

## 酵母抽提物添加时间对酱油风味的影响

曲艾钰<sup>1</sup>, 张彦民<sup>2</sup>, 王菲<sup>2</sup>, 李沛<sup>3</sup>, 吴关威<sup>3</sup>, 赵国忠<sup>1\*</sup>

(1.天津科技大学 省部共建食品营养与安全国家重点实验室,天津 300457; 2.山东巧媳妇食品集团有限公司,山东 淄博 255400;  
3.安琪酵母股份有限公司,湖北 宜昌 443000)

**摘要:** 该研究采用电子鼻技术和气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)对未添加酵母抽提物(YE)酿造酱油(编号为YE0),发酵前期(入缸)、中期(发酵30 d)和后期(发酵60 d)添加YE酿造的酱油(编号为YE1、YE2和YE3)中的挥发性香气成分进行分析。结果显示,四种样品通过GC-MS共检测到49种挥发性风味化合物, YE1中酯类、醛类、醇类和酮类的含量最高,这些物质有利于丰富酱油中的麦芽香、焦糖香、花香和果香,可使酱油风味更加饱满和谐,其中,3-甲硫基丙醛、5-乙基-4-羟基-2-甲基-3(2H)-呋喃酮(HEMF)是酱油典型香气的主要贡献物;随着中、后期添加YE,酯类、醛类、醇类和酮类物质含量呈现下降趋势。主成分分析(PCA)结果表明,与在酱油发酵前期添加YE相比,在发酵中期和后期添加YE对酱油的风味影响不明显。

**关键词:** 酵母抽提物; 风味; 酱油; 香气活力值

中图分类号: TS264.2

文章编号: 0254-5071(2022)03-0146-06

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2022.03.025

引文格式: 曲艾钰,张彦民,王菲,等. 酵母抽提物添加时间对酱油风味的影响[J]. 中国酿造,2022,41(3):146-151.

## Effect of addition time of yeast extract on soy sauce flavor

QU Aiyu<sup>1</sup>, ZHANG Yanmin<sup>2</sup>, WANG Fei<sup>2</sup>, LI Pei<sup>3</sup>, WU Guanwei<sup>3</sup>, ZHAO Guozhong<sup>1\*</sup>

(1.State Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;

2.Shandong Qiaoxifu Food Group Co., Ltd., Zibo 255400, China; 3.Angel Yeast Co., Ltd., Yichang 443000, China)

**Abstract:** In this study, the aroma components of soy sauces without yeast extract (YE) addition (YE0) and with yeast extract addition in the early fermentation stage (in cylinder) (YE1), middle fermentation stage (30 d) (YE2) and late fermentation stage (60 d) (YE3) were analyzed by electronic nose technology and GC-MS. The results showed that a total of 49 volatile flavor compounds were detected by GC-MS in the four samples. The content of esters, aldehydes, alcohols and ketones were the highest in YE1, these compounds were beneficial to enrich the malt, caramel, floral and fruity aromas of soy sauce, making the soy sauce flavor more full and harmonious, among them, 3-methyl thiopropionaldehyde and 5-ethyl-4-hydroxy-2-methyl-3(2H)-furanone (HEMF) were the main contributors to the typical aroma of soy sauce. With the yeast extract addition in the middle and late fermentation stages, the content of esters, aldehydes, alcohols and ketones showed a downward trend. The results of principal component analysis (PCA) showed that, compared with yeast extract addition in the early fermentation stage of soy sauce, yeast extract addition in the middle and late fermentation stages had no obvious effect on the soy sauce flavor.

**Key words:** yeast extract; flavor; soy sauce; odor activity value

酱油是传统的发酵大豆制品,因其特有的风味和鲜味而被世界公认为不可或缺的调味品<sup>[1]</sup>。酱油发酵主要分为两步:曲发酵和酱醪发酵。曲发酵主要由曲霉发酵为主,而酱醪发酵过程中,复杂的微生物群落对于关键的挥发性化合物、氨基酸、肽和糖类的生成非常必要<sup>[2]</sup>。酵母抽提物(yeast extract, YE)是以含丰富蛋白质的食用酵母为原料,经细胞自溶、分离、蒸发、干燥等技术,将酵母细胞内的蛋白质、核酸等大分子物质进行降解而成的酵母产品<sup>[3]</sup>。YE作为功能性营养品,富含蛋白质和多肽、核苷酸、维生素B、维生素E、矿物质、游离氨基酸<sup>[4]</sup>,这些物质对促进菌群生长并促进风味形成有重要作用。随着人们对美好生活的

