百种, 而主要的特征性风味成分有 20 余种, 如乙醇、2,3-丁二醇、苯乙醇、糠醛、苯甲醛、苯乙醛、四甲基吡嗪、三甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪、亚油酸乙酯、油酸乙酯、4-乙基苯酚、4-乙基愈创木酚及 4-羟基-2(5)-乙基-5(2)-甲基-3(2H)吡喃等<sup>[2]</sup>。目前常用的风味化合物的提取方法有: 同时蒸馏-萃取法(Simultaneous Distillation and Extraction, SDE)、顶空法(Head Space)、

固相微萃取法(Solid Phase Microextraction, SPME)等<sup>[3]</sup>, 近年来普遍使用的是操作更为简单方便的固相微萃取法(SPME)。鉴定风味物质的常用方法有: 气相色谱法、气相色谱-质谱联用法、气相-嗅闻法等。其中普遍使用的是气质联用法, 因其具有气相的高分辨率和质谱的高灵敏度, 具有灵敏度高、样品用量少、分析速度快、分离和鉴定同时进行等优势<sup>[4]</sup>。目前, 我国对蚕豆酱发酵过程中的主要微生物其作用机理对产品的品质特性以及风味形成产生的影响等方面的研究还较少, 且纯种发酵制作蚕豆酱时使用的菌种一般多为米曲霉, 对于使用不同单一菌种发酵蚕豆酱方面的研究较少, 更没有系统地分析用不同菌种发酵后的蚕豆酱在主要成分及风味上的变化差异, 因此, 本实验则采用顶空固相萃取结合气质联用的技术检测由米曲霉、黑曲霉、根霉、毛霉四种不同单一菌种发酵蚕豆酱中的香气成分, 比较不同菌种发酵后的蚕豆酱在风味物质上的差异, 旨在研究不同菌种对于蚕豆酱品质形成的影响, 对不断深入研究蚕豆食品的生产技术, 提高蚕豆酱的质量都具有积极的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 试验材料

麸皮由湖南农业大学食品科技学院微生物教研室提供, 产于江苏徐州; 去皮蚕豆及面粉, 采购于农贸市场, 产于江苏省扬州市; 瓷坛, 采购于高桥大市场。

#### 1.1.2 菌种

根霉 Q303、毛霉 M1、米曲霉 As3.042、黑曲霉 As3.350 均由湖南农业大学食品科技学院微生物教研室提供。

#### 1.1.3 培养基

①菌种斜面活化培养基: PDA培养基。

②菌种扩大培养基: 每个容积为300 mL的三角瓶加入干麸皮10 g, 按麸皮:水=1:1~1.2比例加水调配均匀, 在121 °C条件下灭菌30 min, 冷却备用。

#### 1.1.4 主要仪器与设备

顶空固相微萃取装置, 美国 Supelco 公司; GL-3250 磁力搅拌器, 上海锐聪生物科技有限公司; GCMS-QP2010 气相色谱-质谱联用仪, 日本岛津公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 蚕豆酱的制作

(1) 按照如下工艺流程制作蚕豆酱

去皮蚕豆→清洗→清水浸泡4 h→121 °C灭菌5 min→冷却

→加入10%的面粉拌和→加入麸曲接种→前期发酵→加入10%的食盐水混和均匀→后期40 °C保温发酵

#### (2) 操作要点

前期发酵: 按照曲料(蚕豆+面粉)总重量的0.3%分别接入米曲霉、黑曲霉、根霉、毛霉的麸曲菌种于不同温度下培养, 米曲霉、黑曲霉于30 °C下培养48 h, 根霉于28 °C下培养60 h, 毛霉于20 °C下培养60 h, 制备成曲坯。

