

# 烘瓣子和阴瓣子发酵过程中风味品质的对比分析

蒋四强<sup>1,2</sup>, 邓维琴<sup>1</sup>, 范智义<sup>1</sup>, 李雄波<sup>1</sup>, 王泽亮<sup>1</sup>, 李恒<sup>1</sup>, 陈功<sup>1,3\*</sup>

(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. 成都大学食品与生物工程学院, 四川成都 610106) (3. 四川东坡中国泡菜产业技术研究院, 四川眉山 620030)

**摘要:** 为探究发酵工艺对甜瓣子品质的影响, 该研究对烘瓣子和阴瓣子中微生物、风味物质、色差、质构特性等指标进行对比分析。结果表明, 烘瓣子和阴瓣子品质差异显著 ( $P < 0.05$ )。两种甜瓣子发酵过程霉菌和细菌数量差异显著, 发酵结束时, 烘瓣子和阴瓣子中细菌与霉菌数量分别为 5.07、4.81 和 2.75、2.13 lg CFU/g。两种甜瓣子的总酸和氨基酸态氮含量在发酵过程中有明显提升, 阴瓣子总酸 (1.81 g/100 g) 显著高于烘瓣子 (1.48 g/100 g), 同时硬度 (30.69 N) 高于烘瓣子 (14.48 N); 烘瓣子中氨基酸态氮 (0.69 g/100 g) 显著高于阴瓣子, 其瓣子颜色更红亮。风味分析结果显示, 烘瓣子风味较突出, 阴瓣子风味相对协调。阴瓣子和烘瓣子共检出 57 种风味物质; 两种甜瓣子的风味物质组成相似, 同种风味物质在两种甜瓣子中相对含量差异较大, 烘瓣子中风味化合物种类更多和相对含量更高, 2-甲基丁醇、乙酸异戊酯、乙醇、乙酸和异戊醛等 14 种物质是主要差异性风味化合物。感官评价结果显示, 烘瓣子品质优于阴瓣子。综上所述, 烘瓣子发酵周期短, 风味更突出, 适于现代甜瓣子的生产。

**关键词:** 甜瓣子; 烘瓣子; 阴瓣子; 风味品质; 对比分析

文章编号: 1673-9078(2024)04-277-286

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.4.0369

## Comparative Analysis of Flavor Quality during the Fermentation of Dried Petals and Raw Petals

JIANG Siqiang<sup>1,2</sup>, DENG Weiqin<sup>1</sup>, FAN Zhiyi<sup>1</sup>, LI Xiongbo<sup>1</sup>, WANG Zeliang<sup>1</sup>, LI Heng<sup>1</sup>, CHEN Gong<sup>1,3\*</sup>

(1. Sichuan Academy of Food and Fermentation Industries Co. Ltd., Chengdu 611130, China)

(2. College of Food and Bioengineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China)

(3. Sichuan Dongpo Chinese Paocai Industrial Technology Research Institute, Meishan 620030, China)

**Abstract:** To explore the effect of the fermentation process on the quality of broad bean paste-meju (BBPM), in this study, the microorganisms, flavor substances, color differences, textural characteristics and other indexes of the dried petals and raw petals were compared and analyzed. The results showed that the quality of the dried petals and raw petals differed significantly ( $P < 0.05$ ). The number of molds and bacteria in the fermentation process of the two BBPMs differed significantly. The numbers of bacteria and molds in the dried petals and raw petals at the end of the fermentation were 5.07 and 4.81, and 2.75 and 2.13 lg CFU/g, respectively. The total acid and amino acid nitrogen contents of the two BBPMs increased significantly during the fermentation process, with the total acid of the raw petals (1.81 g/100 g) being significantly higher than that of the

引文格式:

蒋四强, 邓维琴, 范智义, 等. 烘瓣子和阴瓣子发酵过程中风味品质的对比分析[J]. 现代食品科技, 2024, 40(4): 277-286.

JIANG Siqiang, DENG Weiqin, FAN Zhiyi, et al. Comparative analysis of flavor quality during the fermentation of dried petals and raw petals [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(4): 277-286.

收稿日期: 2023-03-28

项目基金: 四川省中央引导地方科技发展资金定向转移支付项目; 四川创新团队资助项目

作者简介: 蒋四强 (1996-), 男, 硕士, 研究方向: 传统发酵食品, E-mail: 1481426771@qq.com

通讯作者: 陈功 (1964-), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 研究方向: 传统发酵食品, E-mail: foodcg@163.com

dried petals (1.48 g/100 g), while the hardness of the raw petals (30.69 N) being higher than that of dried petals (14.48 N); The amino acid nitrogen (0.69 g/100 g) in the dried petals was significantly higher than that of the raw petals, with a redder and brighter color. The flavor analysis results showed that the flavor of the dried petals was more prominent, and the flavor of the raw petals was relatively harmonious. A total of 57 kinds of flavor substances were detected in the raw petals and the dried petals, and the compositions of flavor substances of the two BBPMs resembled. The relative contents of the same flavor substance in the two sweet petals were quite different, and the dried petals contain a greater variety of flavor compounds and higher relative contents, with the 14 kinds of substances, including 2-methylbutanol, isoamyl acetate, ethanol, acetic acid and isovaleraldehyde, being the main differential flavor compounds. The results of sensory evaluation showed that the quality of dried petals was better than that of raw petals. In summary, the dried petals had a short fermentation cycle and more prominent flavor, which is suitable for the production of modern BBPMs.

**Key words:** broad bean paste-meju; dried petals; raw petals; flavor quality; comparative analysis

郫县豆瓣由甜瓣子和辣椒醅混合发酵, 经长期日晒夜露制成的传统特色发酵调味品, 具有酯香醇厚、味道鲜美等特点, 被誉为“川菜之魂<sup>[1]</sup>”。甜瓣子是由蚕豆曲和盐水混合发酵而成, 是郫县豆瓣的主要原料之一, 其主要利用制曲阶段积累的酶系与微生物, 对蚕豆中的淀粉、蛋白质、脂肪等大分子物质进行分解, 产生有机酸、氨基酸、脂肪酸和各种挥发性风味物质, 最终形成甜瓣子独特的风味<sup>[2]</sup>, 因此, 甜瓣子发酵是郫县豆瓣风味形成的关键阶段。

