郫县豆瓣酱及其原料、半成品挥发性成分分析

范智义[1]，邓维琴[*1]，王泽亮[1]，李雄波[1]，
曾晓晓[1]，李 恒[1]，张其圣[1,2]，陈 功[1,2]
（1. 四川省食品发酵工业研究设计院有限公司，四川 成都 611130；2. 四川东坡中国泡菜产业技术研究院，四川 眉山 620036）

摘要：系统分析了郫县豆瓣酱（豆瓣酱 BCP）及其原料（蚕豆瓣 BBC、鲜辣椒 FCL）、半成品（霉豆瓣 BKJ、辣椒醅 PCL、甜瓣子 BMR）在制曲、发酵、后熟过程中挥发性成分的变化，研究了郫县豆瓣酱的主要挥发性成分及来源。采用顶空固相微萃取-气质联用（headspace solid phase microextraction combined with GC-MS，HS-SPME-GC-MS）技术检测各样品，共检出挥发性成分 73 种，包括烃类 6 种、醇类 11 种、醛/酮类 8 种、杂环类 8 种、萜类 13 种、酯类 18 种、酸类 6 种和其他物质 3 种；郫县豆瓣酱原料蚕豆瓣和鲜辣椒的挥发性成分总质量分数（均以内标 4-甲基-2-戊醇质量计）较低，分别为（19.64±3.84）μg/g 和（7.84±1.30）μg/g，蚕豆瓣、鲜辣椒和霉豆瓣中多数挥发性成分在豆瓣酱中未检出，其挥发性特征与终产品性质关系较小；发酵后甜瓣子和辣椒醅中的挥发性成分明显增加，总质量分数分别为（82.42±17.63）μg/g 和（49.71±8.06）μg/g；辣椒醅中含有更多萜类、醇类物质，主要风味物质为芳樟醇、苯乙醇、2-甲氧基-3-异丁基吡嗪等；甜瓣子中含有更多的杂环类、醛/酮类、酸类物质，主要风味物质为苯乙醇、1-辛烯-3-醇、苯乙醛等；豆瓣酱中的挥发性成分总质量分数进一步提高（超过 100 μg/g），酯类物质质量分数和占比明显增加，主要风味物质包括月桂酸乙酯、苯乙醇、芳樟醇等；随着后熟时间的延长，郫县豆瓣酱挥发性成分总质量分数、构成及主要风味物质变化相对较小，特征趋于稳定。郫县豆瓣酱中萜类物质主要来自辣椒原料，杂环类物质和 4-乙基愈创木酚主要来自甜瓣子，酯类物质则主要在后熟阶段生成。

关键词：郫县豆瓣酱；挥发性成分；气质联用；风味
中图分类号：TS 264.2　**文章编号：**1673-1689(2024)06-0164-09　**DOI：**10.12441/spyswjs.20221127001

Analysis of Volatile Compound Profiles in Pixian Broad Bean-Chili Paste, Its Ingredients and Semi-Finished Products

FAN Zhiyi[1]，*DENG Weiqin*[*1]，*WANG Zeliang*[1]，*LI Xiongbo*[1]，
ZENG Xiaoxiao[1]，*LI Heng*[1]，*ZHANG Qisheng*[1,2]，*CHEN Gong*[1,2]
（1. Sichuan Academy of Food and Fermentation Industries Co., Ltd., Chengdu 611130, China; 2. Sichuan Dongpo Chinese Paocai Industrial Technology Research Institute, Meishan 620036, China）

Abstract: In order to analyze the changes in volatile compound profiles of Pixian broad bean-chili paste (BCP) during koji making, moromi fermentation and post fermentation as well as to reveal the

收稿日期：2022-11-27　**修回日期：**2023-04-12
基金项目：四川省区域创新合作项目（22QYCX0159）。
*通信作者：邓维琴（1991—），女，硕士，高级工程师，主要从事调味品和香辛料研究。E-mail：dengweiqin77@outlook.com

predominant volatile c ompounds in BCP and their origins, a systematic analysis of volatile compounds were carried out in BCP, its ingredients (broad bean cotyledon BBC, and fresh chili FCL) and semi-finished products (broad bean koji BKJ, pickled chili PCL, and broad bean moromi BMR). Through HS-SPME-GC-MS method, there were altogether 73 volatile compounds from all the studied samples (such as 6 hydrocarbons, 11 alcohols, 8 carbonyls, 8 heterocycles, 13 terpenoids, 18 esters, 6 acids, and 3 miscellaneous compounds). Total volatile contents of the ingredients were relatively low, showing (19.64±3.84) μg/g and (7.84±1.30) μg/g (an equivalent of 4-methyl-2-pentanol as an internal standard) in BBC and FCL, respectively. Many volatiles in BBC, FCL and BKJ were not found in BCP, indicating that their volatile profiles were not strongly related to those in the final products. Total volatile contents in broad bean moromi (BMR) and pickled chili (PCL) increased evidently to (82.42±17.63) μg/g and (49.71±8.06) μg/g after fermentation. Larger proportion of terpenoids and alcohols were found in PCL, indicating linalool, phenyl-ethanol, 2-methoxy-3-isobutyl pyrazine etc. as the key flavor compounds. More heterocyclic compounds, carbonyls and acids were detected in BMR, indicating phenylethanol, 1-octene-3-ol, phenylacetaldehyde etc. as the key flavor compounds. Total volatile contents in BCP were further increased (exceeded 100 μg/g) with esters as the most abundant compounds. Key flavor compounds of BCP included ethyl laurate, phenyl-ethanol, linalool etc. With the extension of post fermentation, changes in total volatile compounds, volatile composition and key flavor compounds in BCP were relatively low, indicating that they tended to be stable at this stage. Moreover, FCL was the main origin of terpenoids in BCP. Heterocyclic compounds and 4-ethyl-guaiacol were contributed mostly by BMR, while esters were formed in the post-fermentation stage.