后期保温发酵: 将由4种单一菌种分别制得的曲坯按坯:盐水=1:1的比例添加浓度为10%的盐水, 入瓷坛后于40 °C下保温发酵一定时间。

#### 1.2.2 顶空固相萃取法(HS-SPME)萃取挥发性物质

取蚕豆酱4 g±0.001 g于15 mL的顶空样品瓶, 然后用专用瓶口垫密封。萃取头在使用前于气相色谱仪进样口在250 °C下老化30 min。将样品瓶置于恒温磁力搅拌器中于55 °C水浴加热平衡15 min后, 插入已老化好的75 μm CAR/PDMS的萃取头, 吸附40 min, 再插入气相色谱仪进样口进行解析, 解析时间5 min<sup>[5]</sup>。

#### 1.2.3 仪器分析条件

##### (1) 气相色谱条件

柱型: DB-5ms 毛细管柱(30.0 m×0.25 mm, 0.25 μm); 柱温: 升温程序为初始温度50 °C保持1 min, 然后以10 °C/min升至150 °C, 保持3 min, 接着以8 °C/min升至280 °C, 保持2 min; 进样口温度250 °C, 载气为流速1.0 mL/min高纯He, 采用不分流的进样方式。

##### (2) 质谱条件

电离方式 EI, 电离电压70 eV, 离子源温度200 °C, 灯丝电流150 μA, 扫描质量范围(m/z)45~500, 扫描方式为fullscan;

#### 1.2.4 数据处理

将样品的总离子色谱图经质谱扫描所得的质谱图经仪器自配的NIST05和NIST05s谱库进行检索, 根据匹配度、成分结构信息并结合相关文献资料<sup>[6]</sup>确定各色谱峰对应的化学成分, 当且仅当匹配度大于800的鉴定结果才予以报道, 采用面积归一化法计算样品中各组分的相对含量<sup>[7-8]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同单一菌种发酵蚕豆酱在发酵不同时期挥发性风味成分的变化

利用米曲霉、黑曲霉、根霉、毛霉分别作为发酵剂制作蚕豆酱,对其后发酵 15 d 和 40 d 的蚕豆酱进行 HS-SPME-GC/MS 分析检测,结果见图 1、2、3、4。

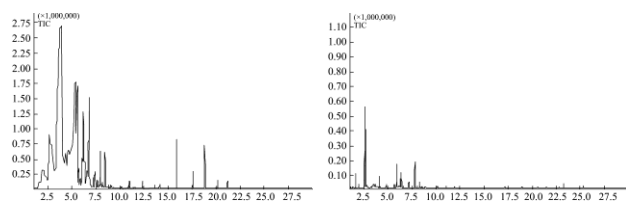


图 1 米曲霉制曲后发酵 15 d(左)和 40 d(右)蚕豆酱中挥发性成分的 GC-MS 总离子流图

Fig.1 Total ion current chromatogram of volatile composition of 15 d and 40 d in *Aspergillus oryzae*-fermented broad bean sauce evaluated by GC-MS

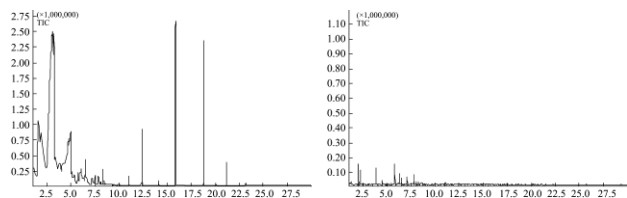


图 2 黑曲霉制曲后发酵 15 d(左)和 40 d(右)蚕豆酱中挥发性成分的 GC-MS 总离子流图

Fig.2 Total ion current chromatogram of volatile composition of 15 d and 40 d in *Aspergillus niger*-fermented broad bean sauce evaluated by GC-MS

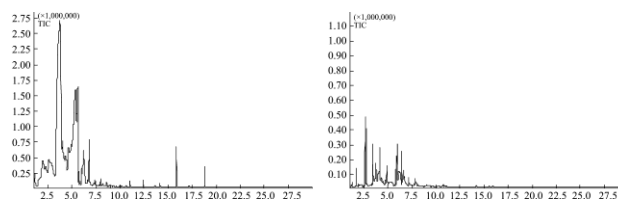


图 3 根霉制曲后发酵 15 d(左)和 40 d(右)蚕豆酱中挥发性成分的 GC-MS 总离子流图

Fig.3 Total ion current chromatogram of volatile composition of 15 d and 40 d in *Rhizopus*-fermented broad bean sauce evaluated by GC-MS