目前关于甜瓣子的研究比较多, 如郭丽平等<sup>[3]</sup>利用贻贝与米曲霉制曲后混合发酵贻贝豆酱, 相比于酶解的贻贝酱, 混合发酵的贻贝豆酱挥发性风味物质更丰富, 醛类、酯类等特征性风味物质相对含量分别增加了11%、19.4%。在发酵微生物的研究中, 于松峰<sup>[4]</sup>发现细菌是豆瓣酱发酵过程中的主要优势微生物, 其中 *Weissella*、*Staphylococcus*、*Leuconostoc*、*Lactobacillus* 和 *Bacillus* 等贯穿整个发酵过程, 对豆瓣酱的风味贡献较大。与此同时, 蒋予箭等<sup>[5]</sup>等通过优化发酵温度、发酵周期以及盐水浓度等工艺参数, 使发酵酱油红色指数升为5.17 (平均值), 比优化前红色指数(4.52)提高14%, 同时原料蛋白质利用率比对照组提高13.7%。张灵<sup>[6]</sup>采用变温模式发酵豆瓣酱, 发现先低温后高温的发酵模式优于传统先高温后低温的发酵模式, 并且能缩短发酵时间, 该模式下酶活较传统发酵模式更稳定, 且有机酸下降幅度较为缓慢, 有利于保持产品品质的稳定性。由此可见, 影响甜瓣子品质的因素有很多, 但很多影响因素在甜瓣子工厂的实际生产中不易得到控制。现如今工厂生产的甜瓣子分为两种, 一种为阴瓣子, 既在自然条件发酵的甜瓣子, 该工艺发酵体系中微生物丰富, 但发酵时间较长; 另一种

为烘瓣子, 在控温条件下进行发酵, 具有发酵时间短、瓣子上色快等特点。相比于其他因素, 控制发酵温度和发酵环境, 在工厂的实际生产中容易实现。基于以上情况, 本文通过对比烘瓣子和阴瓣子的各项品质指标, 分析两种甜瓣子的特色, 以为工厂甜瓣子发酵工艺的改进以及品质提升提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

菌种: 曲精 3.042, 购自济宁玉园生物有限公司; 甜瓣子样品分别从郫县豆瓣生产企业采集; 试剂: PCA 细菌平板计数培养基、孟加拉红培养基、氢氧化钠(分析纯)和甲醛溶液(分析纯)均采购于成都市科隆化学品有限公司。

### 1.2 设备

TP-214 型分析天平, 美国 Denver 公司; KQ-500DE 型超声波清洗机, 昆山市超市仪器有限公司; TGL-20bR 冷冻离心机、TGL-20bR 冷冻离心机, 上海安亭科学仪器厂; VORTEX-2 旋涡混合器, 美国 GENE 公司; pHSJ-4F 型 pH 计, 梅特勒型-托利多国际贸易(上海)有限公司; RID-20A 型示差折光检测器, 日本岛津制作所; GC-MS-QP2010 气相色谱-质谱(GC-MS)联用仪, 日本岛津公司; DB-WAX 色谱柱(60 m×0.25 mm, 0.25 μm), 美国安捷伦公司; 固相微萃取装置(50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头), 梅特勒型-托利多国际贸易(上海)有限公司; SW-CJ-2F 超净工作台, 苏州安泰空气技术有限公司; LDZF-75L-H 高压蒸汽灭菌锅, 上海申安医疗器械厂; SPX-150B-4 生化培养箱, 上海博讯实业有限公司医疗设备厂。

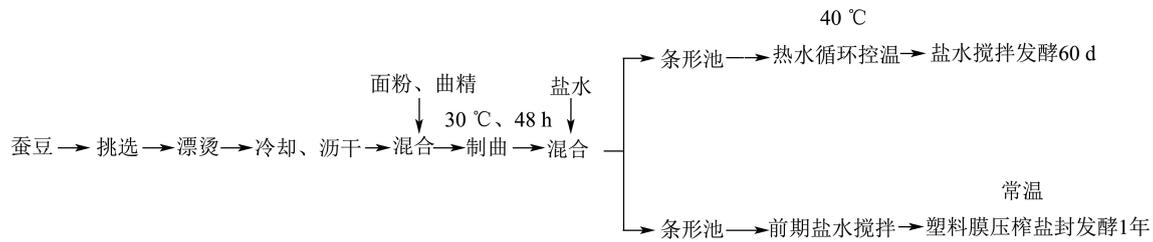


图1 甜瓣子制作工艺流程图

Fig.1 Factory broad bean paste-meju production process flowchart

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 工厂甜瓣子制作工艺

蚕豆用沸水漂烫，沥干水分冷却后与15%的面粉（以蚕豆干重计）和0.03%曲精均匀混合（面粉与曲精提前混合），在30℃恒温曲房制曲48 h，得到蚕豆曲；按照蚕豆曲：水：盐=1:1:0.35的比例均匀混合后装入发酵条池，其中烘瓣子采用热水循环控温40℃，通过盐水循环搅拌，加盖保温发酵60 d；阴瓣子前期通过盐水循环搅拌后，采用食品级塑料膜覆盖、盐压榨封口，常温发酵1年。阴瓣子和烘瓣子分别跟踪3个发酵池，采用五点法采样，烘瓣子每隔20 d采样，阴瓣子每隔70 d采样。

#### 1.3.2 甜瓣子指标测定方法

(1) 细菌总数的测定：根据GB 4789.2-2022《食品微生物学检验菌落总数测定》中方法稍作调整，对甜瓣子中细菌总数计数用含有0.003%纳他霉素的平板计数培养基倾注培养。

(2) 霉菌总数的测定：根据GB 4789.15-2016《食品微生物学检验霉菌和酵母菌计数》中平板计数法进行计数。

(3) 总酸及氨基酸态氮含量的测定：根据GB 5009.235-2016《食品中氨基酸态氮测定》进行测定。

(4) 质构测定：参考田甜等<sup>[7]</sup>报道的方法进行测定，取完整甜瓣子于质构仪载物台中心，用圆柱探头（ $\Phi 5 \times 34.80$  mm）进行单次挤压试验，压缩百分比为70%，测试速度100 mm/min。将测试过程中探头检测到的最大力定义为硬度（N）。

