

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241030009

引用格式: 王惠, 石学梅, 黄冰羽, 等. 酱油发酵过程中生物胺的变化规律及影响因素研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(7): 94-101.

WANG H, SHI XM, HUANG BY, *et al.* Study on the change law and influencing factors of biogenic amines during soy sauce fermentation [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(7): 94-101. (in Chinese with English abstract).

# 酱油发酵过程中生物胺的变化规律及影响因素研究

王惠<sup>1</sup>, 石学梅<sup>1</sup>, 黄冰羽<sup>1</sup>, 王淋<sup>1</sup>, 杨镇<sup>1</sup>, 潘丽娜<sup>1</sup>, 王宪斌<sup>1</sup>,  
傅其旭<sup>1\*</sup>, 李丹<sup>2</sup>

(1. 四川元景达食品有限公司, 泸州 646000; 2. 泸州老窖集团有限责任公司, 泸州 646000)

**摘要:** **目的** 研究酱油发酵过程中生物胺的变化规律, 并探究生产条件对生物胺积累的影响。**方法** 利用高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)技术分析了酱油不同发酵时间下生物胺的含量; 同时探究了不同盐水浓度(15%、20%、25%)、发酵温度(20、30、40 °C)、酵母添加量(0.05%、0.10%、0.15%)对酱油发酵过程中生物胺产生的影响。**结果** 酱油中生物胺含量随着发酵时间的延长呈现先增加后降低的趋势; 在40 °C的温度下, 酱油发酵结束后的生物胺含量最低, 为368.9 mg/L; 在盐水浓度为25%时, 酱油发酵结束后的生物胺含量最低, 为376.41 mg/L; 酵母添加量为0.05%时, 酱油发酵结束后的生物胺含量最低, 为403.45 mg/L。**结论** 生物胺作为酱油发酵过程中的有害物质, 其含量过高会对人体健康产生一定影响, 通过改变盐水浓度、发酵温度和酵母添加量, 可以有效抑制酱油发酵过程中生物胺的形成, 从而有效提高酱油的安全性。

**关键词:** 酱油; 发酵; 生产条件; 生物胺; 变化规律

## Study on the change law and influencing factors of biogenic amines during soy sauce fermentation

WANG Hui<sup>1</sup>, SHI Xue-Mei<sup>1</sup>, HUANG Bing-Yu<sup>1</sup>, WANG Lin<sup>1</sup>, YANG Zhen<sup>1</sup>,  
PAN Li-Na<sup>1</sup>, WANG Xian-Bin<sup>1</sup>, FU Qi-Xu<sup>1\*</sup>, LI Dan<sup>2</sup>

(1. Sichuan Yuanjingda Food Co., Ltd., Luzhou 646000, China; 2. Luzhou Laojiao Group Co., Ltd., Luzhou 646000, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the change law of biogenic amines in the process of soy sauce fermentation and explore the influence of production conditions on the accumulation of biogenic amines. **Methods** The content of biological amines in soy sauce was analyzed at different fermentation times by high performance liquid chromatography (HPLC) technology. Meanwhile, the effects of different saltwater concentrations (15%, 20%, 25%),

收稿日期: 2024-10-30

基金项目: 泸州市科技计划项目(2023NYF089)

第一作者: 王惠(1998—), 女, 硕士, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 1772380448@qq.com

\*通信作者: 傅其旭(1985—), 男, 工程师, 主要研究方向为酒类及调味品酿造。E-mail: fuqx@lzlj.com

fermentation temperatures (20, 30, 40 °C), and yeast additions (0.05%, 0.10%, 0.15%) on the production of biological amines in soy sauce fermentation were explored. **Results** The content of biological amines in soy sauce presented an increasing trend first and then decreasing as the fermentation time was prolonged; the lowest content of biological amines in soy sauce after fermentation ends was 368.9 mg/L at a temperature of 40 °C; the lowest content of biological amines in soy sauce after fermentation ends was 376.41 mg/L at a saltwater concentration of 25%; the lowest content of biological amines in soy sauce after fermentation ends was 403.45 mg/L when the yeast addition was 0.05%. **Conclusion** Biogenic amines are harmful substances in soy sauce fermentation process, and their excessive content can have certain impacts on human health. By adjusting the saltwater concentration, fermentation temperature, and yeast addition, it is possible to effectively inhibit the formation of biogenic amines during soy sauce fermentation, thereby effectively improving the safety of soy sauce.