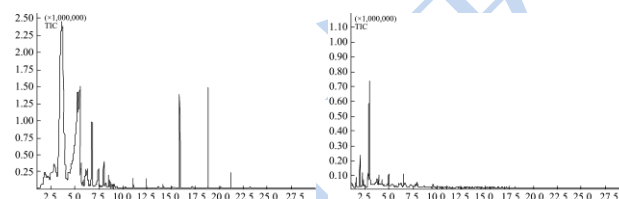


图 4 毛霉制曲后发酵 15 d(左)和 40 d(右)蚕豆酱中挥发性成分的 GC-MS 总离子流图

Fig.4 Total ion current chromatogram of volatile composition of 15 d and 40 d in *Mucor*-fermented broad bean sauce evaluated by GC-MS

进一步对发酵不同时期蚕豆酱中的挥发性物质鉴定,结果如表 1。

表 1 不同菌种发酵后蚕豆酱中挥发性风味成分的变化

Table 1 Changes in volatile flavor compound in broad bean sauce fermented by different fungus

物质 名称	保留 时间	米曲霉		黑曲霉		根霉		毛霉	
		15 d	40 d	15 d	40 d	15 d	40 d	15 d	40 d
醇类	乙醇	1.558	0.63	-	-	0.59	-	0.25	-
	辛醇	7.029	-	-	-	0.04	-	-	-
	戊醇	3.292	32.68	44.43	42.8	21.99	37.92	15.73	29.25
	糠醇	4.342	-	0.42	-	1.70	-	0.09	-
	2,3-丁二醇	2.842	-	0.75	-	1.70	-	0.17	4.85
	1,3-丁二醇	1.032	-	-	-	-	-	-	-
	芳樟醇	8.175	0.14	0.33	0.11	0.26	0.03	-	0.18
	苯甲醇	7.225	0.30	-	0.17	-	-	-	-
	苯乙醇	8.433	0.14	0.33	0.11	0.26	0.03	-	0.18
	3-甲基丁醇	1.942	0.53	1.73	0.50	1.12	0.19	-	0.65
2-甲基丁醇	1.992	-	0.42	-	1.70	-	0.09	-	
$\alpha,\alpha,\alpha$ -三甲基-3-环己烯甲醇	9.692	0.01	-	-	-	-	-	-	
2-氯-4-甲基戊醇	2.633	-	-	-	-	-	-	0.25	
醛类	糠醛	4.025	2.95	4.38	4.17	3.84	-	-	0.76
	戊醛	2.292	1.32	2.11	-	-	-	-	1.34
	壬醛	8.083	-	-	-	1.39	-	-	-
	癸醛	9.717	-	-	-	0.38	-	-	-