Keywords: Pixian broad bean-chili paste, volatile compounds, GC-MS, flavor

郫县豆瓣酱是以蚕豆瓣、面粉、鲜辣椒等为原料,经过制曲、发酵、后熟等步骤(见图 1)制成的特色调味品,其以独特的风味和色泽深受消费者喜爱,广泛用于川菜烹饪,被誉为“川菜之魂”。郫县豆瓣酱中独特的酱酯香气,是其重要的品质特征之一。

挥发性成分的组成和含量是影响郫县豆瓣酱风味特征的物质基础。人们对郫县豆瓣酱风味物质的研究已有十几年的历史[1-2]。郫县豆瓣酱生产工艺复杂且相对粗放,风味组成差异较大,目前已报道的挥发性成分超过百种,已确认的重要风味物质也有几十种[3]。随着检测与分析手段的进步,挥发性成分已成为郫县豆瓣酱工艺与品质研究中不可缺少的分析对象。Ding 等研究了传统发酵、恒温发酵和梯度定温罐式发酵郫县豆瓣酱的品质特征,对不同工艺下的郫县豆瓣酱风味进行了详细分析评价,并阐述了发酵微生物和风味成分的关联[4];Zhang 等采

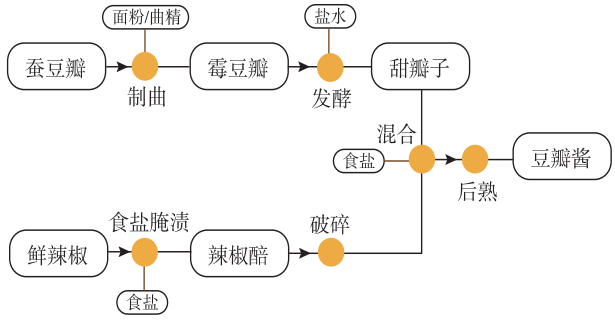


图 1 郫县豆瓣酱的原料及典型制作工艺

Fig. 1 Ingredients and typical processing of Pixian broad bean-chili paste

集了不同后熟时长的郫县豆瓣酱样品,分析了包括挥发性成分在内的多种化学成分的分布情况,并以此为依据对郫县豆瓣酱的后熟时间进行判断[5];Yang 等详细分析了郫县豆瓣酱的微生物群落结构,阐述了郫县豆瓣酱中各种微生物、代谢途径与关键

挥发性成分的相关性[6]。由此可见,研究郫县豆瓣酱的挥发性成分对于阐明发酵机理、评价工艺改良效果、增强品质管理和标准化水平等方面具有重要意义。

郫县豆瓣酱生产中,霉豆瓣、甜瓣子和辣椒醅是重要的发酵半成品,对终产品整体挥发性特征的形成均有一定影响。然而,目前对郫县豆瓣酱挥发性成分的来源和形成机制较不明晰,研究者对霉豆瓣、辣椒醅挥发性特征的关注度不足,尤其缺乏对郫县豆瓣酱在整个酿制过程中风味物质的对比研究。作者系统分析了郫县豆瓣酱生产过程中使用的原料(蚕豆瓣、鲜辣椒)、半成品(辣椒醅、霉豆瓣、甜瓣子),以及不同后熟时长豆瓣酱的挥发性成分,分析郫县豆瓣酱在制曲、发酵、后熟过程中挥发性成分的差异,以此推断郫县豆瓣酱中挥发性成分的来源和产生途径,为郫县豆瓣酱发酵原理的阐释和风味的形成奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

4-甲基-2-戊醇(色谱纯):天津市光复精细化工有限公司;甲醇(色谱纯):美国 Sigma-Aldrich 公司;氯化钠(分析纯):成都科隆化学品有限公司;34种正链烷烃混标的正己烷溶液(C_7~C_{40},色谱纯):上海源叶生物科技有限公司。

岛津 GC-MS-TQ8040 三重四级杆气相色谱质谱联用仪:日本岛津公司;Agilent J&W VF-WAXms 高分离度气相色谱柱(60 m×0.32 mm×0.25 μm):美国安捷伦公司;固相微萃取手柄(带有 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 固相微萃取纤维):美国 Supelco 公司;DZKW-4 电热恒温水浴锅:北京中兴伟业仪器有限公司;ESJ200-4B 分析天平:沈阳龙腾电子有限公司。

1.2 样品采集

郫县豆瓣酱生产过程中的原料、半成品和不同发酵时长的郫县豆瓣酱均采集自成都市郫都区某豆瓣酱大型生产企业,样品信息见表 1。

1.3 挥发性成分分析

采用顶空固相微萃取-气质联用(HS-SPME-GC-MS)技术分析样品中挥发性成分。称取 2 g 样品于 25 mL 固相微萃取瓶中,添加 2 mL 饱和氯化钠溶液和 10 μL 质量浓度为 4 mg/mL 的4-甲基-2-戊醇的甲醇稀释液,将固相微萃取瓶置于水浴锅中,60 ℃平衡 20 min,然后插入固相微萃取纤维(纤维伸出长度 40 mm),60 ℃提取 30 min,将萃取纤维插入气相色谱质谱联用仪气化室解吸 5 min。

表 1 采集的样品信息

Table 1 Samples used in this study

类型	名称(代号)	说明
原料	蚕豆瓣(BBC)	干燥、去皮的蚕豆(*Vicia faba* L.)子叶
	鲜辣椒(FCL)	新鲜的红色辣椒(*Capsicum annuum* L.)
半成品	霉豆瓣(BKJ)	经过制曲工艺获得的生霉蚕豆瓣
	甜瓣子(BMR)	霉豆瓣添加盐水发酵 3 个月,食盐质量分数约为 12.5%
	辣椒醅(PCL)	鲜辣椒添加食盐后密封腌渍 4 个月,食盐质量分数约为 20%
豆瓣酱	豆瓣酱 1(BCP1)	后熟 10 d 的豆瓣酱,食盐质量分数约为 19%
	豆瓣酱 2(BCP2)	后熟 1 个月的豆瓣酱,食盐质量分数约为 19%
	豆瓣酱 3(BCP3)	后熟 2 个月的豆瓣酱,食盐质量分数约为 19%
	豆瓣酱 4(BCP4)	后熟 6 个月的豆瓣酱,食盐质量分数约为 19%

