

# 酱油的罐式与池式发酵过程中关键呈味物质对比分析

黄留瑶<sup>1</sup>, 林礼钊<sup>2</sup>, 吴惠贞<sup>2</sup>, 苏国万<sup>1</sup>, 林伟锋<sup>1\*</sup>

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)(2. 鹤山市东古调味食品有限公司, 广东江门 529738)

**摘要:** 从发酵罐和发酵池中选取发酵过程中的酱油进行中性蛋白酶活力、氨基酸态氮含量、游离氨基酸含量、pH值、总酸含量、有机酸含量、还原糖含量、淀粉酶活力和食盐含量的检测与分析。结果表明: 池式发酵酱油的中性蛋白酶活力、氨基酸态氮含量、氨基酸总量、有机酸总量、淀粉酶活力、还原糖含量、总酸含量和pH值都高于罐式发酵酱油; 食盐含量则是罐式酱油更多; 其中鲜味氨基酸在发酵12 d后池式酱油的含量就高于罐式酱油的含量, 尤其是池式酱油的谷氨酸在发酵45 d时已达到10.42 g/kg, 而罐式酱油的谷氨酸含量仅7.91 g/kg; 两种方式发酵的酱油都能检测出7种有机酸, 且含量较高的两种有机酸分别是乳酸和乙酸; 在发酵结束时池式酱油的还原糖含量比罐式酱油的还原糖含量高1.01 g/100 g; 池式酱油的食盐含量比罐式酱油的食盐含量低0.90 g/100 g, 说明在关键呈味物质上池式发酵酱油优于罐式发酵酱油。

**关键词:** 酱油; 发酵方式; 呈味物质; 对比分析

文章编号: 1673-9078(2023)06-240-245

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.6.0741

## Comparative Analysis of the Key Flavoring Substances during the Tank-type or Pool-type Fermentation of Soy Sauce

HUANG Liuyao<sup>1</sup>, LIN Lizhao<sup>2</sup>, WU Huizhen<sup>2</sup>, SU Guowan<sup>1</sup>, LIN Weifeng<sup>1\*</sup>

(1.School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2.Heshan Donggu Flavoring Food Co. Ltd., Jiangmen 529738, China)

**Abstract:** The neutral protease activity, amino acid nitrogen content, free amino acid content, pH, total acid content, organic acid content, reducing sugar content, amylase activity and salt content of the soy sauce with drawn from the fermentation tank and fermentation pool during fermentation were determined and analyzed. The results showed that the neutral protease activity, amino acid nitrogen content, total amino acid content, total organic acid content, amylase activity, reducing sugar content, total acid content and pH of the soy sauce fermented in the fermentation pool were higher than those of the soy sauce from the fermentation tank; the salt content of the soy sauce fermented in tank was higher than that of the soy sauce fermented in pool. The content of umami amino acids of the soy sauce fermented for 12 d in pool was higher than that of the soy sauce fermented in tank, especially the content of glutamic acid in the soy sauce fermented in pool already reached 10.42 g/kg after 45 d of fermentation, whilst the content of glutamic acid in soy sauce fermented in tank was only 7.91 g/kg. Seven kinds of organic acids were detected in the soy sauces fermented by the two methods, and the two organic acids with higher contents were lactic acid and acetic acid. At the end of fermentation, the reducing sugar content of soy sauce fermented in pool was 1.01 g/100 g higher than that of the soy sauce fermented in tank, whilst the salt content of soy sauce fermented in pool was 0.90 g/100 g lower than that of the soy sauce fermented in tank. The results showed that the soy sauce fermented in pool was superior to the soy sauce fermented in tank in terms of the key flavoring substances.

**Key words:** soy sauce; fermentation mode; odorous substances; comparative analysis

引文格式:

黄留瑶,林礼钊,吴惠贞,等.酱油的罐式与池式发酵过程中关键呈味物质对比分析[J].现代食品科技,2023,39(6):240-245.

HUANG Liuyao, LIN Lizhao, WU Huizhen, et al. Comparative analysis of the key flavoring substances during the tank-type or pool-type fermentation of soy sauce [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(6): 240-245.