**KEY WORDS:** soy sauce; fermentation; production conditions; biogenic amine; change law

## 0 引言

酱油作为我国传统调味品的一种,在家庭烹饪、餐饮渠道、食品加工等领域发挥着重要作用<sup>[1-3]</sup>。在酱油发酵过程中,蛋白质被米曲霉产生的蛋白酶水解成小分子肽和游离氨基酸,成为酱油鲜味物质的主要来源<sup>[4-6]</sup>。在此过程中,其余酶类也会参与反应,例如氨基酸脱羧酶会导致生物胺的生成<sup>[7-9]</sup>。

生物胺主要是一类低分子量的含氮有机化合物,具有生物毒性<sup>[10-12]</sup>。食品中生物胺的产生可分为内源性以及外源性。内源性指原料自身醛酮类化合物的氨基化和转氨基作用产生的生物胺;外源性主要是原料自身氨基酸在微生物氨基酸脱羧酶催化下形成的生物胺,该过程受(发酵时间、发酵温度、菌种添加量、添加剂等)影响<sup>[13-15]</sup>。适量生物胺的摄入不会对人体造成危害,但是高浓度的生物胺摄入会对人体产生毒害作用,过量的生物胺摄入可能会引发昏厥、休克,严重的甚至会导致死亡<sup>[16-18]</sup>,生物胺类别及其毒性作用详见表1。

生物胺中最常见且毒性最强的两种生物胺是组胺和酪胺。研究表明组胺与酪胺摄入过多会导致呕吐、引发血糖或血压失调、腹部痉挛等负面作用。我国规定高组胺鱼类组胺限量为400 mg/kg,其他海水鱼类的组胺限量为200 mg/kg。

本研究采用高盐稀态发酵工艺,对酱油在发酵过程中的生物胺含量进行分析,重点探究了重要工艺参数(盐水浓度、发酵温度、酵母添加量)对酱油发酵过程中生物胺产生的影响,以期降低酱油在发酵过程中生物胺的产生量,提高酱油的食用安全性。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

黄豆、小麦、米曲霉曲精等市售。

氯化钠、甲醛、氢氧化钠、乙腈、丙酮、乙醚、正丁

醇、三氯甲烷、正己烷、正己烷(色谱纯)、酪胺盐酸盐(纯度≥98%)(上海阿拉丁生化科技股份有限公司);乙酸、乙酸铵(色谱纯,瑞春化学科技有限公司);标准品:组胺盐酸盐(纯度≥99%)、酪胺盐酸盐(纯度≥98%)、腐胺盐酸盐(纯度≥98%)、尸胺盐酸盐(纯度≥98%)、色胺盐酸盐(纯度≥99%)、亚精胺盐酸盐(纯度≥99%)、精胺盐酸盐(纯度≥99%)、β-苯乙胺(纯度≥98%)、章鱼胺盐酸盐(纯度≥98%)(上海麦克林生化科技有限公司)。

表1 生物胺类别及其毒性作用  
Table 1 Biogenic amines and their toxic effects

生物胺类别	生物胺	毒性作用
芳香胺	酪胺	引起偏头痛、神经系统疾病、呕吐和高血压等 <sup>[19]</sup>
	β-苯乙胺	消除神经系统中去甲肾上腺素,引起高血压和偏头痛 <sup>[20]</sup>
脂肪胺	精胺	参与致癌、肿瘤侵袭和转移 <sup>[21]</sup>
	腐胺	引起心跳加速、高血压,具有致癌作用 <sup>[19]</sup>
	尸胺	与亚硝酸盐发生反应,形成致癌的亚硝基胺 <sup>[19]</sup>
杂环胺	亚精胺	与亚硝酸盐发生反应,形成致癌的亚硝基胺 <sup>[19]</sup>
	色胺	引起哮喘、血压升高和消化系统失调 <sup>[19]</sup>
	组胺	引起头痛、呼吸困难、支气管痉挛、皮疹、水肿和腹泻 <sup>[22]</sup>