气相色谱条件:柱箱温度 50 ℃,进样温度250 ℃,不分流进样,流量 1 mL/min。升温程序:50 ℃保持 3 min,以 5 ℃/min 升温至 85 ℃,保持 1.5 min,以 10 ℃/min 升温至 100 ℃,保持 0.5 min,以 2.5 ℃/min 升温至 145 ℃,保持 0.5 min,以 2 ℃/min 升温至 175 ℃,保持 1.5 min,以 10 ℃/min 升温至 250 ℃,保持 3 min。

质谱条件:离子源温度 230 ℃,接口温度250 ℃,溶剂延迟时间 2 min,采集方式为 Q3 扫描,扫描间隔为 0.3 s,扫描速度为 1 111 amu/s,扫描范围 *m/z* 35~350。

色谱峰识别斜率为 4 000 min^{-1}。参考 GC-MS 再解析软件中 NIST17、FFNSC1.3 质谱图数据库检索结果(相似度指数>80%),将保留指数(retention index,RI)测量值与 NIST Gas Chromatography 数据库 RI 值比对,确认挥发性物质。根据同一色谱柱相同升温程序下正链烷烃混标的保留时间,参考文献[7]计算各物质的 RI 值。

1.4 风味活性值(odor active value,OAV)计算

以各挥发性成分的质量分数与其在水中的风味阈值(odor threshold,OT)[8]的比值作为风味活性值(OAV),并根据 OAV 的大小确定各挥发性成分对样品总体风味的贡献程度。

1.5 数据分析与处理

每个样品独立取样 3 次并分别测定,挥发性成分的质量分数均以内标 4-甲基-2-戊醇的质量计,并以平均值±标准差的形式呈现。样品中所有挥发性成分的质量分数的总和作为该样品挥发性成分的总质量分数(μg/g,以内标质量计),挥发性成分的质量分数与挥发性成分总质量分数的比值作为该挥发性成分的占比。使用 Origin 2022、TBtools、Adobe Illustrator CS6 对数据进行可视化处理。

2 结果与分析

2.1 挥发性成分的质量分数与种类

通过 HS-SPME-GC-MS 分析,从郫县豆瓣酱及其原料、半成品中共鉴定出挥发性成分 73 种,包括烃类 6 种、醇类 11 种、醛/酮类 8 种、杂环类 8 种、萜类 13 种、酯类 18 种、酸类 6 种和其他物质 3 种(见图 2)。郫县豆瓣酱原料蚕豆瓣和鲜辣椒的挥发性成分种类较少,分别为 17 种和 24 种,挥发性成分总质量分数较低(见图 3),分别为(19.64±3.84) μg/g 和(7.84±1.30) μg/g。而随着发酵进行,挥发性成分种类更加丰富,总质量分数显著增加(P<0.05),霉豆瓣、甜瓣子和辣椒醅中分别检出 27、37、47 种挥发性成分,总质量分数分别为 (59.33±7.24)、(82.42±17.63)、(49.71±8.06) μg/g。豆瓣酱中的挥发性成分种类达到 60 种,总质量分数进一步增加,不同发酵时长豆瓣酱中挥发性成分总质量分数均超过 100 μg/g,随着发酵时间的延长,豆瓣酱中挥发性成分总质量分数略有变化,但差异不显著。