收稿日期: 2022-06-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32172329)

作者简介: 黄留瑶 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: fushiyyqx@163.com

通讯作者: 林伟锋 (1970-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: linwf@scut.edu.cn

酱油是以大豆或豆粕等植物蛋白质为主要原料,辅以面粉、小麦粉或麸皮等淀粉质原料,经微生物发酵形成的一种调味品<sup>[1]</sup>。酱油的酿造工艺从天然晾晒发酵法演变为如今工厂常用的高盐稀态发酵法,而对于酱油发酵的容器也在不断演变,以前大多都是用瓦缸天然晾晒,现在则主要有发酵池(池式发酵)和发酵罐(罐式发酵)进行高盐稀态发酵<sup>[2]</sup>。酱油发酵池分为室内的恒温发酵池和室外的天然发酵池,室外的天然发酵池外部轮廓用水泥铸造,内部涂有玻璃纤维防腐,顶部设有玻璃盖板保证充足光照且防止雨水污染与其他杂质进入;酱油发酵罐主要材料是玻璃钢,内部光洁,顶部做透光处理,满足光照要求的同时有较佳密封性<sup>[3]</sup>。发酵池与发酵罐不仅是材料的不同,形状、容量也完全不一样,这样的区别可能会导致酱醪中微生物的差异,从而导致对原料分解至关重要的酶的区别。酶的种类和活力在整个发酵过程都相当重要,如酱油的好坏主要依靠氨基酸态氮的含量来评估,这与蛋白酶活力有关<sup>[4]</sup>。而不同微生物还会产生不同的有机酸和不同的香气物质,这在赵莹<sup>[5]</sup>的研究里有充分体现。

食物的味道被分为酸、甜、苦、咸、鲜五种<sup>[6]</sup>。而酱油作为调味品多是提供咸鲜的作用,酱油以咸鲜为主,辅以酸甜,形成其独特的滋味。目前已有很多研究不同工艺、不同原料、不同微生物、不同气候等因素会造成这些呈味物质的差异<sup>[7-11]</sup>,但尚未有文献记载大型发酵容器的不同是否会对呈味物质的形成有影响。本研究选取同一批曲料分别在发酵罐和发酵池中同时进行发酵,并进行跟踪,检测其中性蛋白酶活力、氨基酸态氮含量、游离氨基酸含量、pH值、总酸含量、有机酸含量、还原糖含量、淀粉酶活力和食盐含量,探究它们的差异。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

酱油曲料和食用盐水,取自鹤山市东古调味食品有限公司酱油发酵车间的同一批次。

17种氨基酸混标(浓度为2.50 μmol/mL),西格玛奥德里奇贸易有限公司;衍生化试剂FMOC、衍生化试剂OPA,安捷伦科技有限公司;甲醇、乙腈(均为色谱纯),迪马科技;硫酸钠、甲磺酸(均为分析纯),广州化学试剂厂。

### 1.2 主要仪器与设备

PHS-3C pH计,上海雷磁仪器有限公司;GF-6100

电子天平,日本AND公司;TU-1901双光束紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;BC/BD-200HET卧式冷藏冷冻转换柜,青岛海尔特种电冰柜有限公司;Agilent 1260 Infinity II高效液相色谱仪,安捷伦科技有限公司;Agilent 8860 GC-5977B GC/MSD气相色谱质谱联用仪,安捷伦科技有限公司;Metrohm 905 Titrando自动电位滴定仪,瑞士万通中国有限公司;传统发酵池(装料量24.00 t),鹤山市东古调味食品有限公司;大型酱油发酵罐(装料量60.00 t),鹤山市东古调味食品有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品采集与处理

分别取酱油罐式发酵和池式发酵第0、4、8、12、18、30、45和60天的酱油样品,将其用快速滤纸过滤后备用,为方便后续数据记录,样品名用简称代替:发酵罐酱油(Tank, T),发酵池酱油(Pool, P)。

发酵菌种均为沪酿3.042,盐水浓度均为18%,盐水与大曲的比例均为1.6:1。

发酵罐尺寸为底面积11.33 m<sup>2</sup>,高6 m;发酵池尺寸为底面积15.36 m<sup>2</sup>,高1.3 m。均置于鹤山市东古调味食品有限公司酱油发酵车间,投料时间为2021年12月6日。