转下页

接上页

	苯甲醛	6.075	1.16	0.72	-	0.85	0.82	2.26	-	1.08
	苯乙醛	7.375	0.53	1.35	0.57	4.45	-	1.12	-	0.89
	3-甲基丁醛	1.167	-	0.20	2.80	-	-	0.27	2.02	0.31
	2-甲基丁醛	1.242	-	0.18	-	-	2.57	0.48	-	-
	3-羧基苯甲醛	9.033	-	-	0.05	-	0.05	-	-	-
	3-甲硫基丙醛	4.708	-	-	-	-	-	0.04	-	-
	$\beta$ -甲基肉桂醛	10.733	-	-	-	-	-	0.37	-	-
	$\alpha$ -(2-甲基亚丙基)苯乙醛	12.233	-	-	-	-	-	0.35	-	-
酮类	3-羟基-2-丁酮	2.617	5.11	3.47	8.93	-	3.41	2.02	1.71	0.45
	2,3-庚二酮	8.292	0.06	-	-	-	-	-	-	-
	2-羟基-1-苯基乙酮	7.675	-	-	-	-	-	0.42	-	-
	2-十九烷酮	9.075	-	-	-	-	-	-	0.06	-
	大马烯酮	12.500	-	-	-	-	-	-	0.02	-
	1-苯基-1,2-丙二酮	7.850	-	-	-	-	-	-	0.08	-
酸类	乙酸	1.958	2.74	-	-	-	4.28	0.03	2.69	1.23
	辛酸	9.150	0.03	-	0.02	-	-	-	0.03	-
	戊酸	6.500	0.09	-	-	-	-	-	-	-
	丙酸	1.358	-	-	-	-	-	0.25	-	-
	己酸	4.367	-	-	-	-	0.11	0.72	0.16	-
	乳酸	4.275	-	1.99	-	-	-	2.00	-	-
	苹果酸	7.692	0.20	-	0.51	3.52	0.12	-	0.09	-
	2-辛烯酸	6.825	-	-	-	-	-	0.65	-	-
	3-甲基丁酸	5.383	15.56	3.39	13.26	-	17.16	-	21.91	1.84
	2-甲基丁酸	5.475	5.07	-	1.14	-	6.48	-	7.53	-
	4-酮庚乙酸	4.625	3.29	0.21	-	-	3.18	7.65	-	0.12
	2-酮戊二酸	6.175	6.24	-	1.84	2.16	3.90	1.02	-	0.57
	2-乙基丁酸	5.592	-	0.78	0.73	0.94	-	-	-	-
	2-甲基丙酸	2.092	-	0.63	-	-	-	-	-	0.75
	4-甲基己酸	7.358	-	-	-	-	0.51	-	-	-
	4-甲基戊酸	6.100	-	-	-	-	-	-	0.99	-
	3-甲基-2-丁烯酸	5.700	0.62	-	0.59	-	0.21	0.51	1.65	-
	2-甲基-2-丁烯酸	5.867	0.35	-	0.47	-	0.10	-	0.29	-
2-羧基己二酸	5.183	-	-	0.18	-	-	-	-	-	
3-乙氧基丙酸	10.642	-	-	-	-	-	0.25	-	-	
硬脂酸	10.158	-	-	-	-	-	-	0.07	-	
酯类	丁二酸甲酯	4.908	3.11	-	-	-	4.25	-	-	-
	丁酸己基酯	9.150	-	-	-	-	-	-	0.09	-
	L-乳酸乙酯	3.042	-	1.19	-	-	-	0.35	-	-
	戊酸乙酯	8.933	0.06	-	0.04	-	-	-	-	-
	辛酸乙酯	9.592	0.02	-	-	-	-	-	0.01	-
	异丁酸乙酯	7.442	0.49	-	-	-	-	-	0.39	0.66
	2-甲基丁酸乙酯	8.817	0.06	-	0.04	-	-	-	-	-
	4-甲基戊酸乙酯	3.900	-	-	-	-	-	-	-	7.13