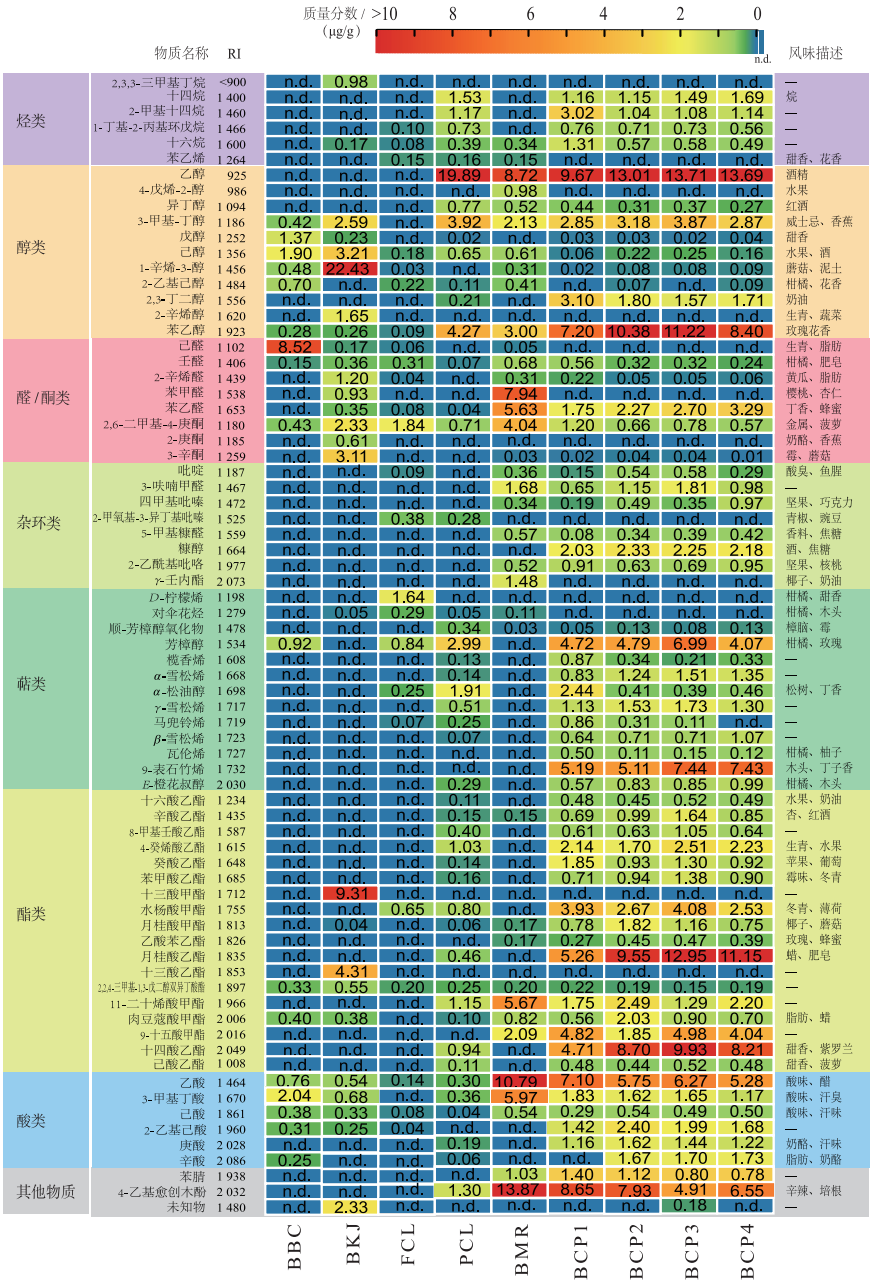
2.2 挥发性成分的构成和分布

由样品中各类挥发性成分占比(见图 4)可知,蚕豆瓣的挥发性成分主要为醛/酮类(46.31%)、醇类(26.16%)和酸类(19.06%),酯类物质的占比相对较低(3.75%)。经制曲后,霉豆瓣中醇类(51.17%)和酯类(24.59%)物质占比明显提高。发酵后,甜瓣子中出现一定量杂环类物质(6.01%),酸类(21.10%)和醛/酮类(22.67%)物质较霉豆瓣有明显增加。鲜辣椒中挥发性成分主要为醛/酮类(29.76%)和萜类(39.34%)物质。食盐腌渍后,辣椒醅中醇类(58.96%)物质占比大幅度上升。

为探究郫县豆瓣酱中挥发性成分的可能来源,分别计算每种挥发性成分在 6 类样品(豆瓣酱以发酵 2 个月的郫县豆瓣酱为代表)中的占比,结果见图 5。可以看出,一些在蚕豆瓣、霉豆瓣、鲜辣椒中分布较多的挥发性成分并未在豆瓣酱中检出,这些挥发性成分对豆瓣酱成品影响较小。与之相比,作为制作豆瓣酱的直接半成品,辣椒醅和甜瓣子中的挥发性成分也往往存在于豆瓣酱中,对豆瓣酱的挥发性成分组成具有更直接的影响。通过对比可知,辣椒醅较甜瓣子含有更高比例萜类(13.20%)物质,与之对应,顺-芳樟醇氧化物、α-松油醇、马兜铃烯等萜类物质主要分布于辣椒醅中。萜是一类以异戊二烯为结构单元的植物次生代谢物,小分子的萜类物质挥发性和风味均很强。挥发性萜类物质在辣椒原料中有一定分布[9],发酵中也可通过脱除糖苷键[10]或类胡萝卜素分解生成[11],可以推测豆瓣酱中的萜类物质主要来源于辣椒原料。某些萜类物质,如 γ-雪松烯、α-雪松烯等在辣椒醅中质量分数较少,但在豆瓣酱中分布更多,这可能是由于大分子萜类物质在后熟阶段加剧分解导致。

辣椒醅中醇类物质的占比也较高。乙醇发酵、氨基酸脱氨、脂肪氧化、醛/酮类物质还原均是醇的来源途径[11],经高盐低氧环境发酵的辣椒醅中醇类物质主要为乙醇和几种杂醇油(异丁醇、3-甲基丁醇等),且这些醇类物质也在甜瓣子中存在,它们可能是由耐盐酵母代谢糖和氨基酸产生的。

与辣椒醅相比,甜瓣子中含有更高比例的杂环类(6.01%)和醛/酮类(22.67%)物质,与之对应,5-甲基糠醛、四甲基吡嗪、3-呋喃甲醛、苯甲醛、苯乙醛等成分在甜瓣子中质量分数较高,但在辣椒醅中未检出。杂环类和醛/酮类物质主要来自脂肪、糖类物质的氧化及美拉德反应[12-14],甜瓣子中丰富的糖类、脂肪和氨基化合物为这些反应提供了底物。此外,甜瓣子中还含有更高比例的酸类物质(21.10%)和 4-乙基愈创木酚。酸主要来自脂肪酸、氨基酸的裂解和微生物的糖代谢[15],甜瓣子中的酸类物质主要为乙酸和 3-甲基-丁酸,可能是由乳酸菌和酵母代谢造成的;4-乙基愈创木酚主要来自蚕豆原料中的阿魏酸[16]。相比之下,辣椒醅盐含量较高且相关底物比较匮乏,因此以上物质的质量分数很低。

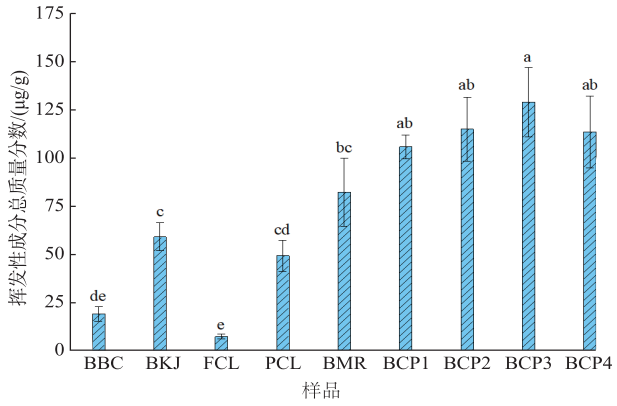


—表示风味特征未知。

图 2　郫县豆瓣酱及其原料、半成品中的挥发性成分

Fig. 2　Volatile compounds in Pixian broad bean–chili paste, its ingredients, and semi–finished products