追求, YE在食品中的应用越来越广泛,如水产品<sup>[5]</sup>、饮料<sup>[6]</sup>、酱油<sup>[7]</sup>等,但关于YE在酱油发酵阶段添加时间的优化研究鲜有报道。

众所周知,挥发性香气化合物和增味物质有助于酱油风味的形成<sup>[8]</sup>。这种现象归因于一个事实,即酱油的质量在很大程度上取决于微生物的贡献<sup>[9]</sup>。YE在酱油中的应用,不仅取决于YE自身对酱油风味的贡献,更能够通过提供微生物所需的营养物质促进酱油风味的形成。该研究以不添加YE为对照组(YE0),以发酵前期、中期和后期添加YE为实验组(YE1、YE2和YE3),通过感官评价、电子鼻技术和顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(headspace-

收稿日期:2021-09-28

修回日期:2021-11-13

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31972194)

作者简介:曲艾钰(1997-),女,硕士研究生,研究方向为食品微生物学与食品风味组学。

\*通讯作者:赵国忠(1983-),男,副教授,博士,研究方向为食品微生物学。

solid phase microextraction-gas chromatography mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)分析四种酱油样品的感官属性并对挥发性香气物质进行定性定量分析,探究YE添加时间对酱油风味的影响,为高价值改良品质酱油的工业化生产提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 材料

酱醪样品(黄豆和小麦3:1):采自致美斋食品有限公司;酵母抽提物(蛋白质:47.0 g/100 g;碳水化合物:16.9 g/100 g):安琪酵母股份有限公司。

#### 1.1.2 试剂

苯乙醇、3-甲基丁醛、2-甲基丁酸乙酯、4-乙基愈创木酚、5-乙基-4-羟基-2-甲基-3(2H)-呋喃酮(5-ethyl-4-hydroxy-2-methyl-3(2h)-furanone, HEMF)、2,6-二甲基吡嗪、乙酸、乙醇(均为分析纯):西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司;2-辛醇(纯度99%):上海迈瑞尔化学技术有限公司;C<sub>7</sub>~C<sub>40</sub>正构烷烃(色谱纯):美国AccuStandard公司。

#### 1.2 仪器与设备

ME204/02电子分析天平:梅特勒-托利多仪器有限公司;Allegra Ta25R型高速离心机:美国BeckMan公司;PEN3型便携式电子鼻传感器:德国Airsense公司;QP2010 Ultra型气相色谱-质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS):日本岛津公司;50/30 μm fused silica (DVB/CAR/PDMS)固相微萃取头:美国Supelco公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 酱油的制备工艺流程与操作要点

黄豆和小麦→润湿→蒸煮→冷却→接种→通风制曲<sup>三次翻曲</sup>→成曲拌盐→入罐发酵<sup>三个月</sup>→成熟酱醪浸提→生酱油

将黄豆和小麦按质量比3:1混合,并在121℃下灭菌20 min。冷却至室温后,将3.0%的米曲霉均匀接种到冷却至室温的原料中。在30℃条件下堆积培养,待曲表面变为白色进行第一次翻曲。然后继续培养,直到表面变黄进行第二次翻曲。待颜色变为绿色时停止培养。随后加入18%盐水进行酱醪发酵。在酱醪发酵初期温度从15℃升高到30℃(每天升温1℃),之后在30℃条件发酵75 d,再经浸提得到生酱油。

#### 1.3.2 酵母抽提物添加时间的考察

以成曲加入盐水入罐24 h后开始计为0天,发酵第30天添加1%的YE为YE2,发酵第60天添加1%的YE为YE3。每天定时进行一次通气搅拌。经前期预实验结果表明,添加1%的YE效果较好,因此本研究将继续探究YE添加时间对酱油发酵的影响。YE添加比例及添加时间见表1。

表1 酵母抽提物的添加时间试验设计  
Table 1 Design of addition time of yeast extract

样品名称	样品编号	YE添加比例/%	添加时间/d
对照组样品	YE0	0	-
样品1	YE1	1	0
样品2	YE2	1	30
样品3	YE3	1	60

#### 1.3.3 感官评价方法

采用定量描述分析(quantitative describe analysis, QDA)评估酱油样品的香气特征<sup>[1]</sup>。从天津科技大学食品科学与工程学院招募了10名训练有素的小组成员(5男5女,年龄23~30岁)。每位小组成员在使用QDA评估酱油风味方面都有超过150 h的感官体验。小组成员最终选择了七个感官属性以及如下香气作参考:焦糖香(HEMF),果香(2-甲基丁酸乙酯),花香(苯乙醇),麦芽香(3-甲基丁醛),烟熏香(4-乙基苯酚),酸味(乙酸),醇香(乙醇),此外,还增加整体风味的评估,作为对酱油品质的综合评价。