#### 1.3.2 pH值的测定

使用pH计进行测定。

#### 1.3.3 总酸的测定

参照GB 12456-2021<sup>[12]</sup>,根据酸碱中和的原理,使用自动电位滴定仪进行测定。

#### 1.3.4 中性蛋白酶活力的测定

参照GB/T 23527-2009<sup>[13]</sup>,采用福林酚法检测发酵酱油中的中性蛋白酶活力。

#### 1.3.5 氨基酸态氮含量的测定

参照GB 5009.235-2016<sup>[14]</sup>,根据甲醛滴定法原理,使用自动电位滴定仪进行测定。

#### 1.3.6 淀粉酶活力的测定

参照GB 1886.174-2016<sup>[15]</sup>,采用滴定法进行测定。

#### 1.3.7 还原糖含量的测定

参照GB 5009.7-2016<sup>[16]</sup>,采用直接滴定法进行测定。

#### 1.3.8 游离氨基酸的测定

采用高效液相色谱分析酱油中游离氨基酸的组成。色谱柱:AdvanceBio AAA C18柱;流动相A为10 mmol/L Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>+10 mmol/L Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>;流动相B为甲醇+乙腈+水;流量为1.50 mL/min;进样量为1.00 μL;柱温为40℃;外标峰面积定量。

#### 1.3.9 有机酸的测定

采用高效液相色谱分析酱油中有机酸的组成。乳酸采用反相 PA2 C18, 乙酸、琥珀酸、苹果酸、柠檬酸、酒石酸、草酸采用 Acclaim Organic Acid LC 液相柱; 流动相为 100 mmol/L 硫酸钠, 甲磺酸调节至 pH 2.50; 进样量为 30  $\mu$ L; 柱温为 30  $^{\circ}$ C。

### 1.3.10 食盐含量的测定

参照 GB/T 5461-2016<sup>[17]</sup>, 使用自动电位滴定仪进行测定。

## 1.4 数据处理与分析

利用 SPSS 25.0 软件对数据进行分析, 利用 Origin 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 中性蛋白酶活力、氨基酸态氮含量和游离

#### 氨基酸含量的对比分析

图 1 可以看出氨基酸态氮含量前 4 d 上升迅猛, 而后上升速度减缓, 自发酵 12 d 起升幅平缓, 可能是发酵前底物充足, 蛋白酶活力高的原因。从发酵第 4 d 开始, 池式酱油的氨基酸态氮含量就比罐式酱油的氨基酸态氮含量高, 直到发酵 60 d 结束时, 它们的氨基酸态氮含量相差 0.14 g/100 g。曲料的中性蛋白酶活力为 1 735.23 U/g (以干基计算), 发酵 0 d 加入盐水时曲料中酶还未全部释放出来, 故数值较低。在前 4 d 随着发酵进行两种方式发酵酱油的中性蛋白酶活力都迅速增加, 但是在发酵 8 d 时, 池式酱油和罐式酱油在中性蛋白酶活力上的差距开始拉大, 至发酵 60 d 结束时, 它们的中性蛋白酶活力相差 340.00 U/mL。

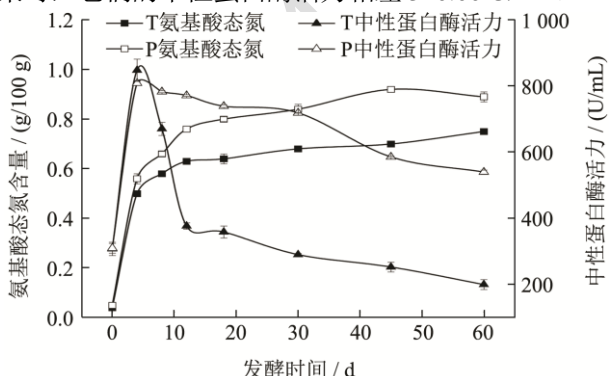


图 1 氨基酸态氮和中性蛋白酶活力的变化

Fig.1 Changes of amino acid nitrogen and neutral protease activity

氨基酸具有呈味特性, 主要为鲜味、甜味、苦味<sup>[18]</sup>。样品中的氨基酸均来自大豆、小麦粉的蛋白质水解作用, 故其中的氨基酸均应为 L-型氨基酸<sup>[19]</sup>。在