(5) 色差测定：参照肖龙泉等<sup>[8]</sup>的样品处理和测定方法。

(6) 挥发性风味物质的测定：参照李雄波<sup>[9]</sup>的方法进行甜瓣子样品前处理和测定。

定性分析：将所测的挥发性风味物质的鉴定利用NIST7谱库检索结果（相似度80%）和人工图谱

鉴定共同确定。

定量分析：采用峰面积归一化法，计算各挥发性风味物质的相对百分比含量。

#### 1.3.3 甜瓣子感官评价

参照GB/T20560-2006《地理标志产品郫县豆瓣》的标准进行，并稍作修改。具体为：由12名经过感官培训的人员组成感官评定小组，其中男生和女生各6名。对甜瓣子的香气、滋味、质地、色泽以及体态5个方面进行感官评价。具体标准如下：

表1 甜瓣子的感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria for broad bean paste-meju

指标	评分标准	评分/分
香气	酱香味、酯香味浓郁，无不良气味	21~30
	酱香味、酯香味较淡	11~20
	无酱香味、酯香味，有异味	0~10
滋味	咸味适中，鲜味醇厚，无异味	21~30
	咸味较重或较轻，鲜味较淡，无异味	11~20
质地	鲜甜过重或过轻，无鲜味，有酸味	0~10
	瓣子软硬适中	11~15
	瓣子较软或较硬	6~10
色泽	瓣子质地很软或很硬	0~5
	红综合/深褐色，有光泽	11~15
	黄棕色，光泽较弱	6~10
体态	土黄色，无光泽	0~5
	瓣子完整，汤汁黏稠适中	8~10
	瓣子较完整，汤汁较稀或较稠	5~7
	瓣子软烂，汤汁很稀或很稠	0~4

#### 1.4 数据处理

采用Excel 2016进行原始数据处理，结果采用“平均值±标准差”表示。用Origin 2021和Galaxy生信分析平台作图，IBM SPSS Statistics 23对数据进行差异分析，显著性水平 $P < 0.05$ ，风味数据按照峰面积归一化法进行定量比较分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 烘瓣子和阴瓣子发酵过程中可培养微生物数量变化

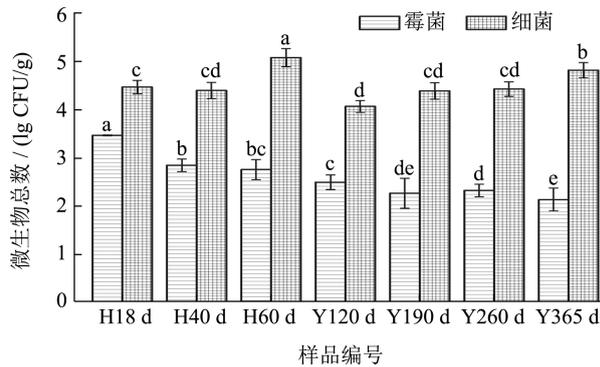


图2 烘瓣子和阴瓣子微生物数量

Fig.2 The number of dried and raw petals microorganisms

注: H和Y分别代表烘瓣子和阴瓣子, 后缀数字代表发酵时间(天); 不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ), 下同。

细菌和霉菌是甜瓣子发酵过程中的重要微生物, 对甜瓣子发酵过程有显著影响。由图2可知, 烘瓣子和阴瓣子发酵过程中细菌、霉菌数量差异显著( $P < 0.05$ ), 其中细菌是两种甜瓣子发酵过程中的主要优势微生物, 与张小凤等<sup>[10]</sup>的研究结果一致。烘瓣子发酵前期霉菌数量较高, 随着发酵的进行, 霉菌数量显著下降, 发酵60 d霉菌数量为2.75 lg CFU/g。主要是因为烘瓣子发酵温度较高, 超过了霉菌的最适生长温度, 影响了霉菌的正常生长代谢, 使霉菌菌落数逐渐下降。阴瓣子属于常温发酵, 体系中微生物在发酵前期竞争较大, 发酵120 d后处于动态平衡, 但由于发酵中后期体系中积累了较多的酸类物质, 影响了霉菌的正常生长代谢, 使得霉菌数量下降<sup>[11]</sup>, 发酵结束时阴瓣子霉菌数量仅为2.13 lg CFU/g。而 *Aspergillus oryzae* 是甜瓣子中的主要霉菌, 其具有高产淀粉酶、蛋白酶等酶系的特性, 对原料的分解和风味物质的生成具有重要作用<sup>[12]</sup>, 霉菌数量的差异可能导致原料利用率有较明显的区别, 进而影响甜瓣子品质。两种甜瓣子中细菌数量较高, 且数量随着发酵的进行有显著增长。烘瓣子中细菌在发酵后期数量较多为5.07 lg CFU/g, 高于阴瓣子4.81 lg CFU/g。研究表明 *B. ginsengihumi*、*W. confusa*、*W. viridescens*、*Anaerovibrio lipolytica* 以及 *Lac. plantarum* 为甜瓣子发酵过程中的优势细

菌, 伴随甜瓣子发酵的整个过程, 且对甜瓣子风味的形成有显著影响<sup>[13]</sup>。由此可见, 烘瓣子和阴瓣子发酵在发酵过程中对霉菌的影响较大, 对细菌的影响较小。由于细菌和霉菌与甜瓣子的风味品质有着密切关系, 而这种差异可能使两种工艺发酵的甜瓣子品质有显著区别。

### 2.2 烘瓣子和阴瓣子发酵过程中总酸和氨基酸态氮含量变化

总酸主要由各种有机酸组成, 是甜瓣子重要的品质指标, 对甜瓣子多种特殊风味的形成具有关键作用<sup>[14]</sup>。由图3a可知, 两种发酵工艺甜瓣子总酸含量差异显著( $P < 0.05$ ), 阴瓣子总酸整体高于烘瓣子。随着发酵时间的延长, 烘瓣子和阴瓣子总酸含量上升显著, 与细菌数量变化趋势一致。发酵后期, 阴瓣子总酸含量为1.81 g/100 g, 显著高于60 d烘瓣子1.48 g/100 g。造成此现象的原因可能是因为烘瓣子发酵温度高, 使其中一部分酸类物质通过生化反应产生酯类等风味物质<sup>[15]</sup>, 而阴瓣子为自然发酵, 在长期的自然发酵过程中积累了更多的有机酸、脂肪酸等酸类物质, 使得总酸含量偏高<sup>[16]</sup>。