不同后熟时长的豆瓣酱中，8 类挥发性成分均占一定比例，其中酯类（27.19~34.38%）、醇类（22.07~25.30%）物质占比最高，酸类（10.20~11.83%）、萜类（13.49~16.82%）物质占比也较高。与辣椒醅、甜瓣子相比，豆瓣酱中酯类物质（如月桂酸乙酯、十四酸乙酯、癸酸乙酯、苯甲酸乙酯等）占比大幅增加，成为最为丰富的一类挥发性成分，这与 Gao 等对黄豆酱的研究结果类似[17]。酯类物质具有较强的挥发性和风味，发酵体系中的酵母和乳酸菌均可通过催化酯化反应产生酯类物质[18–19]。后熟阶段，晒制和搅拌可能加剧了发酵体系中前体物质的氧化裂解及微生物的活动，导致酯类物质积累。后熟时间的延长对豆瓣酱中各类挥发性成分占比影响不大，说明其挥发性成分构成已趋于稳定。



不同字母代表样品间具有显著差异(P<0.05)。

图 3　郫县豆瓣酱及其原料、半成品的挥发性成分总质量分数

Fig. 3　Total volatile contents in Pixian broad bean-chili paste, its ingredients, and semi-finished products

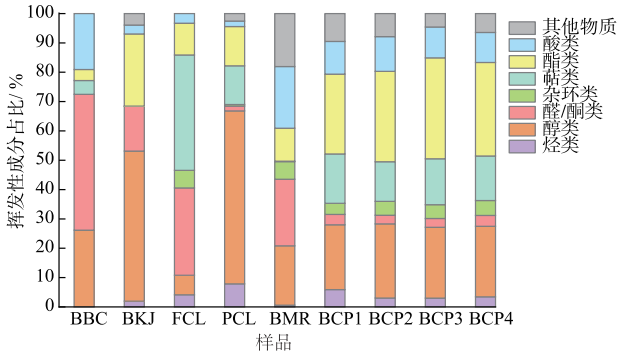


图 4　各类挥发性成分在郫县豆瓣酱及其原料、半成品中的占比

Fig. 4　Proportion of different classes of volatile compounds in Pixian broad bean-chili paste, its ingredients, and semi-finished products

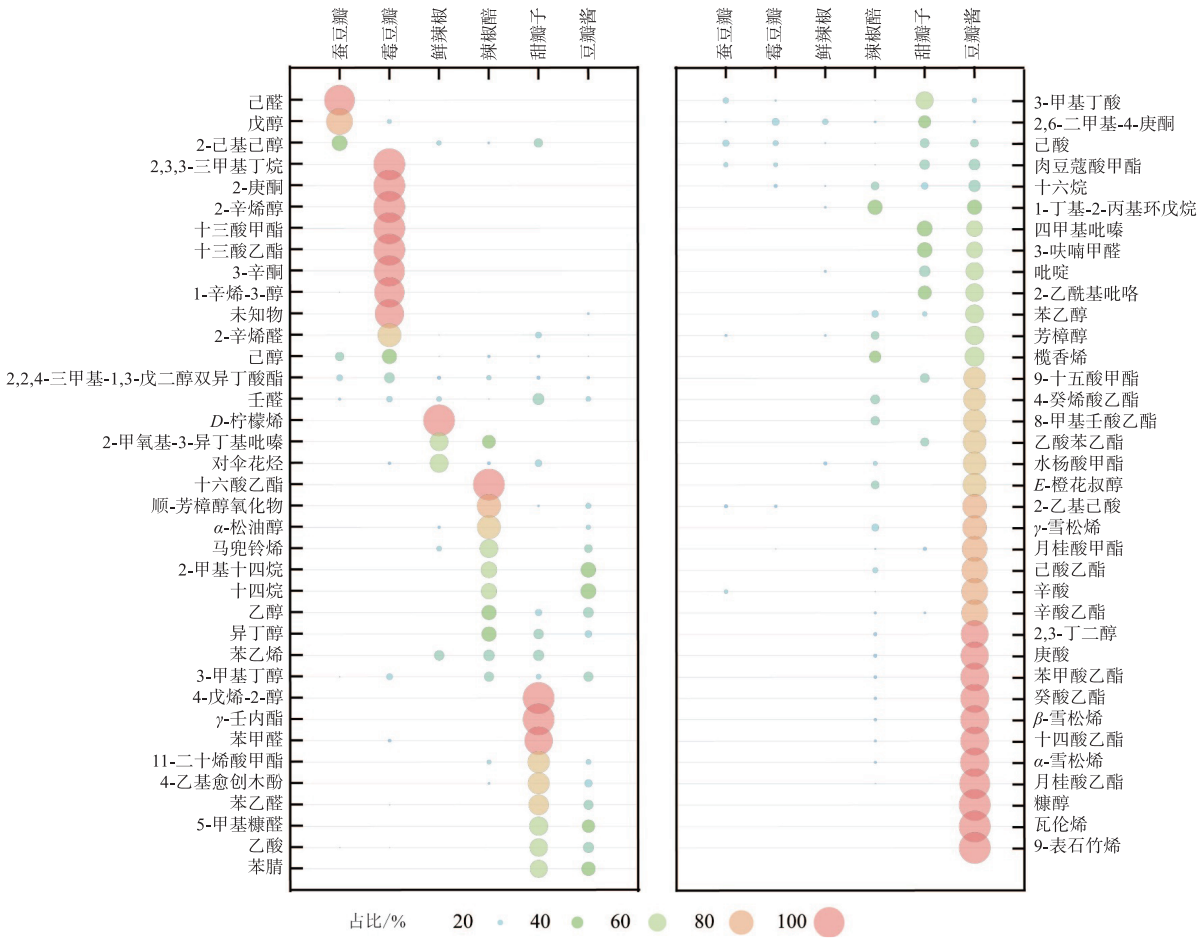
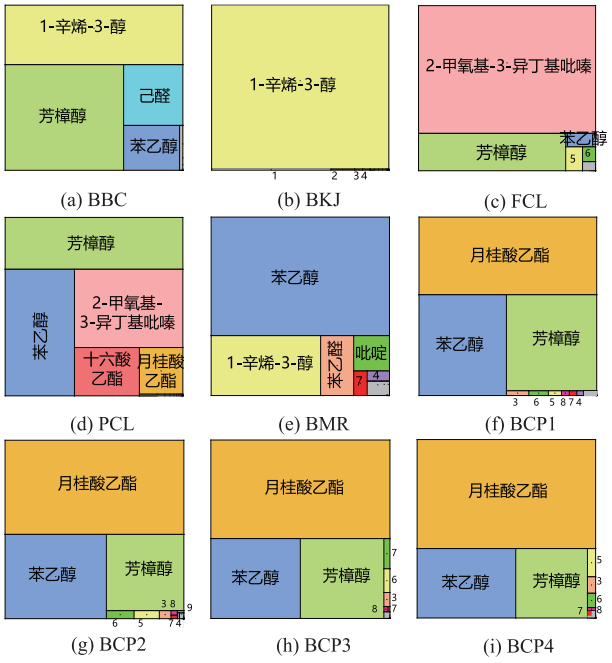