检测的十七种氨基酸中, 天冬氨酸和谷氨酸属于鲜味氨基酸; 丝氨酸、甘氨酸、苏氨酸、丙氨酸、脯氨酸、赖氨酸六种氨基酸属于甜味氨基酸; 组氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、甲硫氨酸、精氨酸和缬氨酸八种属于苦味氨基酸; 胱氨酸则属于无味氨基酸<sup>[20]</sup>。

图 2 可以看出两种发酵方式酱油的呈味氨基酸含量都是苦味氨基酸 > 甜味氨基酸 > 鲜味氨基酸, 且变化趋势基本一致。除了发酵第 4 d 池式酱油中的氨基酸总量略微低于罐式酱油中的氨基酸总量外, 其后的发酵时间里池式酱油中的氨基酸总量都高于罐式酱油中氨基酸总量, 甚至在发酵 45 d 时两者差值达到最大。池式酱油中的甜味氨基酸、苦味氨基酸和鲜味氨基酸的含量都大于罐式酱油中的含量, 且苦味氨基酸在发酵 30 d 时都有些微的下降, 推测是与还原糖发生了美拉德反应消耗掉了部分反应物, 但是之后的增长趋势说明蛋白酶的水解作用还是作为体系中的主导反应。鲜味氨基酸在发酵的整个过程占比变多, 罐式酱油增长了 4.14%, 池式酱油增加了 5.28%; 甜味氨基酸在发酵的整个过程占比有些许减少, 罐式酱油降低了 0.66%, 池式酱油降低了 1.06%; 苦味氨基酸在发酵的整个过程占比减少, 罐式酱油降低了 3.74%, 池式酱油降低了 5.24%。游离氨基酸含量在发酵过程中的总体趋势与赵欣等<sup>[21]</sup>的研究相似。

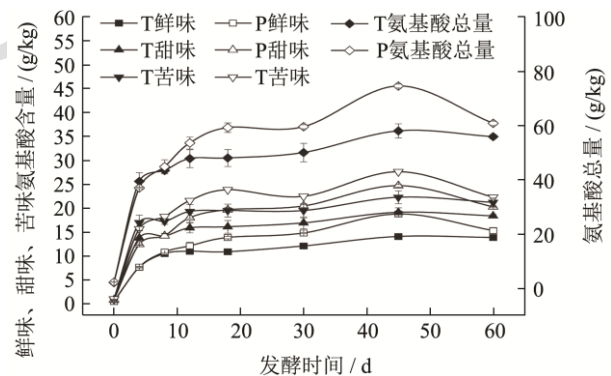


图 2 氨基酸总量和鲜、甜、苦味氨基酸含量的变化

Fig.2 Changes of total amino acids and contents of fresh, sweet and bitter amino acids

### 2.2 总酸含量及其种类的对比分析

总酸和 pH 的变化如图 3 所示。酱油总酸的主要成分包括氨基酸、乙酸、乳酸等酸类物质, 这些酸类物质对酱油品质影响很大<sup>[22]</sup>。呈味氨基酸赋予酱油更温和的鲜甜味, 乙酸、乳酸等有机酸能增强酱油的滋味, 还可经酶的作用进一步转化为酯类、醇类等挥发性香气物质<sup>[23]</sup>。两种发酵方式的酱油总酸含量在前 4 d 都迅速增加, 在发酵 8 d 至发酵 30 d 期间池式酱油的

增长率大于罐式酱油，在发酵 30 d 时它们的总酸含量相差 0.32 g/100 g。两种发酵方式的 pH 值在发酵过程中逐渐降低，至发酵 45 d 时相差 0.22，但是在发酵 60 d 时，池式酱油的 pH 值和罐式酱油的 pH 值接近，一方面是因为池式发酵酱油的总酸含量有所下降所致，另一方面是因为后期氨基酸态氮含量略有下降，而氨基酸总量明显下降，这些下降的氨基酸可能转化为铵盐中和了体系中的部分氢离子。