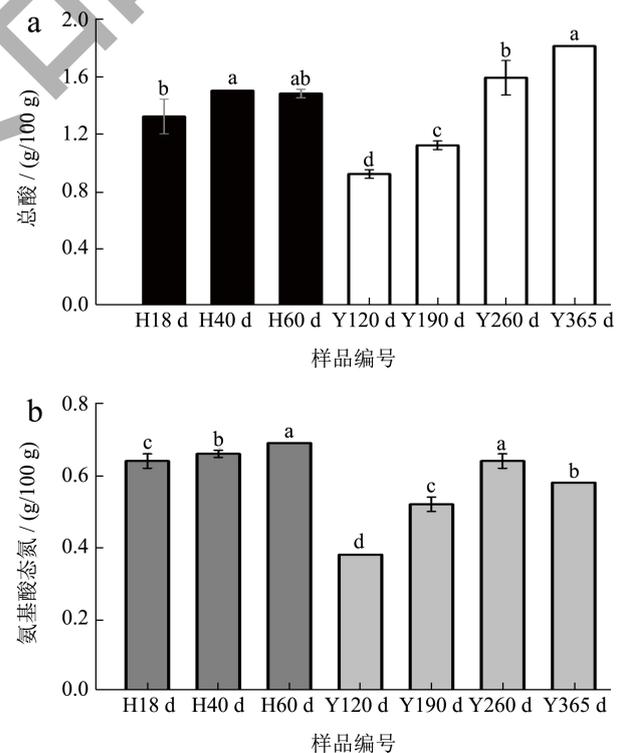


图3 烘瓣子和阴瓣子中总酸(a)和氨基酸态氮(b)  
Fig.3 Total acid (a) and amino acid nitrogen (b) of dried petals and raw petals

表 2 烘瓣子和阴瓣子甜瓣子质构特性

Table 2 Texture characteristics of dried petals and raw petals

样品	全质构实验(TPA)					
	硬度/N	弹性/mm	咀嚼性/mJ	内聚性	胶粘性/N	粘附性/J
烘瓣子 18 d	24.02±3.20 <sup>b</sup>	0.45±0.07 <sup>bcd</sup>	4.30±0.79 <sup>b</sup>	0.31±0.04 <sup>cd</sup>	8.26±1.46 <sup>b</sup>	0.03±0.00 <sup>f</sup>
烘瓣子 40 d	14.43±2.10 <sup>d</sup>	0.48±0.07 <sup>bc</sup>	2.31±0.15 <sup>c</sup>	0.34±0.04 <sup>bc</sup>	4.95±0.43 <sup>d</sup>	0.06±0.01 <sup>e</sup>
烘瓣子 60 d	14.48±2.76 <sup>d</sup>	0.49±0.08 <sup>b</sup>	3.62±0.69 <sup>b</sup>	0.35±0.03 <sup>b</sup>	6.45±0.59 <sup>e</sup>	0.15±0.03 <sup>a</sup>
阴瓣子 120 d	21.76±4.00 <sup>bc</sup>	0.42±0.08 <sup>cd</sup>	1.80±0.18 <sup>c</sup>	0.26±0.04 <sup>c</sup>	4.19±0.63 <sup>d</sup>	0.08±0.02 <sup>bc</sup>
阴瓣子 190 d	18.92±2.81 <sup>c</sup>	0.40±0.02 <sup>d</sup>	2.06±0.23 <sup>c</sup>	0.28±0.01 <sup>e</sup>	4.84±0.56 <sup>d</sup>	0.07±0.01 <sup>de</sup>
阴瓣子 260 d	19.81±2.67 <sup>c</sup>	0.43±0.03 <sup>bcd</sup>	2.28±0.29 <sup>c</sup>	0.27±0.02 <sup>e</sup>	4.30±0.49 <sup>d</sup>	0.07±0.01 <sup>cd</sup>
阴瓣子 365 d	30.69±4.90 <sup>a</sup>	0.62±0.08 <sup>a</sup>	7.57±1.10 <sup>a</sup>	0.40±0.05 <sup>a</sup>	11.36±1.50 <sup>a</sup>	0.09±0.01 <sup>b</sup>

注:表中同列不同上标字母表示差异显著(下同)。

氨基酸态氮是甜瓣子中鲜味物质的重要来源,其含量可直接反应原料中蛋白质的利用情况,是评价甜瓣子品质的重要指标。图 3b 显示,烘瓣子和阴瓣子中氨基酸态氮含量随发酵时间延长而增加,但烘瓣子氨基酸态氮整体高于阴瓣子。烘瓣子氨基酸态氮含量在 60 d 发酵时间内缓慢上升,发酵结束时含量为 0.69 g/100 g,可能在 60 d 的发酵时间内,烘瓣子中霉菌数量较多,可产生更多的蛋白酶,促进了氨基酸态氮的产生<sup>[17]</sup>;阴瓣子在发酵 260 d 时氨基酸态氮含量较高 0.64 g/100 g,但随着发酵时间的延长,氨基酸态氮含量开始下降,发酵结束时含量为 0.58 g/100 g,可能与发酵后期蛋白酶活性下降有关,庞惟俏等<sup>[18]</sup>的研究结果显示蛋白酶活大小与酸度、pH 值存在显著负相关关系,即在发酵前期,甜瓣子中酸度低(或 pH 值较高),对蛋白酶活影响较小,但随着发酵的进行,酸类物质逐渐积累,发酵后期过多的酸已超出蛋白酶最适 pH 值,使蛋白酶的活力受到抑制,导致氨基酸态氮含量出现下降的情况。

### 2.3 烘瓣子和阴瓣子发酵过程中质构特性变化

质构特性不仅作为甜瓣子感官品质的重要指标,同时还反应原料中淀粉、蛋白质等物质的分解情况<sup>[7]</sup>。烘瓣子和阴瓣子质构特性如表 2 所示,两种甜瓣子的质构特性存在显著差异( $P<0.05$ ),烘瓣子和阴瓣子组间的质构特性随发酵时间延长也有明显区别。硬度是反应甜瓣子感官品质的重要特性参数,随着发酵时间延长,烘瓣子硬度逐渐下降,阴瓣子的硬度整体上升,发酵结束时硬度分别为 14.48 N 和 30.69 N,可能是因为高温条件下,加快了烘瓣子的吸水速度,导致瓣子硬度降低,田甜

等<sup>[9]</sup>在豆酱发酵过程中得到的结果相似。两种发酵工艺甜瓣子的弹性、内聚性、胶粘性以及粘附性随发酵时间的延长有明显上升,烘瓣子咀嚼性随时间变化有明显下降,阴瓣子则上升。整体而言,阴瓣子质构特性的各项参数高于烘瓣子,说明烘瓣子高温条件下,瓣子吸水作用加强,加速了蛋白质和淀粉的分解,因此发酵体系中瓣子更软烂。