感官评价在一个密闭无异味的房间进行,将30 g未经稀释的酱油样品放置在一个100 mL不透明的塑料杯中,采用编号盲评的方法,于25℃提供给感官小组成员。小组成员以0-9的等级(0:无强度,1:极弱,2:很弱,3:较弱,4:稍弱,5:强,6:稍强,7:较强,8:很强,9:极强)对四款酱油的七种感官属性进行评分。每个样品一式三份进行,所得数据为平均值±标准偏差。将得到的六维香气轮廓绘制成雷达图。

#### 1.3.4 电子鼻检测

PEN3电子鼻由10个金属氧化物气体传感器组成,包括W1C(苯和芳香化合物)、W5S(氮氧化物)、W3C(氨和芳香化合物)、W6S(氢化合物)、W5C(短链烷烃芳香成分)、W1S(甲基类)、W1W(含硫化合物)、W2S(醇、醛和酮)、W2W(芳香族化合物和有机硫化物)和W3S(长链烷烃)。

取5 mL酱醪置于15 mL顶空瓶中,在(80±2)℃水浴30 min后进行电子鼻测定。其中,电子鼻的参数设定为:检测时间110 s,清洗时间60 s,进样间隔时间60 s,载气流速200 mL/min,进样流量200 mL/min。

#### 1.3.5 挥发性成分分析

酱油中的挥发性成分采用HS-SPME-GC-MS法测定,取3 mL样品于15 mL顶空瓶中,加入30.7 μL 2-辛醇(20 mg/L,基体溶液为甲醇)作为内标,于60℃、600 r/min条件下平衡20 min。在相同的温度和转速,插入经老化的50/30 μm DVB/CAR/PMDS萃取头顶空吸附30 min。吸附结束后,将萃取头插入气相色谱仪(gas chromatography, GC)进样口,于250℃解吸5 min。

根据之前的研究设置GC-MS条件<sup>[1]</sup>,升温程序如下:40℃下保持5 min,3℃/min升温至250℃后保持5 min,分

流比为20:1。MS条件如下:离子源为电子电离(electronic ionization, EI)源,电子能量70 eV,离子源温度220 °C;扫描模式为全扫描。分析得到的图谱与美国国家标准技术研究所(national institute of standards and technology, NIST11)进行对比,选取相似度≥80%的物质,与正构烷烃(C<sub>7</sub>~C<sub>20</sub>)在相同条件下进行GC-MS分析,计算保留指数(retention index, RI)。

样品气味活性值(odor activity value, OAV)是利用单个风味物质的溶解度与其水中的阈值的比值计算得出<sup>[4]</sup>。OAV≥1的物质被认为是能够被人感知的风味物质。

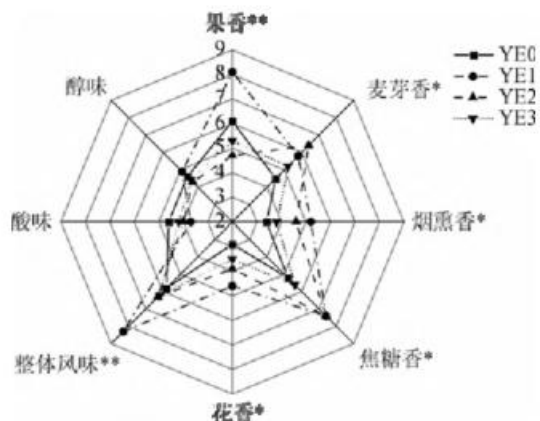
### 1.3.6 数据处理

每个样品重复三次实验,并取平均值用于分析统计,使用Origin 2021作主成分分析(principal component analysis, PCA)并绘制图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 感官分析结果

为了对四种酱油YE0、YE1、YE2和YE3的香气特征差异进行评价,进行了定量描述分析(QDA),用六项感官属性描述种酱油的香气特征,包括焦糖香、果香、花香、麦芽香和烟熏香,使用方差分析区分感官得分的差异,绘制感官评分雷达图结果见图1。