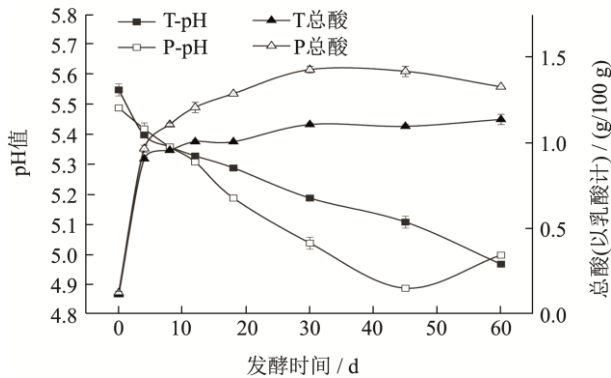


图3 pH和总酸(以乳酸计)含量的变化

Fig.3 Changes of pH and total acid (calculated by lactic acid)

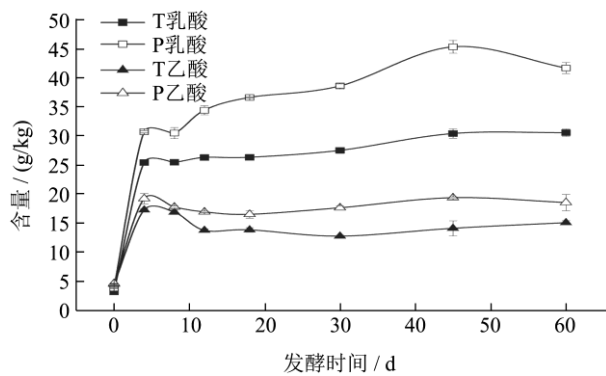


图4 乳酸和乙酸含量

Fig.4 Contents of lactic acid and acetic acid

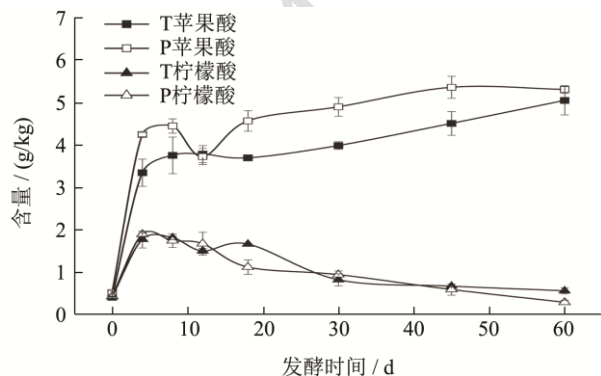


图5 苹果酸和柠檬酸含量

Fig.5 Contents of malic acid and citric acid

酱油中的酸味来源于一些产酸细菌生成的有机酸，如某些耐盐乳酸菌利用淀粉酶水解面粉生成的糖类进行代谢生酸<sup>[24]</sup>。发酵中生成的有机酸不仅可以使酱油中的 pH 值降低，达到抑菌效果，还可以丰富酱

油的口感<sup>[25,26]</sup>。

不同的有机酸由不同的微生物经发酵产生，比如琥珀酸、苹果酸和柠檬酸等就是由米曲霉等微生物在三羧酸循环中产生；乙酸和乳酸的产生与乳酸菌有关<sup>[27]</sup>。这些风味酸所带来的独特口感也会对酱油的品质有影响。琥珀酸不仅有酸味，还有一点咸苦味，且易于在发酵过程中形成酯类<sup>[28]</sup>；乙酸酸味较强且对舌头有刺激感；乳酸则是酸性强酸味弱的酸，乳酸与乙酸的比例越高，酱油更加醇厚柔和。柠檬酸酸中带涩，刺激性强；而苹果酸的酸味更加柔和持久，属于甜酸味，苹果酸与柠檬酸的比例越高，酱油香味更加爽口绵长<sup>[29]</sup>。如图 4、图 5 和图 6 所示，乙酸含量在前 4 d 迅速增长，之后的增减范围控制在 5.00 g/kg 以内，池式酱油的乳酸含量增长趋势较罐式酱油的乳酸含量增长趋势更快。苹果酸含量的变化趋势总体上是前四天迅速增长，之后含量缓慢上升，柠檬酸含量的变化趋势总体上则是前四天迅速增长，之后缓慢下降。这就意味着乳酸/乙酸的值和苹果酸/柠檬酸的比值随着发酵的进行越来越大。发酵罐的乳酸/乙酸值增长了 1.32，而发酵池的乳酸/乙酸值增长了 1.40；发酵罐的苹果酸/柠檬酸值增长了 6.81，而发酵池的苹果酸/柠檬酸值增长了 13.88。从结果来看，池式酱油的有机酸组成较于罐式酱油更加口感协调和柔和，虽然在发酵过程中数据波动较大，但是发酵 60 d 时的各种比例优于罐式酱油，若想进一步研究造成这样差异的原因可能要研究罐池发酵时其中的微生物生长情况与产酸方式。