转下页

接上页

	异硫氰酸异丁酯	6.608	1.12	2.80	0.45	0.81	-	-	-	-
	苯乙酸乙酯	10.333	-	0.75	-	-	-	-	0.02	-
	苯甲酸乙酯	9.333	-	-	-	-	-	-	0.08	-
	十六烷酸乙基酯	23.242	-	0.47	-	-	-	-	-	-
	亚油酸乙酯	25.317	-	0.96	-	-	-	-	-	-
	油酸乙酯	25.392	-	0.88	-	-	-	-	-	-
	富马酸二壬基酯	1.033	-	0.06	-	-	-	-	-	-
	二十二烷酸 1-甲基丁基酯	6.100	-	0.55	-	-	-	-	-	-
	环丁烷酸己酯	11.558	-	-	-	-	-	-	0.03	-
	丁二酸单炔丙基酯	6.000	-	-	-	-	-	-	-	0.84
	丁酸反-β 萘基酯	7.367	-	-	-	-	-	-	-	0.50
	琥珀酸 3,4-二甲苯基庚基酯	6.708	-	0.59	0.42	-	-	3.57	-	2.76
	琥珀酸-2-乙氧基十六烷基酯	1.150	-	-	-	3.41	-	-	-	-
	4-乙基苯甲酸己基酯	4.144	-	-	-	0.74	-	-	-	-
	苯乙酸-2-己烯基酯	7.247	-	-	-	-	-	0.81	-	-
	2-羧基癸酸-2 甲基丙基酯	7.628	-	-	-	0.65	-	-	-	-
	2-甲基丁酸-1-甲基丙基酯	8.802	-	-	-	-	0.02	-	-	-
	2-甲基丁酸-2-甲基丙基酯	8.800	-	-	-	-	-	-	0.06	-
	2,7-辛二烯酸乙基酯	8.742	-	-	-	-	0.01	-	-	-
	2-甲基丙酸 2-乙基-3-羟基己酯	9.270	-	-	-	-	0.03	-	-	-
酚类	苯酚	6.041	-	-	1.52	-	-	-	3.24	-
	四甲基吡嗪	7.975	0.73	5.22	0.44	4.68	3.36	5.66	0.85	3.12
	三甲基吡嗪	6.808	3.99	4.09	1.50	9.34	4.32	6.44	2.85	3.61
	2-甲基吡嗪	3.325	-	-	-	-	-	0.29	-	-
	2, 5-二甲基吡嗪	4.825	-	0.75	0.64	1.29	-	-	-	2.36
	2,6-二甲基吡嗪	4.833	-	-	-	-	-	4.45	-	-
	2, 3-二甲基-5-(1 甲基丙基)-吡嗪	9.467	-	-	-	0.76	-	-	-	0.54
杂环类	2-甲基-3,5-二乙基吡嗪	8.967	0.08	0.38	-	-	-	-	-	-
	2-甲基咪喃	1.183	-	-	-	-	-	-	-	0.61
	2-戊基咪喃	6.192	-	1.19	-	0.19	-	-	-	-
	3-甲氧基-2-苯基喹啉	1.257	-	0.02	-	-	-	-	-	-
	1-氢-2,5, 5,8α-四甲基-7H-1 吡喃酮	15.417	-	-	0.02	-	-	-	-	-
	3-羟基二氢-2 (3H) 咪喃酮	1.576	-	-	-	-	-	0.16	-	1.19
	甲硫代环氧丙烷	4.828	-	-	-	-	-	-	-	0.30

注：“-”表示未检测出。

由图和表1 得出，4 种蚕豆酱在后发酵 15 d 至 40 d 酱醅中的挥发性成分变化较大，在前期阶段蚕豆酱中的醇类和酸类物质占主要地位，随着后熟时间的延长，酱醅中的醛类、酯类、杂环类物质含量上升，而酮类及酸类物质减小。米曲霉发酵的蚕豆酱后发酵至 15 d 时，主要香气成分有 32 种，其中醇类 7 种，醛类 4 种，酮类 2 种，酸类 10 种，酯类 6 种，杂环类 3 种。后发酵 40 d 时，主要香气成分有 34 种，其中醇类 7 种，醛类 6 种，酮类 1 种，酸类 5 种，酯类 9 种，

杂环类 6 种，酱醅中醇类物质的相对含量由 38.73% 增至 48.41%，醛类由 5.96% 增至 8.94%，酯类由 4.86% 增至 8.25%，杂环类物质则由 4.8% 增至 11.65%。由黑曲霉发酵的蚕豆酱后发酵至 15d 时，主要香气成分有 28 种，其中醇类 5 种，醛类 4 种，酮类 1 种，酸类 9 种，酯类 4 种，杂环类 4 种，酚类 1 种。后发酵 40d 时，主要香气成分有 24 种，其中醇类 7 种，醛类 5 种，酮类 0 种，酸类 3 种，酯类 4 种，杂环类 5 种，酱醅中醛类物质的相对含量由 7.59 增至 10.91%，酯