### 2.4 烘瓣子和阴瓣子发酵过程中色差变化

表 3 烘瓣子和阴瓣子色差

Table 3 Color difference analysis of dried petals and raw petals

样品	L 值	a 值	b 值
烘瓣子 18 d	27.68 ± 2.12 <sup>b</sup>	9.54 ± 1.30 <sup>b</sup>	12.50 ± 1.45 <sup>e</sup>
烘瓣子 40 d	25.00 ± 1.17 <sup>c</sup>	6.50 ± 0.83 <sup>e</sup>	8.74 ± 0.74 <sup>d</sup>
烘瓣子 60 d	22.48 ± 1.00 <sup>c</sup>	5.14 ± 0.54 <sup>e</sup>	8.12 ± 0.63 <sup>d</sup>
阴瓣子 120 d	33.02 ± 1.76 <sup>a</sup>	13.96 ± 0.90 <sup>a</sup>	19.70 ± 0.93 <sup>a</sup>
阴瓣子 190 d	28.06 ± 1.99 <sup>b</sup>	12.94 ± 1.07 <sup>a</sup>	14.52 ± 0.81 <sup>b</sup>
阴瓣子 260 d	24.47 ± 2.50 <sup>c</sup>	8.34 ± 1.74 <sup>b</sup>	9.24 ± 1.79 <sup>d</sup>
阴瓣子 365 d	22.60 ± 1.75 <sup>c</sup>	3.32 ± 0.58 <sup>d</sup>	5.05 ± 0.50 <sup>e</sup>

注: +a\* 为红色方向、-a\* 为绿色方向、+b\* 为黄色方向、-b\* 为蓝色方向。

色泽作为甜瓣子感官评价的重要指标,对甜瓣子品质影响较大。不同发酵工艺甜瓣子色差如表 2 所示,随发酵时间的延长,烘瓣子与阴瓣子的色泽(L 值),反应颜色变化的 a 值和 b 值逐渐下降,两者在发酵后期具有较好的光泽且差异较小( $P<0.05$ )。通过比较 a 值和 b 值发现两种瓣子在发酵后期颜色均偏红黄色,但烘瓣子色泽更加红亮,可能是因为烘瓣子的发酵温度更高,产生美拉德等反应的速率更高,而阴瓣子在低温条件长期发酵,受温度、

空气中氧气、酶等因素的作用下，颜色偏深<sup>[20]</sup>。

## 2.5 烘瓣子和阴瓣子发酵过程中挥发性风味物质变化

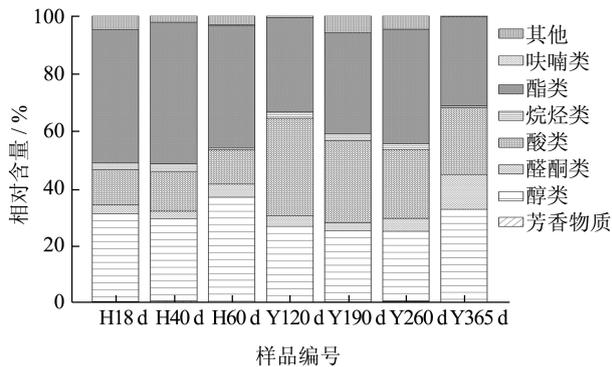


图 4 烘瓣子和阴瓣子挥发性风味物质组成

Fig.4 Composition of volatile flavor substances of dried and raw petals

通过 GC-MS 对烘瓣子和阴瓣子中主要挥发性风味物质进行测定，结果如图 4 和表 4 所示。两种甜瓣子共检出 57 种物质，包括 14 种醇类、5 种酸类、19 种酯类、7 种醛酮类、5 种烷烃、2 种呋喃以及 5 种其他物质，其中酯类、酸类、醛酮类和醇类物质是烘瓣子和阴瓣子的主要挥发性风味化合物。值得注意的是，两种甜瓣子中风味物质的组成虽然相似，但随着发酵的进行，同种风味化合物在两种甜瓣子中的相对含量存在明显差异。发酵结束时，阴瓣子中仅酸类和醛酮类风味物质相对含量高于烘瓣子，相对含量分别为 23.41% 和 12.17%；相比之下，烘瓣子中如醇类、酯类、呋喃等重要风味化合物相对含量均高于阴瓣子，其中烘瓣子中醇类和酯类风味化合物相对含量比阴瓣子分别高 4.24% 和 11.56%。由此说明，阴瓣子发酵有利于酸类和醛酮类风味物质的生成和保留，而烘瓣子发酵工艺对酯类以及醇类物质的生成存在一定的优势。

酯类是甜瓣子中含量和种类较为丰富的组分，赋予甜瓣子独特的酯香，并在一定程度上能抑制部分游离脂肪酸带来的不良气味<sup>[21]</sup>。两种甜瓣子中酯类化合物随着发酵的进行持续积累，烘瓣子中酯类化合物累计速度快于阴瓣子。发酵结束时，烘瓣子中酯类化合物相对含量为 42.64%，是阴瓣子的 1.37 倍。由图 5 可知，2-甲基丁酸乙酯、2-甲基丙酸乙酯、3-甲基丁酸乙酯和乙酸异戊酯在烘瓣子中含量较高，是最主要差异性酯类化合物。图 3 结果显示，烘瓣子中有较高水平总酸含量，而丰富的醇类化合

物则增加了酯化反应的底物浓度，使得烘瓣子中酯类化合物含量高于阴瓣子，与李学伟等<sup>[22]</sup>的研究结果一致。

醇类是两种甜瓣子中含量最丰富的风味成分，具有一定的花香和果香，同时也是酯化反应的重要前体物质，在一定程度上影响着甜瓣子酯香风味物质的生成<sup>[23]</sup>。在烘瓣子发酵过程中，醇类化合物相对含量持续增加，发酵结束时，两种甜瓣子中醇类化合物含量及种类有较大差异。烘瓣子中醇类化合物相对含量为 36.83%，是阴瓣子的 1.13 倍。如图 5 所示，2-甲基丁醇、2,3-丁二醇、3-甲基丁醇、4-甲基丁醇、异丁醇、苯乙醇和乙醇是主要差异性醇类化合物，研究证明乙醇和 2-甲基丁醇是酯化反应中醇类物质的重要来源之一<sup>[23]</sup>。阴瓣子在发酵过程中易收到环境因素的影响，资料显示，阳光中的紫外线对部分产醇酵母菌的生长代谢有一定的抑制作用<sup>[24]</sup>，而阴瓣子采用非加盖自然发酵，经过长期的翻晒，阳光照射可能是导致阴瓣子醇类化合物含量低于烘瓣子的原因之一。