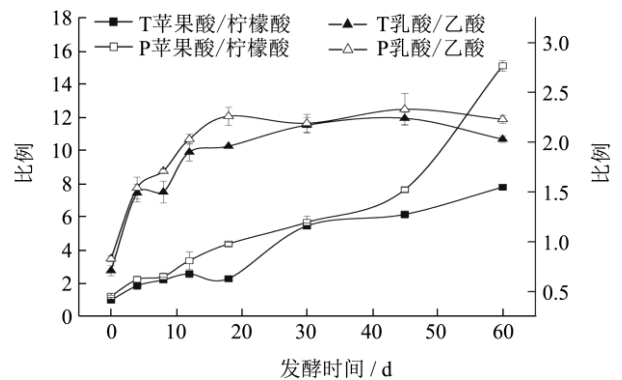


图6 苹果酸与柠檬酸比值变化和乳酸与乙酸的比值变化

Fig.6 Changes in the ratio of malic acid to citric acid and the ratio of lactic acid to acetic acid

### 2.3 还原糖含量与淀粉酶活力的对比分析

还原糖含量与淀粉酶活力如图 7 所示，还原糖是酱油甜味的主要来源之一，由淀粉酶和糖化酶分解淀粉质原料而得<sup>[30]</sup>。曲料的淀粉酶活力为 51.63 U/g (以干基计算)，和中性蛋白酶活力情况相似，在发酵 0 d 加入盐水时曲料中酶还未全部释放出来，故数值较低。

但是在发酵前 4 d 两种发酵方式的酱油淀粉酶活力都迅速增长, 之后随着发酵的进行呈下降趋势, 且相差不大, 但是还原糖含量都有一个先增后减的趋势。在发酵第 18 d, 罐式酱油和池式酱油还原糖含量都达到了峰值, 分别是 5.71 和 6.86 g/100 g, 但是淀粉酶活力仅相差 0.11 U/g, 故还原糖含量的差异与淀粉酶活力关系不大。在发酵 18 d 起还原糖含量缓慢下降, 一方面是因为和氨基酸发生美拉德反应, 另一方面是随着发酵的进行, 体系中的 pH 值达到了酵母菌的生长条件, 酵母菌发酵会消耗部分还原糖产生醇类物质。

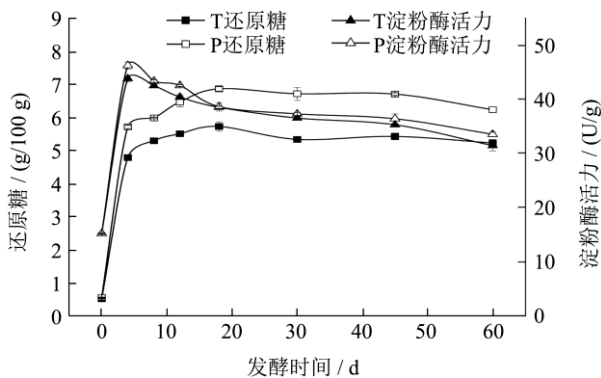


图7 淀粉酶活力和还原糖含量变化

Fig.7 Changes of amylase activity and reducing sugar content

### 2.4 食盐含量的对比分析

食盐含量如图 8 所示, 高盐稀态酱油在发酵时会添加 18.00 g/100 g 左右的食盐, 不仅为酱油提供咸味, 还可以抑制杂菌生长<sup>[31]</sup>。在发酵前 4 d, 两种发酵方式的酱油中食盐含量都急速下降至 14.00 g/100 g 左右, 但是在之后的发酵阶段, 罐式酱油的食盐含量都比池式酱油的食盐含量多。在添加相同含量盐水进行发酵的情况下, 发酵过程中罐式酱油的食盐含量比池式酱油的食盐含量高可能与食盐的渗透率有关。