类由 0.95% 增至 5.61%，杂环类则由 2.60% 增至 16.26%。根霉发酵的蚕豆酱在后发酵 15 d 时，主要香气成分有 26 种，其中醇类 6 种，醛类 3 种，酮类 1 种，酸类 10 种，酯类 4 种，杂环类 2 种。后发酵 40 d 时，主要香气成分有 30 种，其中醇类 4 种，醛类 7 种，酮类 2 种，酸类 9 种，酯类 3 种，杂环类 5 种。酱醅中醛类物质的相对含量由 3.44% 增至 4.89%，酯类由 4.31% 增至 4.73%，杂环类物质则由 7.68% 增至 17%。毛霉发酵的蚕豆酱在后发酵 15 d 时，主要香气成分有 31 种，其中醇类 7 种，醛类 1 种，酮类 4 种，酸类 10 种，酯类 7 种，杂环类 2 种，酚类 1 种。后发酵 40 d 时，主要香气成分有 28 种，其中醇类 5 种，醛类 5 种，酮类 1 种，酸类 5 种，酯类 5 种，杂环类 7 种。酱醅中醇类物质的相对含量从 37.37% 增至 52.03%，醛类相对含量由 2.02% 增至 4.38%，酯类由

0.68% 增至 11.89%，杂环类物质则由 3.7% 增至 11.73%。

## 2.2 不同单一菌种发酵蚕豆酱在发酵不同时期主要特征风味物质的变化

蚕豆酱的风味成分影响很大，目前研究发现起主要作用的仅有 20~30 种，大体可分为醇类、醛类、酯类、酚类、有机酸、杂环类等<sup>[9]</sup>。赵建新<sup>[10]</sup>研究确认 HEMF、亚油酸乙酯、苯乙酸乙酯、苯乙醇、糠醛是关键风味化合物，酯类、2,3-丁二醇、乙酸、苯甲醛、苯乙醛、2,6-二甲基吡嗪等气味较强烈，对豆酱香气也有重要作用。这些物质是蚕豆酱呈现醇香、酯香、酱香等风味的主要贡献者，本试验对这些挥发性成分进行分析研究，结果见表 2。

表 2 不同菌种发酵后蚕豆酱中特征风味物质的变化

Table 2 Changes in the characteristic flavor compounds in broad bean sauce fermented by different fungus

特征风味物质	保留时间	米曲霉		黑曲霉		根霉		毛霉	
		15 d	40 d	15 d	40 d	15 d	40 d	15 d	40 d
乙醇	1.558	0.63	-	-	-	0.59	-	0.25	-
2,3-丁二醇	2.842	-	0.75	-	1.70	-	0.17	4.85	2.04
2-甲基丁醇	1.992	-	0.42	-	1.70	-	0.09	-	1.77
3-甲基丁醇	1.942	-	0.75	-	1.70	-	0.17	4.85	2.04
芳樟醇	8.175	0.14	0.33	0.11	0.26	0.03	-	0.18	-
苯乙醇	8.433	0.53	1.73	0.50	1.12	0.19	-	0.65	-
糠醛	4.025	2.95	4.38	4.17	3.84	-	-	-	0.76
苯甲醛	6.075	1.16	0.72	-	0.85	0.82	2.26	-	1.08
苯乙醛	7.375	0.53	1.35	0.57	4.45	-	1.12	-	0.89
2-甲基丙酸	2.092	-	-	-	-	-	-	-	0.75
乳酸乙酯	3.042	-	1.19	-	-	-	0.35	-	-
苯乙酸乙酯	10.333	-	0.75	-	-	-	-	0.02	-
亚油酸乙酯	25.317	-	0.96	-	-	-	-	-	-
油酸乙酯	25.392	-	0.88	-	-	-	-	-	-
琥珀酸 3,4-二甲基苯基庚基酯	6.708	-	0.59	0.42	-	-	3.57	-	2.76
四甲基吡嗪	7.975	0.73	5.22	0.44	4.68	3.36	5.66	-	-
三甲基吡嗪	6.808	3.99	4.09	1.50	9.34	4.32	6.44	2.85	3.61
2,5-二甲基吡嗪	4.825	-	0.75	0.64	1.29	-	-	-	2.36
2,6-二甲基吡嗪	4.833	-	-	-	-	-	4.45	-	-
2,3-二甲基-5-(1-甲基乙基)吡嗪	9.467	-	-	-	0.76	-	-	-	0.54
2-甲基-3,5-二乙基吡嗪	8.967	0.08	0.38	-	-	-	-	-	-
2-戊基呋喃	6.192	-	1.19	-	0.19	-	-	-	-
2-甲基呋喃	1.183	-	-	-	-	-	-	-	0.30