图 5　挥发性成分在郫县豆瓣酱及其原料、半成品中的分布

Fig. 5　Distribution of volatile compounds in Pixian broad bean-chili paste, its ingredients, and semi-finished products

2.3　郫县豆瓣酱及其原料、半成品中的主要风味物质

为了分析郫县豆瓣酱及其原料、半成品中的主要风味物质,根据各挥发性成分的风味阈值计算相应的 OAV,并根据 OAV 的大小确定各样品中的主要风味物质,结果如图 6 所示。



1. 苯乙醇;2. 2-辛烯醛;3. 苯乙醛;4. 壬醛;5. 1-辛烯-3-醇;6. 吡啶;7. 4-乙基愈创木酚;8. 糠醇;9. 月桂酸甲酯。

图 6　郫县豆瓣酱及其原料、半成品的主要风味成分 OAV 树状图

Fig. 6　OAV tree maps of predominant aroma compounds in Pixian broad bean-chili paste, its ingredients, and semi-finished products

蚕豆瓣(BBC)中主要的风味物质为 1-辛烯-3-醇、芳樟醇、己醛和苯乙醇(见图 6(a)),这几种物质在之前对蚕豆挥发性成分的研究中均有报道[20]。但相对其他样品,蚕豆瓣的风味物质含量较低,风味较淡。

霉豆瓣(BKJ)中,1-辛烯-3-醇是主要的风味物质(见图 6(b)),具有蘑菇、泥土的气味,是多种食用真菌的特征性风味物质[21],也是大酱[22]、酱油[23]等传统发酵豆制品制曲阶段重要的风味物质。大量研究表明,包括曲霉属在内的多种真菌可通过脂氧合酶途径(lipoxygenase pathway)将亚油酸裂解生成 1-辛烯-3-醇[24-25],而蚕豆本身含有丰富的亚油酸[26]。可以推测, 霉豆瓣中丰富的 1-辛烯-3-醇主要来源于制曲过程中米曲霉(*Aspergillus oryzae*)对蚕豆瓣中亚油酸的酶促分解。

鲜辣椒(FCL)中,2-甲氧基-3-异丁基吡嗪是主要的风味物质(见图 6(c)),具有青椒和豌豆的气味,被认为是某些品种辣椒中重要的风味物质[9],同时也广泛分布于发酵辣椒酱[11,27-28]、鲊广椒[29]、泰式青椒酱[30]等辣椒制品中。芳樟醇是一种常见的单萜类物质,也是鲜辣椒中贡献较大的风味物质。研究表明,芳樟醇是许多品种辣椒中固有的风味物质[9],某些微生物也可通过甲羟戊酸途径(mevalonate pathway)利用糖产生芳樟醇[31-32]。苯乙醇、1-辛烯-3-醇、吡啶对鲜辣椒的整体风味也具有一定贡献。苯乙醇具有玫瑰花香,主要来自酵母对原料中苯丙氨酸的分解代谢[28]。该物质和 1-辛烯-3-醇均是微生物发酵中常见的代谢产物。吡啶具有酸臭和鱼腥味,在一些辣椒及其制品的风味研究中也有检出[28,33]。Ko 等发现,在被细菌污染后,辣椒粉中开始出现吡啶[34]。可以推测,辣椒采收时由于破损等原因,存在一定程度的微生物活动,增加了原料中某些风味物质的含量。

辣椒醅(PCL)中主要风味物质包括芳樟醇、苯乙醇、2-甲氧基-3-异丁基吡嗪、十六酸乙酯、月桂酸乙酯等(见图 6(d)),这些均是辣椒发酵后常见的风味物质[11,28,35],与鲜辣椒相比,辣椒醅经发酵,微生物代谢产物明显增加,风味物质变得丰富,说明微生物发酵明显改变了原料的风味品质。

甜瓣子(BMR)中主要风味物质为苯乙醇、1-辛烯-3-醇、苯乙醛、吡啶等(见图 6(e))。苯乙醛具有丁香和蜂蜜的气味,主要来自苯丙氨酸的氧化脱氨(Strecker 裂解反应)[28]。苯乙醛与苯乙醇均是美拉德反应和酵母代谢的重要风味物质。1-辛烯-3-醇被认为是郫县豆瓣酱甜瓣子中重要的风味物质之一[3],其在味噌[36]、大酱[37]、酱油[38-39]等传统发酵调味品中也同样存在, 甜瓣子中的 1-辛烯-3-醇可能主要来自霉豆瓣。总体来看,由于糖和氨基酸丰富,美拉德反应和酵母代谢对甜瓣子的风味形成产生重大影响,同时甜瓣子中也保留了霉豆瓣中的部分成分。