\*\*表示差异显著(P<0.05);\*\*\*表示差异极显著(P<0.01)。

图1 四款酱油样品的感官评分雷达图

Fig. 1 Sensory score radar chart of four soy sauce samples

如图1所示,酱油之间六项感官属性强度存在显著差异(P<0.05)。YE1的特点是整体风味最强烈,其中,焦糖香、烟熏香、花香、果香较为突出,酸味较弱。从整体风味看,除YE1以外,其余三种样品整体风味相差较小。

### 2.2 电子鼻分析结果

与感官分析相比,电子鼻分析更准确、更客观,效率更高<sup>[4]</sup>。四种酱油样品的电子鼻传感器响应雷达图结果见图2。

由图2可知,与YE0、YE2和YE3相比, YE1在W2S(10.60)

具有更高的响应值,而W2S传感器对醛、醇、酮敏感。结果表明,醇类、醛类和酮类可能对YE1的香气贡献很大,与YE2和YE3相比,在酱油发酵前期添加YE对酱油整体风味影响较明显。

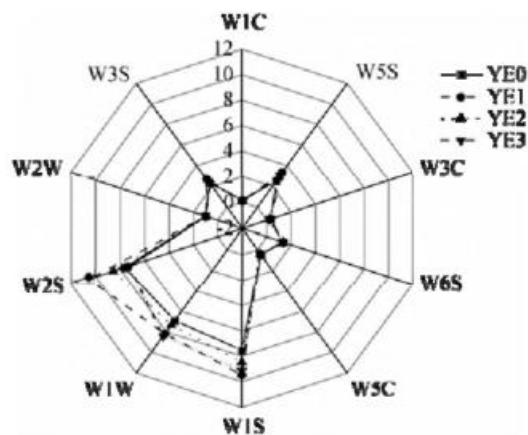


图2 四种酱油样品的电子鼻传感器响应雷达图

Fig. 2 Radar chart of electronic nose sensors response of four kinds of soy sauce samples

### 2.3 不同酱油样品的挥发性风味成分分析

通过HS-SPME-GC-MS定性定量分析研究四种酱油中的挥发性风味化合物,四种酱油样品风味物质种类及各物质总含量测定结果见图3。

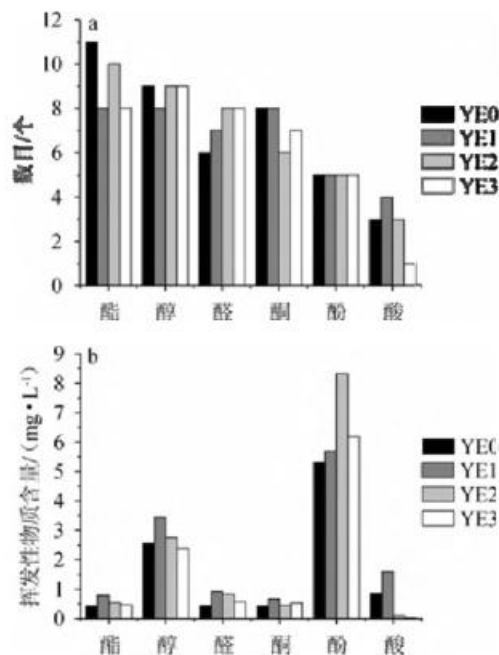


图3 四种酱油样品风味物质种类(a)及各类物质总含量(b)比较

Fig. 3 Comparison of flavor substances types (a) and total content of each category substance (b) in four kinds of soy sauce samples

由图3a可知,共检测到49种挥发性风味化合物,分别为13种酯类、10种醇类、9种酮类、8种醛类、5种酚类和4种

酸类,其中,样品YE0、YE1、YE2和YE3分别含有42种、40种、41种和38种化合物。由图3b可知,与对照组相比,实验组中的酯类、醛类、酮类和酚类物质有明显的提升。可能是由于外源添加YE,为酱油体系中的微生物生长提供了足够的营养源,促进微生物对原料的分解利用,从而有利于酯类、醛类、酮类和酚类的生成,丰富了酱油中烟熏香、焦糖香、麦芽香、果香和花香,使酱油香气更加饱满和谐,这与图2的感官评价结果一致。发酵食品中的酯类物质通常由发酵期间微生物代谢作用及醇类和有机酸的酯化反应生成<sup>[4]</sup>。醛类物质主要有脂质降解或不饱和酸氧化生成<sup>[5]</sup>。虽然酯类和醛类物质的含量低,但由于其较低的阈值,是酱油中的重要风味物质,主要呈现果香、花香和焦糖香<sup>[6]</sup>。发酵前期添加YE发现, YE1中酯类、醛类、醇类和酮类的含量最高,这些物质有利于丰富酱油中的麦芽香、焦糖香、花香和果香,整体风味有进一步的提升。随着中、后期添加YE,酯类、醛类、醇类和酮类浓度呈现下降趋势。造成这种现象的原因可能是YE可作为酱油发酵过程中微生物生长代谢的底物被利用,并被分解成小分子的挥发性物质,与中后期添加YE相比,前期添加YE其分解彻底,因此YE1中酯类、醛类、醇类和酮类的含量最高,风味更加饱满和谐。