注：“-”表示未检测出。

由表 2 得出，各菌种发酵的蚕豆酱从后发酵 15 d 到 40 d 检测到的特征风味物质共有 22 种，其中 2,3-

丁二醇、3-甲基丁醇、2-甲基丁醇、芳樟醇、苯乙醇、苯甲醛、苯乙醛、琥珀酸-3,4-二甲基苯基庚基酯、三

甲基吡嗪<sup>[11-12]</sup>是4种蚕豆酱共有的物质,没有被检出的HEMF、4-乙基苯酚<sup>[12]</sup>等物质,可能是该酱的陈酿时间还不够长。随着发酵时间延长,米曲霉发酵制作的蚕豆酱特征风味物质种类增加最多,由10种增至16种,与其它菌种相比,其发酵的蚕豆酱中,具有酵母液香气的苯乙醇、具有铃兰香气的芳樟醇、具有烧焦味的糠醛、四甲基吡嗪等含量都较高,且由米曲霉发酵的蚕豆酱中具有丰富的酯类物质,如乳酸乙酯、亚油酸乙酯和油酸乙酯等;黑曲霉发酵的蚕豆酱中的特征风味物质由8种增至10种,具有奶茶味的苯乙醛、三甲基吡嗪等特征风味物质较其它菌种发酵的蚕豆酱含量高;由根霉发酵的蚕豆酱特征风味物质则较少,由7种增至8种,其中具有青草味的苯甲醛及2,3-二甲基-5-(1-甲基乙基)吡嗪、2,6-二甲基吡嗪含量较高。而毛霉发酵的蚕豆酱随着发酵的进行特征风味物质从7种增至11种,2-甲基丁醇、3-甲基丁醇含量较高,杂环类物质较丰富。

### 3 结论

分析米曲霉、黑曲霉、根霉、毛霉分别发酵的4种蚕豆酱在不同时期的香气成分,发现挥发性风味成分中的醛类、酯类及杂环类物质含量会随着后熟时间延长而增多,酮类及酸类物质则减少。4种蚕豆酱中的主要特征风味物质种类会增多,其中共有物质为2,3-丁二醇、3-甲基丁醇、2-甲基丁醇、芳樟醇、苯乙醇、苯甲醛、苯乙醛、琥珀酸-3,4-二甲基苯基庚基酯、三甲基吡嗪。与其它菌种相比,米曲霉发酵的蚕豆酱中主要风味物质最多,且酯类物质丰富,该菌株可作为良好的发酵剂。此外,黑曲霉,根霉发酵的蚕豆酱中具有调和香气作用的苯甲醛、苯乙醛及吡嗪物质含量较高,毛霉发酵的蚕豆酱则杂环物质较多,综合考虑各菌种的优势,混菌发酵制作蚕豆酱能够使得最终产品的香气更为浓郁丰富,达到改善蚕豆酱品质的目的。