醛酮类化合物中主要以醛类物质为主，其阈值较低，香气浓烈，可通过氧化生成醇类物质，对甜瓣子风味有较大影响<sup>[25]</sup>。整体看来，两种甜瓣子中醛类物质相对含量在发酵过程中整体呈上升趋势。发酵结束时，阴瓣子中醛类物质含量高于烘瓣子，以 3-糠醛、5-甲基糠醛和异戊醛为主，其中糠醛可与苯甲醛相互作用，使甜瓣子的酱香更加浓郁<sup>[23]</sup>；而异戊醛是主要差异性醛类物质，在阴瓣子中相对含量为 7.46%，烘瓣子中未检出。异戊醛呈巧克力和干果味，阈值极低，因此可能对阴瓣子的呈味有较大贡献。

酸类化合物对甜瓣子品质有较大的影响，适宜的酸类物质不仅可协调甜瓣子的整体风味，在一定程度上还可以通过酯化反应促进酯香物质的生成。过量的酸类物质可使甜瓣子产生不愉快的刺激性味道，影响产品质量<sup>[26]</sup>。两种甜瓣子中酸类化合物种类和相对含量随着发酵时间的延长呈下降趋势，发酵结束时，阴瓣子中酸类物质含量明显高于烘瓣子，相对含量为 23.41%。其中乙酸和异戊酸是两种甜瓣子中主要差异性酸类化合物，在烘瓣子和阴瓣子中相对含量分别为 4.31%、6.71% 和 11.36%、11.10%。导致差异的原因可能是长期处于自然发酵条件下，阴瓣子积累的大量具有产酸能力微生物，如乳酸菌、酵母菌等<sup>[27]</sup>，使得阴瓣子中酸类风味物

质种类和含量高于烘瓣子；其次也可能是因为烘瓣子在恒温发酵过程中加快了酯化反应的速率，在短时间内消耗了更多的酸类化合物，使得烘瓣子中酯类化合物含量增加。

呋喃、烷烃和其他风味化合物在两种甜瓣子中相对含量较低，但在一定程度上影响着甜瓣子的风味。如吡嗪，具有较强的香气和挥发性，因其阈值较低，是甜瓣子特征风味的来源之一。整体来看，

烘瓣子中呋喃、烷烃以及吡嗪等风味化合物相对含量高于阴瓣子，说明烘瓣子发酵有利于甜瓣子特征风味的形成。

综上所述，烘瓣子和阴瓣子中挥发性风味物质的含量和组成有明显的差异，烘瓣子挥发性风味种类更丰富，阴瓣子的风味可能更加协调，但有酸类物质积累过量产生的不良气味的风险，因此认为恒温发酵较自然工艺发酵存在一定的优势。

表 4 烘瓣子和阴瓣子的挥发性风味物质

Table 4 Volatile flavor substances of dried and raw petals

序号	分类	保留时间/min	化合物名称	相对含量/%	
				H60	Y365
1		29.812	2,3- 丁二醇	0.58 ± 0.01	5.81 ± 0.12
2		12.72	2- 甲基丁醇	—	17.47 ± 2.14
3		26.853	3- 甲基丁醇	—	2.27 ± 0.21
4		36.895	4- 甲基丁醇	3.58 ± 0.15	—
5		18.087	3- 甲基 -1- 戊醇	0.15 ± 0.01	—
6	醇类	40.514	3- 甲硫基丙醇	0.77 ± 0.11	0.64 ± 0.08
7		17.445	4- 甲基 -1- 戊醇	0.23 ± 0.02	—
8		21.469	5,9 二甲基正癸醇	0.20 ± 0.01	—
9		47.361	苯甲醇	2.21 ± 0.08	1.72 ± 0.10
10		48.5	苯乙醇	4.88 ± 0.15	0.78 ± 0.09
11		30.048	沉香醇	1.34 ± 0.17	0.56 ± 0.01
12		6.43	乙醇	20.53 ± 3.12	—
13		9.147	异丁醇	1.83 ± 0.17	3.34 ± 0.51
14		19.382	正己醇	0.53 ± 0.12	—
15		19.908	1,2- 二甲基 - 环戊 -2- 烯甲酸	0.14 ± 0.01	—
16		8.255	4- 酮庚二酸	0.20 ± 0.03	0.36 ± 0.08
17	酸类	24.558	乙酸	4.31 ± 0.21	11.36 ± 2.51
18		31.199	异丁酸	0.50 ± 0.11	0.58 ± 0.12
19		37.351	异戊酸	6.71 ± 1.13	11.10 ± 2.19
20		47.306	2,2,4- 三甲基 -1,3- 戊二醇二异丁酸酯	0.11 ± 0.06	0.79 ± 0.10
21		6.865	2- 甲基丙酸乙酯	2.26 ± 0.21	0.70 ± 0.04
22		10.08	2- 甲基丁基乙酸酯	—	0.18 ± 0.01
23		8.384	2- 甲基丁酸乙酯	3.18 ± 0.41	2.09 ± 15
24		8.719	3- 甲基丁酸乙酯	5.08 ± 0.87	2.78 ± 0.31
25	酯类	29.937	DL-2- 己酸乙酯	0.23 ± 0.04	—
26		43.907	苯乙酸乙酯	1.26 ± 0.21	0.70 ± 0.07
27		36.892	丙酸糠酯	—	4.12 ± 0.34
28		35.073	丁内酯	—	1.68 ± 0.21
29		8.073	丁酸乙酯	0.32 ± 0.09	—
30		13.79	己酸乙酯	0.90 ± 0.05	—