### 1.2 仪器与设备

Agilent 1260 高效液相色谱仪(美国安捷伦科技有限公司); ZHJH-C1109C 超净工作台(苏州市金净设备科技有限公司); K1100 全自动凯氏定氮仪、T960Basic 全自动电位滴定仪(济南海能仪器股份有限公司); ZYDM-III-20T 超纯水机(四川卓越水处理设备有限公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 酱油的发酵工艺

本研究采用高盐稀态发酵, 工艺流程如图 1 所示。整个工艺主要分为两个阶段:

(1)制曲阶段。小麦进行炒制、粉碎、过筛, 大豆进行浸泡、蒸煮, 冷却至适宜的温度。小麦、大豆、米曲霉混合均匀进入圆盘进行制曲。制曲前半程曲料温度控制在 28~33 °C, 后面 6~8 h 温度控制在 25~28 °C, 总制曲时长为 38~43 h, 制曲结束后进入发酵。

(2)发酵阶段。将曲料和盐水按一定比例混合, 盐水浓度 15%、15 °C 冷温发酵一个月, 在自然升温至 30 °C 后, 添加酵母菌继续进行发酵, 酵母添加量为 0.05%。

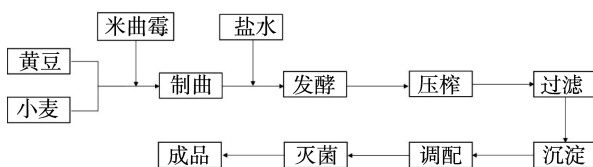


图 1 酱油的发酵工艺

Fig.1 Fermentation process of soy sauce

#### 1.3.2 酱油发酵的实验步骤

冷温发酵结束后, 通过在保温夹层中通入冷水或者蒸汽进行升温或者降温的方式对酱油温度进行控制, 温度分别控制为 20、30、40 °C 进行后续发酵。同时在发酵开始 30、60、90、120、150、180 d 时进行取样。取样时先通气搅拌 10 min, 使得物料均一, 3 个点随机取样 500 mL, 使用 80 目滤布对样品进行过滤, 备用。检测滤后酱油的氨基酸态氮、全氮、总酸、生物胺等重要指标。

#### 1.3.3 酱油发酵过程中基本理化指标的测定

氨基酸态氮、总酸、可溶性无盐固形物、全氮参照 GB/T 18186—2000《酿造酱油》测定。

总酸、氨基酸态氮的测定: 吸取 20 mL 20 倍稀释后的样品, 加 60 mL 超纯水, 采用 0.05 mol/L 氢氧化钠溶液滴至 pH=8.2, 计算酱油中总酸的含量。继续加入 10 mL 甲醛溶液, 采用 0.05 mol/L 氢氧化钠溶液滴至 pH=9.2, 计算酱油中氨基酸态氮的含量。

全氮的测定: 试样 2 mL、4 g 硫酸铜-硫酸钾混合试剂及 10 mL 硫酸混合后于凯氏消化管中消化, 消化完全后当消化管中溶液呈蓝绿色并澄清透明, 采用 2% 硼酸溶液吸收, 0.1 mol/L 盐酸滴定, 计算酱油中的全氮含量。

#### 1.3.4 酱油中生物胺的检测

生物胺的测定采用 GB 5009.208—2016《食品安全国家标准 食品中生物胺的测定》。

准确量取 1.0 mL 样品, 依次加入 250 μL 100 mg/L 内标溶液(1,7-二氨基庚烷)、1 mL 饱和碳酸氢钠溶液、100 μL 氢氧化钠溶液(1 mol/L)、1 mL 衍生试剂(丹磺酰氯)后置于