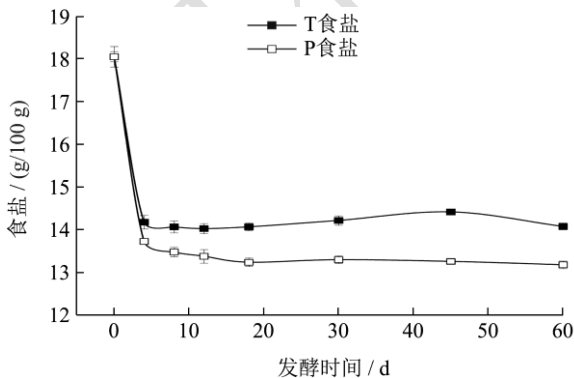


图8 食盐含量变化

Fig.8 Salt content changes

发酵池的半开放设计与空气接触面相对较大使得其中的酱醪散热更快, 体系中的温度与大自然的温度相关性较发酵罐更强。在酱醪表面的微生物也更容易

在抽淋时进入发酵池进行自溶, 胞内酶的释放增加了体系中的酶系丰度从而更能充分利用原料, 由此发酵池中的大豆比发酵罐中的大豆分解更为彻底, 这就使得食盐渗透更多在大豆里, 池式酱油中的食盐含量低于罐式酱油中的食盐含量, 盐分会抑制酶活力, 这与前文所提及的中性蛋白酶活力变化和淀粉酶活力变化的结论一致。

### 3 结论

通过两个月的定点跟踪罐式酱油和池式酱油中性蛋白酶活力、氨基酸态氮含量、游离氨基酸含量、pH 值、总酸含量、有机酸含量、还原糖含量、淀粉酶活力和食盐含量的变化发现, 除了食盐含量罐式酱油更多以外, 其他指标的值池式酱油更高。至发酵 60 d 时池式酱油的中性蛋白酶活力为 540.00 U/mL, 罐式酱油的中性蛋白酶活力为 200.20 U/mL; 池式酱油的氨基酸态氮含量为 0.89 g/100 g, 罐式酱油的氨基酸态氮含量为 0.75 g/100 g; 池式酱油的游离氨基酸总量为 60.75 g/kg, 罐式酱油的游离氨基酸总量为 55.84 g/kg; 池式酱油的 pH 值为 5.00, 罐式酱油的 pH 值为 4.97; 池式酱油的总酸含量为 1.33 g/100 g, 罐式酱油的总酸含量为 1.14 g/100 g; 池式酱油的 7 种有机酸总量为 72.08 g/kg, 罐式酱油的 7 种有机酸总量为 56.25 g/kg; 池式酱油的还原糖含量为 6.23 g/100 g, 罐式酱油的还原糖含量为 5.22 g/100 g; 池式酱油的淀粉酶活力为 33.50 U/g, 罐式酱油的淀粉酶活力为 31.42 U/g; 池式酱油的食盐含量为 13.18 g/100 g, 罐式酱油的食盐含量为 14.08 g/100 g。

发酵罐和发酵池由于结构和投料量的差异确实是影响酱油呈味的重要因素之一, 发酵池中物料的表面积与高度之比六倍高于发酵罐中物料的表面积与高度之比, 这样的差异就会导致发酵池中酱醪与空气接触的面积更大, 能从空气中吸收更多的微生物参与发酵, 致使其中酶系更加丰富, 利于原料的分解。但是发酵罐因为其物料总量是发酵池的两倍左右, 故其在温度控制方面比较有优势, 不容易受到外部天气变化的影响导致发酵不稳定。在经济上考虑, 大容器的发酵也比较节约时间与人工成本, 若想在酱油的质量上超越小池发酵, 则应该在大罐发酵中多下功夫, 如通过提高蛋白酶活来提高氨基酸的含量等措施。

### 参考文献

[1] 黄持都, 鲁维, 纪凤娣, 等. 酱油研究进展[J]. 中国酿造, 2009, 10:7-9.  
[2] Devanthi P V P, Gkatzionis K. Soy sauce fermentation:

- Microorganisms, aroma formation, and process modification [J]. Food Research International, 2019, 120: 364-374.
- [3] 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,2012,11:21-26.
- [4] Sassi S, Wan-Mohtar W A A Q I, Jamaludin N S, et al. Recent progress and advances in soy sauce production technologies: A review [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(10): e15799.
- [5] 赵莹.广式酱油的风味物质与酿造微生物的相关性研究[D].广州:仲恺农业工程学院,2020.
- [6] Zhao C J, Schieber A, G änzle M G. Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations - A review [J]. Food Research International, 2016, 89: 39-47.
- [7] 郭琳.不同酱油发酵工艺的比较研究[D].天津:天津科技大学,2017.
- [8] 吴雅男.酱油鲁氏酵母 S、S3-2 关键风味代谢物对比研究[D].天津:天津科技大学,2015.
- [9] Yamana T, Taniguchi M, Nakahara T, et al. Component profiling of soy-sauce-like seasoning produced from different raw materials [J]. Metabolites, 2020, 10(4): 137.
- [10] Ruan L, Ju Y, Zhan C, et al. Improved umami flavor of soy sauce by adding enzymatic hydrolysate of low-value fish in the natural brewing process [J]. LWT, 2022, 155: 112911.
- [11] 路怀金.米曲霉的酶系特性及其对酱油风味品质影响研究[D].广州:华南理工大学,2020.
- [12] GB 12456-2021,食品安全国家标准 食品中总酸的测定[S].
- [13] GB 5009.5-2016,食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S].
- [14] GB 5009.235-2016,食品安全国家标准 食品中氨基酸态氮的测定[S].
- [15] GB 1886.174-2016,食品安全国家标准 食品添加剂 食品工业用酶制剂[S].
- [16] GB 5009.7-2016,食品安全国家标准食品中还原糖的测定[S].
- [17] GB 5009.42-2016,食品安全国家标准 食盐指标的测定[S].
- [18] 杨洋,马珊,邱继尧,等.不同培养基的平菇多酚及氨基酸含量分析[J].现代食品科技,2022,38:271-281.
- [19] Hou Y, Wu G. Nutritionally essential amino acids [J]. Advances in Nutrition, 2018, 9(6): 849-851.
- [20] 周朝晖,陈子杰,李铁桥,等.面粉对发酵酱油品质的影响研究[J].现代食品科技,2019,35(10):218-224.
- [21] 索化夷,赵欣,蹇宇,等.永川豆豉发酵过程中总糖和氨基酸变化与滋味的形成[J].食品科学,2015,36(21):100-104.
- [22] 李丹,王娅琴,赵海锋,等.盐水浓度及 pH 对高盐稀态酱油酿造初期酱醪理化性质影响的研究[J].现代食品科技,2011, 27(4):380-383.
- [23] Qi Q, Huang J, Zhou R, et al. Characterizing microbial community and metabolites of Cantonese soy sauce [J]. Food Bioscience, 2021, 40:100872.
- [24] Kong Y, Zhang L, Zhang Y, et al. Evaluation of non-volatile taste components in commercial soy sauces [J]. International Journal of Food Properties, 2018, 1: 1854-1866.
- [25] Singracha P, Niamsiri N, Visessanguan W, et al. Application of lactic acid bacteria and yeasts as starter cultures for reduced-salt soy sauce (moromi) fermentation [J]. LWT, 2017, 78: 181-188.
- [26] Her J Y, Cho H, Kim M K, et al. Organic acids as a freshness indicator for tofu (soybean curd) [J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(11): 3443-3450.
- [27] Ito K, Matsuyama A J J O F. Koji molds for Japanese soy sauce brewing: Characteristics and key enzymes [J]. Journal of Fungi, 2021, 7(8): 658.
- [28] Xu N, Liu Y, Hu Y, et al. Autolysis of *Aspergillus oryzae* mycelium and effect on volatile flavor compounds of soy sauce [J]. Journal of Food Science, 2016, 81(8): C1883-C1890.
- [29] 向进乐,杜琳,刘志静,等.桃醋液态发酵过程中主要成分及有机酸的变化[J].现代食品科技,2015,31(5):193-198.
- [30] 徐欢欢. $\alpha$ -淀粉酶在酱油制曲与发酵工艺中的应用研究[D].广州:华南理工大学,2012.
- [31] Stoll D A, Müller A, Meinhardt A-K, et al. Influence of salt concentration and iodized table salt on the microbiota of fermented cucumbers [J]. Food Microbiology, 2020, 92: 103552.