#### 2.4 四款酱油样品的风味物质聚类分析

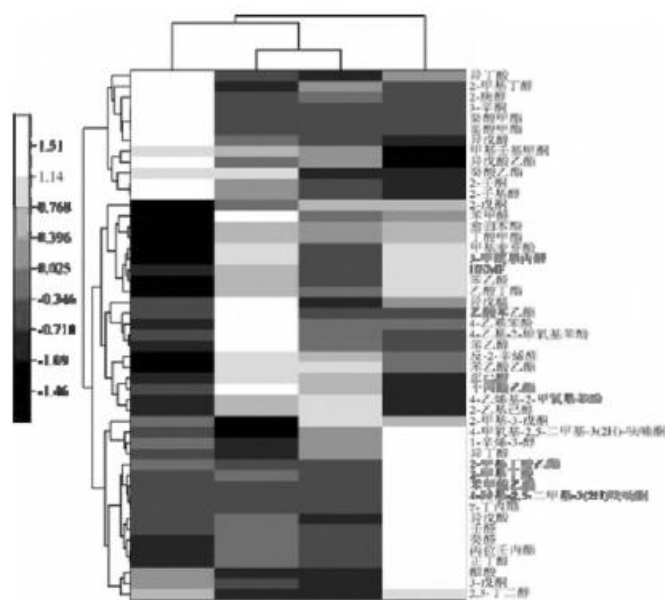


图4 四种酱油样品的风味物质聚类分析热图

Fig. 4 Clustered heatmap of flavor substances in four kinds of soy sauce samples

热图描述了四种酱油中已识别的挥发性化合物的整体情况,结果见图4。由图4可知,颜色强度归一化范围从最大值1.50(白色)到最小值-1.47(黑色)。聚类结果显示,四种酱油主要分为3簇, YE2和YE3归为一组,另外两组分别由

YE0和YE1组成。49种挥发性化合物基于热图被分为三组。第一组涵盖了部分酯类、醇类和酮类等12种物质,主要与果香和麦芽香有关,其中异戊酸乙酯和异戊醛呈现出更高的浓度。第二组涵盖了所有酚类、大部分醛类以及部分酯类和醇类等20种物质,主要贡献烟熏香、果香和花香, YE2和YE3中酚类物质的浓度较高,而YE0和YE1中酚类物质的浓度较低。酚类物质是酱油中的次要成分,有助于维持食品颜色、味道和保质期的稳定性<sup>[7]</sup>。第三组涵盖了部分酯类、醇类、醛类、酮类和酸类等17种物质,主要贡献果味、焦糖香和酸味,与另外三组相比, YE1中1-辛烯-3-醇,丙位壬内酯,异戊酸乙酯,2-甲基丁酸乙酯,癸醛,壬醛和异戊醛的含量最为突出。

#### 2.5 挥发性风味物质的香气活力值分析

挥发性香气化合物对酱油的贡献不仅取决于浓度,还取决于它们的气味阈值。为了进一步评估挥发性香气化合物对酱油整体香气的贡献,对其OAV进行计算,结果见表2。由表2可知,在GC-MS分析鉴定的49种挥发性香气化合物中,4款酱油样品中分别有23、22、25和24种化合物的含量超过了它们的气味阈值,即它们的OAV $\geq 1$ ,这些化合物被认为对酱油香气做出贡献。四种样品挥发性香气化合物的总OAV表现出显著差异。

表2 四种酱油样品中风味物质的香气活力值  
Table 2 Odor activity value of flavor substances in four kinds of soy sauce samples