不同发酵时长豆瓣酱(BCP)中的风味物质组成较为接近,主要为月桂酸乙酯、苯乙醇和芳樟醇(见图 6(f)~(i)),这 3 种物质被认为是郫县豆瓣酱中的主体风味物质[6]。此外,吡啶、1-辛烯-3-醇、苯乙醛、糠醇和 4-乙基愈创木酚也是重要的风味物质,在以往的研究中也多有检出[4,6,40]。郫县豆瓣酱在发酵 6 个月内,风味物质没有发生根本性的变化,整体风味特征趋于稳定。

3　结　语

作者系统分析了郫县豆瓣酱生产中使用的蚕

豆瓣、鲜辣椒,半成品辣椒醅、霉豆瓣、甜瓣子,以及不同后熟时长豆瓣酱的挥发性成分。研究发现,采用顶空固相微萃取-气质联用技术,郫县豆瓣酱及其原料、半成品中共鉴定出挥发性成分73种,分属烃类、醇类、醛/酮类、杂环类、萜类、酯类、酸类、其他物质8个类别;原料中挥发性成分总质量分数较低,蚕豆瓣、鲜辣椒和霉豆瓣中多数挥发性成分在郫县豆瓣酱中未检出,其挥发性特征与终产品性质关系较小;经发酵,辣椒醅和甜瓣子中的挥发性成分明显增加;辣椒醅中含有更多萜类、醇类物质,主要风味物质为芳樟醇、苯乙醇、2-甲氧基-3-异丁基吡嗪等;甜瓣子中含有更多的杂环类、醛/酮类、酸类物质,主要风味物质为苯乙醇、1-辛烯-3-醇、苯乙醛等;豆瓣酱中的挥发性成分总质量分数进一步提高,酯类物质质量分数和占比明显增加,主要风味物质包括月桂酸乙酯、苯乙醇、芳樟醇等;随着后熟时间的延长,挥发性成分总质量分数、构成及主要风味物质变化相对较小,特征趋于稳定。

参考文献:

[1] 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,2009,30(4):136-139.
HUANG M Q,HAN S B,SUN B G,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**,2009,30(4):136-139. (in Chinese)
[2] 刘超兰,黄著,彭熙敏,等. 乳酸菌和酵母共培养技术缩短郫县豆瓣酱陈酿期的应用研究[J]. 中国酿造,2009,28(3):105-109.
LIU C L,HUANG Z,PENG X M,et al. Reduction of ripening period of Pixian bean-chili pastes by coculturing of salt-tolerance *Lactobacillus* and yeasts[J]. **China Brewing**,2009,28(3):105-109. (in Chinese)
[3] ZHAO C,FAN W L,XU Y. Characterization of key aroma compounds in Pixian broad bean paste through the molecular sensory science technique[J]. **LWT-Food Science and Technology**,2021,148:111743.
[4] DING W W,YE X Q,ZHAO X Y,et al. Fermentation characteristics of Pixian broad bean paste in closed system of gradient steady-state temperature field[J]. **Food Chemistry**,2022,374:131560.
[5] ZHANG G F,YIN X L,LI Y F,et al.Multivariate analysis on the evolution of flavor-related chemical contents during three-years ripening of Pixian Doubanjiang[J]. **Journal of Food Composition and Analysis**,2022,106(22):104319.
[6] YANG M L,HUANG J,ZHOU R Q,et al. Characterizing the microbial community of Pixian Doubanjiang and analysing the metabolic pathway of major flavour metabolites[J]. **LWT-Food Science and Technology**,2021,143:111170.
[7] 吴若彤,王兴伟,夏书芹,等. 外源氨基酸对牡蛎肽美拉德反应产物风味特性的调控作用[J]. 食品与生物技术学报,2023,42(3):30-37.
WU R T,WANG X W,XIA S Q,et al. Flavor characteristics of oyster peptide Maillard reaction products regulated by exogenous amino acids[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2023,42(3):30-37. (in Chinese)
[8] GEMERT L J V. Odour thresholds: compilations of odour threshold values in air,water and other media[M]. Zeist: Oliemans Punter & Partners BV,2011.
[9] CHITWOOD R L,PANGBORN R M,JENNINGS W. GC/MS and sensory analysis of volatiles from three cultivars of *Capsicum* [J]. **Food Chemistry**,1983,11(3):201-216.
[10] MAICAS S,MATEO J J. Hydrolysis of terpenyl glycosides in grape juice and other fruit juices:a review[J]. **Applied Microbiology and Biotechnology**,2005,67(3):322-335.
[11] LEE S M,LEE J Y,CHO Y J,et al. Determination of volatiles and carotenoid degradation compounds in red pepper fermented by *Lactobacillus parabuchneri*[J]. **Journal of Food Science**,2018,83(8):2083-2091.
[12] LEE S,AHN B. Comparison of volatile components in fermented soybean pastes using simultaneous distillation and extraction (SDE) with sensory characterisation[J]. **Food Chemistry**,2009,114(2):600-609.
[13] FERRETTI A,FLANAGAN V P,RUTH J M. Nonenzymic browning in a lactose-casein model system[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,1970,18(1):13-18.
[14] VAN BOEKEL M A J S. Formation of flavour compounds in the Maillard reaction[J]. **Biotechnology Advances**,2006,24(2):230-233.
[15] PENG X Y,LI X,SHI X D,et al. Evaluation of the aroma quality of Chinese traditional soy paste during storage based on principal component analysis[J]. **Food Chemistry**,2014,151:532-538.
[16] AMAROWICZ R,SHAHIDI F. Antioxidant activity of broad bean seed extract and its phenolic composition[J]. **Journal of Functional Foods**,2017,38:656-662.
[17] GAO X L,CUI C,ZHAO H F,et al. Changes in volatile aroma compounds of traditional Chinese-type soy sauce during moromi