### 参考文献

- [1] MOTTRAM D S. Flavor formation in meat and meat products [J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424
- [2] 黄著,彭熙敏,刘蓝超等.郫县豆瓣挥发性香气成分剖析及其在陈酿过程中的变化研究[J].中国调味品,2009,3:106-110  
HUANG Zhu, PENG Xi-min, LIU Chao-lan. The analysis on volatile aroma compounds and their variation regulation during ripening process of pixian horsebean chili paste [J]. China Condiment, 2009,3: 106-110
- [3] 汪立君,李里特,齐藤昌义,等.大豆发酵食品风味物质的研究[J].食品科学,2004,25(1):66-69  
WANG Li-jun, LI Li-te, QI Teng-changyi. Study on the flavor in fermented soybean [J]. Food Scienc, 2004, 25(1): 66-69
- [4] 王夫杰,鲁绯.我国酱油研究现状与发展趋势[J].中国酿造,2010,12:3-7  
WANG Fu-jie, LU Fei. Research and development of soy sauce in China [J]. China Brewing, 2010, 12: 3-7
- [5] 徐琳娜.固相微萃取技术在豆瓣风味物质分析中的应用[J].分析与检测,2006,5:113-116  
XU Lin-na. Solid phase micro-extraction technology application in soybean sauce flavor material analysis [J]. Analysis and Determination, 2006, 5: 113-116
- [6] 徐琳娜,王章,许时婴.豆瓣酱后熟过程中氨基酸和风味物质的变化[J].中国调味品,2006,9:21  
XU Lin-na, WANG Zhang, XU Shi-ying. Changes of free amino acid and volatile flavor compound in the process of aging of broadbean sauce [J]. China Condiment, 2006, 9: 21
- [7] Stephen M Boue, Betty Y Shih, Carol H Carter Wientjes, et al. Identification of volatile compounds in soybean at various developmental stages using solid phase micro extraction [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51: 4873-4876
- [8] Stephen M Boue, Betty Y Shih, Carol H Carter Wientjes, et al. Effect of soybean lipoxygenase on volatile generation and inhibition of aspergillus flavus mycelial growth [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(12): 4778-4781
- [9] 郑岚,杨俊慧,马耀宏,等.测定酱油中还原糖含量的一种新方法[J].食品与发酵工业,2010,36(9):151-155  
ZHENG Lan, YANG Jun-hui, MA Hui-hong, et al. A new method of determinate reducing sugar content in soybean sauce [J]. Food and Fermentation Industries, 2010, 36(9): 151-155
- [10] 赵建新,戴小军,田丰伟,等.气相-嗅闻法分析传统豆瓣酱风味活性物质[J].食品科学,2009,20:394-397  
ZHANG Jian-xin, DAI Xiao-jun, TIAN Feng-wei, et al. GC-olfactometric analysis of flavor compounds in traditional soybean paste [J]. Food Science, 2009, 20: 394-397
- [11] 黄明泉,韩书斌,孙宝国,等.同时蒸馏萃取/气质联机分析郫县豆瓣酱风味成分的研究[J].食品工业科技,2009,4:136-139  
HUANG Ming-quan, HAN Shu-bin, SUN Bao-guo, et al. Study on the flavor components in pea sauce from PiXian by simultaneous distillation-extraction and GC/MS [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 4: 136-139

[12] 王金晶,周敏,刘春风,等.蚕豆酱酿造过程中挥发性风味物质的分析[J].东北农业大学学报,2013,8:14-22

WANG Jin-jing, ZHOU Min, LIU Chun-feng, et al. Volatile flavor compounds analysis of broad bean sauce during fermentation [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2013, 8: 14-22

[13] 张玉玉,孙宝国,冯军,等.不同发酵时间的郫县豆瓣酱挥发性成分分析[J].食品科学,2010,4:160-170

ZHANG Yu-yu, SUN Bao-guo, FENG Jun. Analysis of volatile composition of pixian bean sauces with different fermentation time [J]. Food Science, 2010, 4: 160-170

现代食品科技