60 °C 恒温水浴锅中衍生 15 min, 取出后加入 100 μL 谷氨酸钠溶液, 混匀后 60 °C 恒温反应 15 min, 反应结束后冷却至室温, 再加入 1 mL 超纯水, 后 40 °C 水浴下氮吹除去丙酮, 加入 0.5 g 氯化钠振荡至完全溶解, 再加入 5 mL 乙醚, 振荡摇匀后静置分层, 再萃取一次, 合并两次乙醚萃取液, 40 °C 水浴下氮气吹干。加入 1 mL 乙腈振荡混匀, 0.22 μm 滤膜针头过滤器过滤后进行测定, 色谱柱为 C<sub>18</sub> 柱, 紫外检测波长 254 nm, 进样量 20 μL, 柱温 35 °C, 流动相 A 为 90% 乙腈/10%(含 0.1% 乙酸的 0.01 mol/L 乙酸铵溶液), 流动相 B 为 10% 乙腈/90%(含 0.1% 乙酸的 0.01 mol/L 乙酸铵溶液), 流速 0.8 mL/min。

#### 1.3.5 酱油发酵过程中生产条件对生物胺产生的影响

研究表明酱油发酵过程中不同发酵时间、盐水浓度、温度、酵母添加量等对生物胺产生均有影响, 因此本研究考察不同时间(30、60、90、120、150、180 d)、盐水浓度(15%、20%、25%)、温度(20、30、40 °C)、酵母添加量(0.05%、0.10%、0.15%)对酱油发酵过程中生物胺形成的影响。

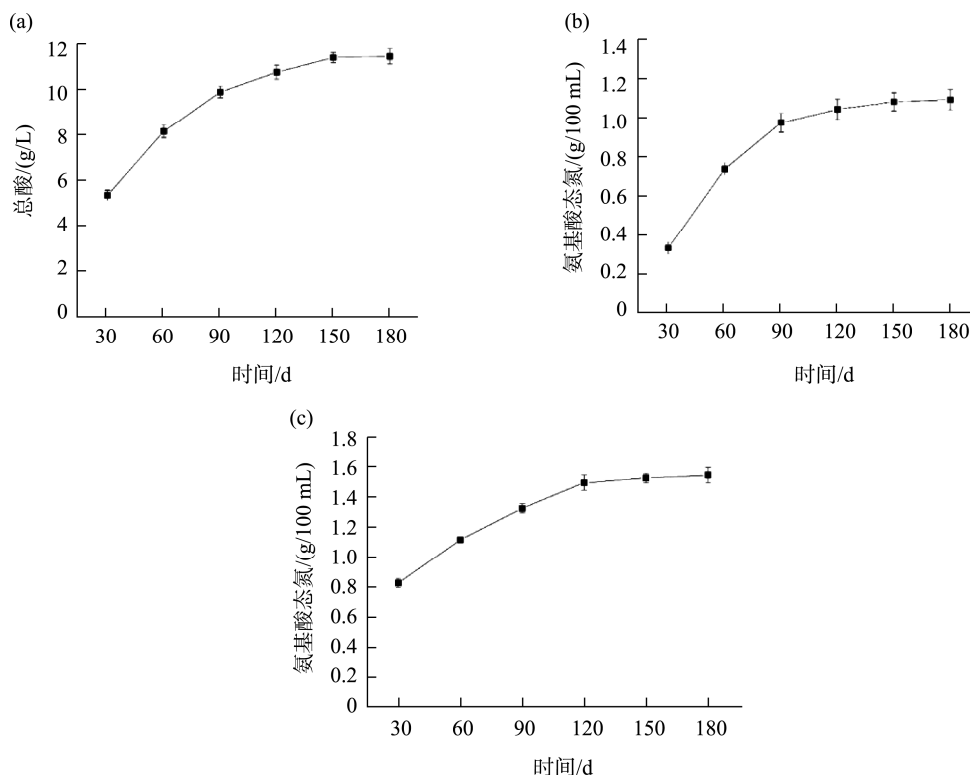
### 1.4 数据处理

每个样品设 3 个平行, 并使用 SPSS 20.0 进行统计学分析,  $P < 0.05$  具有显著性差异; 再利用 Origin 2024 对实验数据和统计结果制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 在酱油发酵过程中重要指标的变化情况