续表 4

序号	分类	保留时间/min	化合物名称	相对含量/%	
				H60	Y365
31		18.913	乳酸乙酯	0.17 ± 0.01	0.21 ± 0.01
32		12.211	4- 甲基乙酯	0.56 ± 0.12	—
33		23.807	辛酸乙酯	0.32 ± 0.06	—
34	酯类	45.163	乙酸苯乙酯	0.38 ± 0.08	—
35		5.966	乙酸乙酯	2.87 ± 0.18	2.14 ± 0.17
36		12.744	乙酸异戊酯	24.62 ± 4.32	13.91 ± 2.53
37		16.555	异戊酸异戊酯	0.27 ± 0.02	—
38		32.348	正己酸乙烯酯	0.13 ± 0.01	1.78 ± 0.14
39		49.035	2- 苯基巴豆醛	—	0.21 ± 0.01
40		25.406	3- 糠醛	2.58 ± 0.12	3.48 ± 0.21
41		31.653	5- 甲基糠醛	0.69 ± 0.07	0.74 ± 0.04
42	醛酮类	49.039	亚甲基苯乙醛	0.61 ± 0.03	—
43		6.423	异戊醛	—	7.46 ± 0.17
44		14.848	3- 辛酮	0.66 ± 0.03	—
45		17.041	羟基丙酮	—	0.29 ± 0.02
46		23.521	2,6,10- 三甲基十五烷	0.13 ± 0.01	—
47		32.753	二十一烷	0.15 ± 0.02	—
48	烷烃类	26.992	十九烷	0.35 ± 0.01	—
49		26.995	十七烷	—	0.36 ± 0.07
50		21.453	十五烷	—	0.14 ± 0.01
51	呋喃	13.775	2- 正戊基呋喃	0.24 ± 0.03	—
52		46.517	3- 苯基呋喃	0.16 ± 0.01	—
53		9.355	2- 甲基丁腈	0.23 ± 0.01	—
54		10.325	3- 甲基丁腈	1.28 ± 0.05	—
55	其他	48.909	苜基腈	1.28 ± 0.08	0.25 ± 0.01
56		18.535	2,6- 二甲基吡嗪	0.15 ± 0.03	—
57		42.717	甲氧基苯胺	0.14 ± 0.01	—

注：“—”表示未检出。

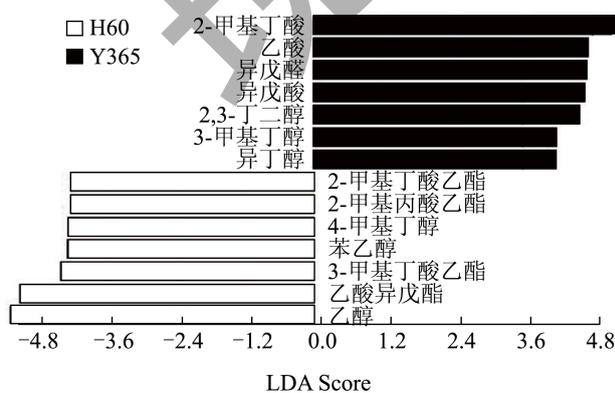


图 5 烘瓣子和阴瓣子的差异性风味物质

Fig.5 Differential flavor substances of dried and raw petals

## 2.6 烘瓣子和阴瓣子感官评分结果

感官评分可直接反应甜瓣子的品质，不同发酵时间烘瓣子和阴瓣子的香气、滋味、质地、色泽以及体态感官评分如表 5 所示。由表可知，不同发酵时间烘瓣子和阴瓣子感官品质差异显著 ( $P < 0.05$ )。整体而言，烘瓣子的感官评分高于阴瓣子。烘瓣子的香气浓郁，滋味醇厚，较阴瓣子更红亮，体态浓稠度适中，瓣粒完整，但因为瓣子在高温环境下吸水明显，导致瓣子较软。而阴瓣子因长期在自然条件下进行发酵，瓣子表面水分散失较大，阴瓣子较烘瓣子更硬更酥脆。同时因长期暴露于自然环境中，在氧化及酶的作用下，阴瓣子较暗淡，缺乏光泽。

表5 烘瓣子和阴瓣子感官评分(分)

Table 5 Sensory scores of dried petals and raw petals

样品编号	香气	滋味	质地	色泽	体态	总计
H18	13.67 ± 0.35 <sup>e</sup>	15.31 ± 1.10 <sup>c</sup>	10.35 ± 0.54 <sup>a</sup>	6.21 ± 0.45 <sup>f</sup>	6.18 ± 0.52 <sup>d</sup>	51.72 ± 1.03 <sup>f</sup>
H40	20.37 ± 0.54 <sup>d</sup>	21.45 ± 0.95 <sup>b</sup>	8.25 ± 0.36 <sup>c</sup>	8.34 ± 0.93 <sup>c</sup>	8.32 ± 0.75 <sup>b</sup>	66.73 ± 0.67 <sup>c</sup>
H60	25.60 ± 1.31 <sup>a</sup>	24.52 ± 1.21 <sup>a</sup>	6.03 ± 0.53 <sup>de</sup>	13.35 ± 0.58 <sup>a</sup>	9.25 ± 0.57 <sup>a</sup>	78.75 ± 0.45 <sup>a</sup>
Y120	16.36 ± 1.32 <sup>f</sup>	10.35 ± 0.53 <sup>f</sup>	9.32 ± 0.35 <sup>b</sup>	11.34 ± 1.01 <sup>b</sup>	5.35 ± 0.23 <sup>c</sup>	52.72 ± 0.72 <sup>c</sup>
Y190	19.21 ± 0.75 <sup>c</sup>	17.12 ± 0.83 <sup>d</sup>	8.25 ± 0.27 <sup>d</sup>	11.45 ± 0.58 <sup>b</sup>	7.15 ± 0.72 <sup>c</sup>	63.18 ± 1.03 <sup>d</sup>
Y260	21.05 ± 1.12 <sup>c</sup>	20.26 ± 1.01 <sup>c</sup>	7.52 ± 0.46 <sup>c</sup>	10.15 ± 0.38 <sup>c</sup>	8.83 ± 0.32 <sup>b</sup>	67.81 ± 0.85 <sup>c</sup>
Y365	24.35 ± 0.98 <sup>b</sup>	24.17 ± 0.85 <sup>ab</sup>	7.21 ± 0.53 <sup>ef</sup>	9.65 ± 0.75 <sup>d</sup>	7.35 ± 0.46 <sup>c</sup>	72.73 ± 0.63 <sup>b</sup>
相对标准偏差/%	20.86	26.86	19.50	23.05	18.89	15.53