fermentation and heat treatment[J]. **Food Science and Biotechnology**,2010,19(4):889-898.
[18] HOLLAND R,LIU S Q,CROW V L,et al. Esterases of lactic acid bacteria and cheese flavour:milk fat hydrolysis,alcoholysis and esterification[J]. **International Dairy Journal**,2005,15(6/7/8/9):711-718.
[19] MASON A B,DUFOUR J P. Alcohol acetyltransferases and the significance of ester synthesis in yeast[J]. **Yeast**,2000,16(14):1287-1298.
[20] SHARAN S,ZANGHELINI G,PERNIN A,et al. Flavor of fava bean (*Vicia faba* L.) ingredients:effect of processing and application conditions on odor-perception and headspace volatile chemistry[J]. **Food Research International**,2022,159:111582.
[21] PEI F,YANG W J,MA N,et al. Effect of the two drying approaches on the volatile profiles of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by headspace GC-MS and electronic nose[J]. **LWT–Food Science and Technology**,2016,72:343-350.
[22] KUM S J,YANG S O,LEE S M,et al. Effects of *Aspergillus* species inoculation and their enzymatic activities on the formation of volatile components in fermented soybean paste (*doenjang*)[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2015,63(5):1401-1418.
[23] FENG Y Z,CUI C,ZHAO H F,et al. Effect of koji fermentation on generation of volatile compounds in soy sauce production[J]. **International Journal of Food Science & Technology**,2013,48(3):609-619.
[24] WURZENBERGER M,GROSCH W. Enzymic oxidation of linolenic acid to 1,*Z*-5-octadien-3-ol,*Z*-2,*Z*-5-octadien-1-ol and 10-oxo-*E*-8-decenoic acid by a protein fraction from mushrooms(*Psalliota bispora*)[J]. **Lipids**,1986,21(4):261-266.
[25] KATAOKA R,WATANABE T,YANO S,et al. *Aspergillus luchuensis* fatty acid oxygenase *ppoC* is necessary for 1-octen-3-ol biosynthesis in rice koji[J]. **Journal of Bioscience and Bioengineering**,2020,129(2):192-198.
[26] YOSHIDA H,SAIKI M,YOSHIDA N,et al. Fatty acid distribution in triacylglycerols and phospholipids of broad beans (*Vicia faba*)[J]. **Food Chemistry**,2009,112(4):924-928.
[27] XU X X,WU B B,ZHAO W T,et al. Correlation between autochthonous microbial communities and key odorants during the fermentation of red pepper(*Capsicum annuum* L.)[J]. **Food Microbiology**,2020,91:103510.
[28] KANG K M,BAEK H H. Aroma quality assessment of Korean fermented red pepper paste (*gochujang*) by aroma extract dilution analysis and headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-olfactometry[J]. **Food Chemistry**,2014,145:488-495.
[29] 尹小庆,汤艳燕,杜木英,等. 两种鲊辣椒发酵过程中香气特征及其差异分析[J]. 食品与发酵工业,2019,45(16):266-274.
YIN X Q,TANG Y Y,DU M Y,et al. Volatile aroma components and variation of two types of Zha-chilis during fermentation[J]. **Food and Fermentation Industries**,2019,45(16):266-274. (in Chinese)
[30] APICHARTSRANGKOON A,CHAIKHAM P,SRISAJJALERTWAJA S. Storage stability of aroma volatiles in ultra-high pressure and thermally treated Thai green-chili pastes(Nam Prig Nhum)[J]. **Food Bioscience**,2014,5:91-100.
[31] ZHANG Y Y,CAO X S,WANG J,et al. Enhancement of linalool production in *Saccharomyces cerevisiae* by utilizing isopentenol utilization pathway[J]. **Microbial Cell Factories**,2022,21(1):212.
[32] LIAO P,HEMMERLIN A,BACH T J,et al. The potential of the mevalonate pathway for enhanced isoprenoid production[J]. **Biotechnology Advances**,2016,34(5):697-713.
[33] KIM T J,HYEON H,PARK N I,et al. A high-throughput platform for interpretation of metabolite profile data from pepper (*Capsicum*) fruits of 13 phenotypes associated with different fruit maturity states[J]. **Food Chemistry**,2020,331:127286.
[34] KO A Y,MUSFIQUR R M,EL-ATY A M,et al. Identification of volatile organic compounds generated from healthy and infected powdered chili using solvent-free solid injection coupled with GC/MS:application to adulteration[J]. **Food Chemistry**,2014,156:326-332.
[35] YE Z,SHANG Z X,ZHANG S Y,et al. Dynamic analysis of flavor properties and microbial communities in Chinese pickled chili pepper(*Capsicum frutescens* L.):a typical industrial-scale natural fermentation process[J]. **Food Research International**,2022,153:110952.
[36] KU K L,CHEN T P,CHIOU R Y. Apparatus used for small-scale volatile extraction from ethanol-supplemented low-salt miso and GC-MS characterization of the extracted flavors[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2000,48(8):3507-3511.
[37] HONG Y,JUNG H J,KIM H Y. Aroma characteristics of fermented Korean soybean paste (Doenjang) produced by *Bacillus amyloliquefaciens*[J]. **Food Science and Biotechnology**,2012,21(4):1163-1172.
[38] LEE S M,SEO B C,KIM Y S. Volatile compounds in fermented and acid-hydrolyzed soy sauces[J]. **Journal of Food Science**,2006,71(3):146-156.
[39] 冯杰,詹晓北,周朝晖,等. 两种膜过滤生产的纯生酱油风味物质比较[J]. 食品与生物技术学报,2010,29(1):33-39.
FENG J,ZHAN X B,ZHOU Z H,et al. Comparative analysis of flavor compounds in draft soy sauce origin from two different membranes[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2010,29(1):33-39. (in Chinese)
[40] LIN H B,LIU Y,HE Q,et al. Characterization of odor components of Pixian Douban (broad bean paste) by aroma extract dilute analysis and odor activity values[J]. **International Journal of Food Properties**,2019,22:1223-1234.

(责任编辑:许艳超)