序号	化合物	气味特征	阈值/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	OAV			
				空白	YE1	YE2	YE3
1	丙位壬内酯	果香	0.009 7	2.0	11.9	5.1	3.2
2	异戊酸乙酯	果香	0.000 01	2 636.4	2 786.4	1 362.0	1 506.3
3	癸酸乙酯	果香	0.005	1.9	-	1.9	-
4	乙酸丁酯	果香	0.058	2.1	2.5	2.4	2.3
5	丁酸甲酯	果香	0.059	2.2	3.0	3.1	2.8
6	2-甲基丁酸乙酯	果香	0.000 007	9 244.8	27 426.5	3 361.3	4 258.6
7	苯甲酸乙酯	果香、花香	0.055 56	-	1.9	-	-
8	苯乙醛	花香	0.006 3	34.9	73.0	67.1	45.2
9	3-甲基丙醛	焦糖香	0.000 45	39.6	71.8	72.4	48.0
10	癸醛	果香	0.003	3.2	38.8	16.2	11.7
11	壬醛	果香	0.001 1	64.6	127.7	83.5	63.8
12	异戊醛	麦芽香	0.001 1	75.8	93.0	110.6	68.0
13	正己醛	油脂味	0.005	-	-	2.6	1.9
14	反-2-辛烯醛	坚果	0.003	-	2.9	4.7	3.9
15	2-壬基醇	果香	0.058	4.1	1.4	2.9	1.7
16	正丁醇	果香	0.459 2	3.4	5.7	4.1	3.7
17	异戊醇	麦芽香	0.004	39.3	30.4	33.0	31.9
18	2-甲基丁醇	麦芽香	0.015 9	2.2	1.7	1.6	1.9
19	1-辛烯-3-醇	蘑菇	0.001 5	40.6	48.0	37.2	42.3
20	2-甲基-3-戊酮	薄荷	0.04	1.8	2.0	1.6	2.0
21	2-壬酮	青草	0.041	2.7	-	1.9	1.1

序号	化合物	气味特征	阈值/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	OAV			
				空白	YE1	YE2	YE3
22	3-戊酮	乙醚	0.04	2.0	2.3	1.6	1.5
23	甲基壬基甲酮	果香	0.005 5	5.5	2.6	4.9	4.4
24	HEMF	焦糖香	0.001 15	38.1	89.3	83.6	49.0
25	4-乙基苯酚	烟熏香	0.021	58.9	71.0	106.2	73.4
26	4-乙基-2-甲氧基苯酚	烟熏香	0.089 25	44.6	45.1	66.0	50.3
27	4-乙基-2-甲氧基苯酚	烟熏香	0.012 02	2.2	1.9	4.1	4.8
28	愈创木酚	烟熏香	0.000 48	110.1	156.5	157.3	145.1

注：“-”表示未检出或OAV<1。

焦糖香和烟熏香是构成酱油整体风味的关键。OAV计算结果显示, YE1中焦糖香和烟熏香的总OAV分别是YE0的1.3、2.1倍。3-甲硫基丙醛(焦糖香, OAV 39.6~72.4)、HEMF(焦糖香, OAV 38.1~89.3)、愈创木酚(烟熏香, OAV 110.1~157.3)在酱油中仅以微量存在, 但由于其较低的气味阈值, 被认为是酱油主要的香气贡献物者。醛类来源于相应氨基酸通过Ehrlich途径的降解, 对食物的气味有很强影响<sup>[4]</sup>。3-甲硫基丙醛是四种酱油样品中关键的焦糖味化合物, 其来源于甲硫氨酸<sup>[5]</sup>, 其中YE1和YE2的3-甲硫基丙醛的OAV最高。HEMF是由酵母菌(鲁氏接合酵母和假丝酵母)通过磷酸戊糖途径或基于戊糖的美拉德反应生成的<sup>[20]</sup>, YE1中HEMF的OAV值达到89.3, 可能是前期添加YE能够促进鲁氏接合酵母和假丝酵母的生长, 进而促进HEMF的生成。作为酱油中典型烟熏香气味的愈创木酚, 在YE1中也观察到了较高的OAV值。

果香和花香用以辅助提升酱油风味, 使酱油香气更加饱满和谐。YE1中的果香化合物的OAV是YE0的2.5倍, 而YE2、YE3中的果香化合物的OAV比YE0低59.5%、59.1%, “花香”的总OAV是YE0的2.1倍。由表2可知, 异戊酸乙酯(果香, OAV 1 506.3~2 636.4)、2-甲基丁酸乙酯(果香, OAV 3 361.3~27 426.5)、苯乙醛(花香, OAV 34.9~73.0)是四款酱油中关键的挥发性风味物质。异戊酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯和壬醛被认为是典型的果香类物质。YE1中异戊酸乙酯的OAV最高, 可能前期添加YE为酵母生长提供足够的营养源, 延长了酵母发酵阶段<sup>[21]</sup>, YE2和YE3中异戊酸乙酯的OAV较低, 后期添加YE可能不利于酵母发酵。2-甲基丁酸乙酯被认为是黑豆酱油的关键风味物质<sup>[22]</sup>, 主要来源于酱油长时间发酵过程中, 乙醇和2-甲基丁酸发生酯化反应。乙醇和醋酸是酵母菌和乳酸菌的代谢产物<sup>[23]</sup>, 2-甲基丁酸主要由支链氨基酸(异亮氨酸和亮氨酸)在发酵过程中通过微生物的酶促作用产生<sup>[24]</sup>, 观察到YE1中2-甲基丁酸乙酯的OAV最高, 分别是YE0、YE1、YE3的3.0、8.1、6.4倍。