### 3 结论

通过对比发现,烘瓣子和阴瓣子品质差异显著( $P < 0.05$ )。受发酵工艺的影响,烘瓣子与阴瓣子中微生物数量差异显著,在发酵后期,烘瓣子中霉菌和细菌数量分别为 2.75 lg CFU/g、5.07 lg CFU/g,均高于阴瓣子。随着发酵的进行,总酸和氨基酸态氮含量较初期均有显著提升,发酵后期,烘瓣子的氨基酸态氮含量(0.69 g/100 g)高于阴瓣子,总酸仅(1.81 g/100 g),显著低于阴瓣子( $P < 0.05$ ),这可能与发酵体系中微生物组成有关。质构特性显示,阴瓣子较硬(30.69 N),而烘瓣子较阴瓣子更软烂(14.48 N)。发酵结束时,两种甜瓣子均具有一定色泽( $L$ 值 $> 20.00$ ),受发酵温度的影响,烘瓣子颜色较阴瓣子更红亮( $a$ 值 $> 5.0$ )。烘瓣子和阴瓣子共检出 57 种挥发性风味化合物,且两种甜瓣子风味化合物组成相似,但随发酵时间的延长,同种挥发性风味化合物相对含量有显著区别,烘瓣子中醇类和酯类化合物含量较高,阴瓣子中酸类和醛酮类化合物含量较高,其中 2-甲基丁醇、乙酸异戊酯、乙醇、乙酸和异戊醛等是造成含量和风味差异的主要风味化合物。感官评分显示,烘瓣子感官评分高于阴瓣子,两者的质地和色泽感官评分差异显著( $P < 0.05$ )。整体而言,烘瓣子的特征风味更明显,具有良好的色泽和体态;阴瓣子的风味相较于烘瓣子较协调,瓣子较酥脆。基于风味品质和发酵周期而言,烘瓣子发酵工艺更适于现代生产。

### 参考文献

- [1] 彭黎,黄钧,黄家全,等.不同品种辣椒发酵豆瓣酱的品质分析[J].中国酿造,2021,40(5):54-58.
- [2] 林洪斌,方佳兴,毕小朋,等.郫县豆瓣甜瓣子发酵阶段

蛋白质组分及降解规律研究[J].食品与发酵工业,2020,46(13):49-54.

- [3] 郭丽平,闫文,戴志远.贻贝豆酱发酵工艺对其挥发性风味物质及抗氧化性的影响[J].中国食品学报,2023,23(2):154-163.
- [4] 于松峰.传统豆瓣辣椒酱发酵过程细菌群落演替及其与风味物质变化的对应分析[D].天津:天津科技大学,2017.
- [5] 蒋予箭,陈敏,张海珍,等.响应面法优化淋浇发酵工艺改进酿造酱油色泽的研究[J].中国食品学报,2010,10(3):113-119.
- [6] 张灵.不同发酵模式下豆瓣酱化学成分和酶活力研究[D].长沙:湖南农业大学,2016.
- [7] 田甜,武俊瑞,岳喜庆.豆酱自然发酵过程中质地变化及相关性分析[J].食品与发酵工业,2014,40(2):27-31.
- [8] 肖龙泉,何苗,江鹏,等.低盐接种发酵对黄豆酱的发酵过程的影响[J].中国调味品,2021,46(10):83-86.
- [9] 李雄波.含盐量对郫县豆瓣甜瓣子发酵过程的影响及其酿造新工艺的研究[D].成都:成都大学,2020.
- [10] 张小凤,胡涛,于松峰,等.甜瓣子发酵过程细菌菌群与发酵过程的对应关系分析[J].食品研究与开发,2021,42(10):159-164.
- [11] 晏丽,张银志,王淼,等.自然发酵黄豆酱生产过程中理化及微生物指标的动态分析[J].食品与生物技术学报,2012,31(3):271-275.
- [12] LI X Y, ZHAO C S, ZHENG C, et al. Characteristics of microbial community and aroma compounds in traditional fermentation of Pixian broad bean paste as compared to industrial fermentation [J]. International Journal of Food Properties, 2018, 20(sup3): S2520-S2531.
- [13] JIA Y, NIU C, XU X, et al. Metabolic potential of microbial community and distribution mechanism of *Staphylococcus* species during broad bean paste fermentation [J]. Food Research International, 2021, 148: 110533.
- [14] 丁祖志.原料预处理工艺对蚕豆酱品质的影响[D].无锡:江南大学,2011.
- [15] 李雄波,邓维琴,李恒,等.分段发酵模式对郫县豆瓣甜瓣

- 子发酵过程中微生物及产品品质的影响[J].食品科学, 2021,42(10):65-72.
- [16] 李维,贾洪锋,邓红.烹饪方式对香肠、腊肉品质的影响[J].四川旅游学院学报,2020,4:16-19.
- [17] 李爱君,王迪,阳刚,等.后发酵温度对不同大豆品种细菌型豆豉氨基酸态氮生成动力学及理化性质的影响[J].食品科学,2023,44(2):195-203.
- [18] 庞惟俏,佐兆杭,孙维,等.工业化生产大豆酱微生物群落发酵演替规律及功能变化特征[J].中国食品学报,2022, 22(4):338-349.
- [19] 田甜,武俊瑞,岳喜庆.豆酱自然发酵过程中质地变化及相关性分析[J].食品与发酵工业,2014,40(2):27-31.
- [20] 赵建新,王淼,毛丙永,等.含盐量和温度对豆酱发酵过程的影响[J].食品科学,2011,32(23):220-224.
- [21] MARA C L N, GALINA L, SCOTT A R. A study of the volatile composition of Minas cheese [J]. LWT-Food Science and Technology, 2005, 38(5): 555-563.
- [22] 李学伟,朱新贵,王婷婷,等.光照对酱油发酵影响初步研究[J].中国酿造,2012,31(11):21-26.
- [23] 曾艳,白艳,余进,等.传统郫县豆瓣和红油郫县豆瓣后发酵过程中风味成分的差异分析[J].食品与发酵工业, 2023,49(19):289-295.
- [24] 孟鸳,乔宇,李冬生,等.光照对甜面酱挥发性成分影响的研究[J].湖北农业科学,2011,50(11):2311-2314.
- [25] ESTRELLA F G, MARIA C, PILAR G, et al. Evolution of the volatile components of ewes raw milk Zamorano cheese. Seasonal variation [J]. International Dairy Journal, 2004, 14(8): 701-711.
- [26] 刘平,王雪梅,向琴,等.郫县豆瓣智能后发酵工艺优化及品质分析[J].食品科学,2020,41(22):166-176.
- [27] 王宗敏.镇江香醋醋酸发酵阶段菌群结构变化与风味物质组成之间的相关性研究[D].无锡:江南大学,2016.