原料中蛋白质的分解程度可由酱油中全氮含量反映, 全氮指的是酱油中未分解的蛋白质、多肽、游离氨基酸等可溶性含氮化合物的总和<sup>[23-25]</sup>。其中氨基酸态氮是酱油重要鲜味指标, 同时氨基酸也是生物胺形成的前体物质, 其含量高低影响生物胺的生成<sup>[26-28]</sup>。酸性条件下微生物的生长受到抑制, 会降低酶类生成及酶活, 进而影响生物胺的产生。因此检测全氮、氨基酸态氮、总酸等理化指标。总酸作为酱油中的风味物质<sup>[29-32]</sup>, 发酵前期总酸快速增长, 这是由于微生物将糖类与游离氨基酸转化为酸类。如图 2(a) 所示, 在前 90 d, 总酸含量迅速增长至 9.89 g/L。此后总酸增长速率减缓, 在 180 d 时, 总酸含量为 11.47 g/L, 推测在发酵前期糖被微生物利用, 导致微生物代谢旺盛, 产生酸类物质, 导致酸含量迅速上升。发酵后期由于糖类减少微生物代谢减弱酸度变化缓慢。如图 2(b) 所示, 前期由于蛋白酶活性高, 原料中的蛋白质被迅速分解, 因此氨基酸态氮含量迅速上升。发酵后期, 总酸含量较高, 影响蛋白酶的活性, 同时酱油中还未分解的蛋白质含量较低, 因此氨基酸态氮的增长速率缓慢并逐渐趋于稳定, 在发酵时间为 180 d 时, 氨基酸态氮的含量为 1.1 g/100 mL。如图 2(c) 所示, 随着发酵时间增长, 全氮的含量逐渐增加并在发酵后期维持基本不变, 当发酵时间为 180 d 时, 全氮的含量为 1.55 g/100 mL。



注: a. 酱油发酵过程中总酸的变化情况; b. 酱油发酵过程中氨基酸态氮的变化情况; c. 酱油发酵过程中全氮的变化情况。

图2 酱油发酵过程中重要指标的变化情况

Fig.2 Changes in important indicators during soy sauce fermentation

## 2.2 酱油中生物胺的分析

在酱油的发酵过程中,生物胺主要由氨基酸脱羧酶脱羧生成,部分脂肪族生物胺由醛、酮的胺化和转氨化生成。

如图3所示,在由本研究发酵而成的酱油中的生物胺主要是尸胺、组胺、腐胺、酪胺这4种,出峰时间分别是20.080、21.128、18.391、27.938 min,其余色胺、苯乙胺、亚精胺、章鱼胺、精胺未在本研究发酵而成的酱油中检出。该结果与曾新安等<sup>[33]</sup>报道的结果类似,其研究了16款市售酱油,其中每款都含有酪胺和组胺,37.5%含有尸胺,93.75%含有腐胺。