苯乙醛被认为是中国传统酱油中典型的挥发性化合物, 在酱油中提供花香, 主要通过酵母细胞的Ehrlich途径<sup>[25]</sup>, 观察到YE1中的苯乙醛的含量最高。综上所述, 除YE自身能够为酱油提供风味外, 在酱油发酵前期添加YE, 更能很好地促进酱油体系中酵母菌的生长代谢, 促进酱油综合风味的形成。

### 2.6 主成分分析

为了深入了解四种酱油之间的差异, 使用多变量分析方法进行探究。对所有酱油样品中检测到的28种关键挥发性化合物(OAV≥1)进行了PCA分析, 结果见图5。由图5可知, 两个主成分PC1和PC2解释了总方差的99.9% (分别为97.7%和2.2%)。YE0、YE2和YE3没有被分开, 表明与在酱油前期添加YE相比, 在发酵中期和后期添加YE对酱油的风味影响不明显。

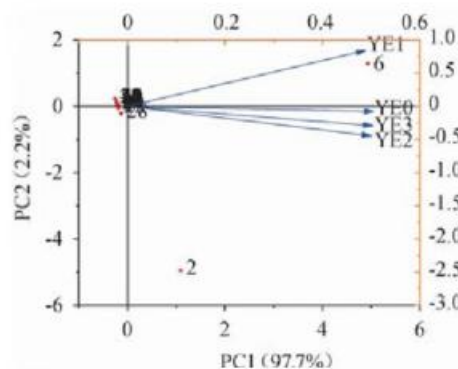


图5 四种酱油样品中OAV>1的关键风味物质主成分分析结果  
Fig. 5 Principal component analysis results of key flavor substances OAV>1 in four soy sauce samples

### 3 结论

该研究采用电子鼻技术和气相色谱质谱联用技术(GC-MS)对未添加酵母抽提物(YE0), 发酵前期、中期和后期添加YE酿造的酱油(YE1、YE2和YE3)中的挥发性香气成分进行分析。QDA结果显示, YE1的整体风味得分最高。与未添加YE酱油相比, 添加YE的三种酱油中的酯类、醛类、酮类和酚类物质有明显的提升。随着中、后期添加YE, 酯类、醛类、醇类和酮类浓度呈现下降趋势。热图和主成分分析结果显示, 与未添加YE酱油, 中、后期添加YE对提升酱油风味影响较小。在酱油前期添加YE, 能够很好地促进酱油体系中酵母菌的生长代谢, 促进酱油综合风味的形成。结果表明, 发酵前期添加YE可增强酱油麦芽香、焦糖香、花香和果香的风味特点, 使酱油香气更佳丰富醇厚。

### 参考文献:

[1] WANG S, LIU B Y, XU L, et al. Application of compressed sensing for selecting relevant variables for a model to predict the quality of Japanese fermented soy sauce[J]. Innovat Food Sci Emerg Technol, 2020, 59:

- 102241.
- [2] LUH B S. Industrial production of soy sauce[J]. *J Ind Microbiol*, 1995, 14(6): 467-471.
- [3] 李凡, 许琦, 熊建, 等. 响应面优化设计饮料专用酵母抽提物多糖提取工艺[J]. *食品科技*, 2020, 45(4): 164-168.
- [4] ZHENG L, XIE S W, ZHUANG Z X, et al. Effects of yeast and yeast extract on growth performance, antioxidant ability and intestinal microbiota of juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)[J]. *Aquaculture*, 2021, 530: 735941.
- [5] 翟营营, 黄晶晶, 张慧敏, 等. 酵母抽提物主要滋味成分分析及其对鱼糜制品风味的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2019, 38(5): 105-113.
- [6] 许琦, 刘向军, 沈硕, 等. 酵母抽提物在功能饮料中应用的可行性分析[J]. *饮料工业*, 2020, 23(3): 75-77.
- [7] 李沛, 李库, 任达洪, 等. 酵母抽提物协助酱油减盐后对其风味物质的影响研究[J]. *中国酿造*, 2019, 38(12): 92-98.
- [8] ZHANG L J, ZHANG L, XU Y. Effects of *Tetragenococcus halophilus* and *Candida versatilis* on the production of aroma-active and umami-taste compounds during soy sauce fermentation[J]. *J Sci Food Agr*, 2020, 100(6): 102662.
- [9] HARADA R, YUZUKI M, ITO K, et al. Microbe participation in aroma production during soy sauce fermentation[J]. *J Biosci Bioeng*, 2018, 125(6): 688-694.
- [10] ZHU J C, WANG L Y, XIAO Z B, et al. Characterization of the key aroma compounds in mulberry fruits by application of gas chromatography-olfactometry (GC-O), odor activity value (OAV), gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and flame photometric detection (FPD)[J]. *Food Chem*, 2018, 245: 775-785.
- [11] ZHAO G Z, LIU C, LI S, et al. Exploring the flavor formation mechanism under osmotic conditions during soy sauce fermentation in *Aspergillus oryzae* by proteomic analysis[J]. *Food Funct*, 2020, 11(1): 640-648.
- [12] ZHANG L, HU Y Y, WANG Y, et al. Evaluation of the flavour properties of cooked chicken drumsticks as affected by sugar smoking times using an electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME/GC-MS[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2021, 140: 110764.
- [13] ZHU J C, CHEN F, WANG L Y, et al. Evaluation of the synergism among volatile compounds in Oolong tea infusion by odour threshold with sensory analysis and E-nose[J]. *Food Chem*, 2017, 221: 1484-1490.
- [14] 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 Sci Biotechnol*, 2010, 19(4): 889-898.
- [15] FAN X J, LIU G F, QIAO Y L, et al. Characterization of volatile compounds by SPME-GC-MS during the ripening of kedong sufu, a typical Chinese traditional bacteria-fermented soybean product[J]. *J Food Sci*, 2019, 84(9): 2441-2448.
- [16] GIRI A, OSAKO K, OHSHIMA T. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing[J]. *Food Chem*, 2009, 120(2): 621-631.
- [17] LIU X Y, QIAN M, SHEN Y X, et al. An high-throughput sequencing approach to the preliminary analysis of bacterial communities associated with changes in amino acid nitrogen, organic acid and reducing sugar contents during soy sauce fermentation[J]. *Food Chem*, 2021, 349: 129131.
- [18] BART A S, WIM J M E, GERRIT S. Branched chain aldehydes: production and breakdown pathways and relevance for flavour in foods[J]. *Appl Microbiol Biotech*, 2009, 81(6): 987-999.
- [19] KWANG S L, YANG B L, DONG S L, et al. Quality evaluation of Korean soy sauce fermented in Korean earthenware (Onggi) with different glazes[J]. *Int J Food Sci Technol*, 2006, 41(10): 1158-1163.
- [20] BLANK I, FAY L B. Formation of 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone and 4-hydroxy-2(or 5)-ethyl-5 or (2)-methyl-3(2H)-furanone through maillard reaction based on pentose sugars[J]. *J Agr Food Chem*, 1996, 44(2): 531-536.
- [21] OHATA M, KOHAMA K, MORIMITSU Y, et al. The formation mechanism by yeast of 4-hydroxy-2(or 5)-ethyl-5(or 2)-methyl-3(2H)-furanone in Miso[J]. *Biosci Biotechn Biochem*, 2007, 71(2): 407-413.
- [22] FENG Y Z, CUI C, ZHAO H F, et al. Effect of koji fermentation on generation of volatile compounds in soy sauce production[J]. *Int J Food Sci Technol*, 2013, 48(3): 609-619.
- [23] GAO X L, FENG T, SHENG M J, et al. Characterization of the aroma-active compounds in black soybean sauce, a distinctive soy sauce[J]. *Food Chem*, 2021, 364(298): 130334.
- [24] CHUNG H Y, FUNG P K, KIM J S. Aroma impact components in commercial plain sufu[J]. *J Agr Food Chem*, 2005, 53(5): 1684-1691.
- [25] ZHAO G Z, DING L L, HADIATULLAH H, et al. Characterization of the typical fragrant compounds in traditional Chinese-type soy sauce[J]. *Food Chem*, 2020, 312: 126054.