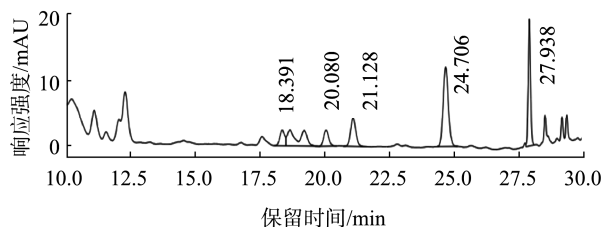


图3 酱油中生物胺的衍生色谱图

Fig.3 Derivative chromatogram of biogenic amines in soy sauce

## 2.3 酱油发酵过程中生物胺的变化规律

生物胺的前体物质为氨基酸,酱油发酵过程中的生

物胺主要由微生物分泌的氨基酸脱羧酶催化氨基酸脱羧形成<sup>[14]</sup>。因此本研究考察了在发酵过程中生物胺随着发酵时间延长的变化规律。

如图4(a)所示,随着发酵时间的延长,生物胺的含量逐渐上升,发酵120 d后生物胺含量达到顶峰,最高值为524.43 mg/L,但随着发酵时间的延长,生物胺的含量出现下降趋势,因为在发酵过程中,蛋白质逐渐被米曲霉分解成氨基酸,随着氨基酸含量的增加,微生物分泌的氨基酸脱羧酶作用于氨基酸不断产生生物胺,导致生物胺的含量增加。但延长发酵时间,生物胺含量出现下降的趋势,这是由于在发酵的后期还原糖、前体氨基酸等被不断消耗,易于生成生物胺的物质减少,从而使得生物胺生成减少甚至停滞。同时由于长时间自然接种,环境中某一些能够分解生物胺的微生物自发生长繁殖,缓慢降低生物胺含量。进一步延长发酵时间生物胺含量可能会进一步降低,但是经济成本较大,因此发酵时间的研究选取180 d较为合适。如图4(b)所示,在酱油的发酵过程中,酪胺占总生物胺的50%左右,组胺占总生物胺的25%,尸胺占总生物胺的20%,而腐胺的占比最小,约5%。该结论与报道一致,酪胺是酱油中最普遍且含量最高的生物胺<sup>[34]</sup>。

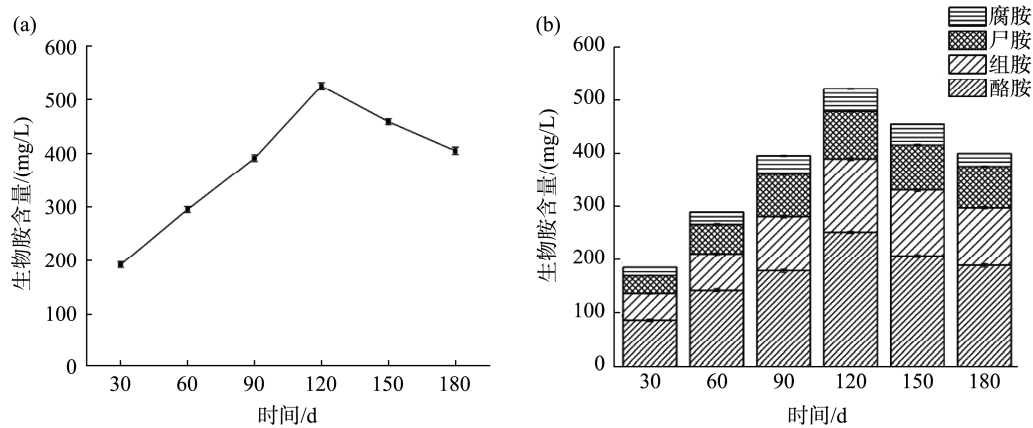


图 4 酱油发酵过程中总生物胺的变化规律(a)和酱油发酵过程中总生物胺的组成分析(b)

Fig.4 Changes of total biogenic amines during soy sauce fermentation (a) and composition analysis of total biogenic amines in soy sauce fermentation process (b)

## 2.4 盐水浓度对酱油发酵过程中生物胺产生的影响

高盐水浓度会造成高渗透压环境,对微生物的生长具有抑制效果。为了探究盐水浓度对生物胺生成的影响。检测了不同盐水浓度(15%、20%、25%)下,发酵过程中生物胺含量的变化规律。

如图 5(a)所示,随着发酵时间的延长,不同盐水浓度的酱油在发酵过程中的生物胺的变化情况均为先增加后下降,不同盐水浓度的酱油在发酵过程中生物胺含量的峰值不一样,15%、20%盐水浓度的酱油生物胺含量在 120 d 达到峰值,分别为 524.43 mg/L、478.02 mg/L; 25%盐水浓度的酱油生物胺含量在 150 d 达到峰值,为 449.31 mg/L。其中在酱油发酵 180 d 后,添加 15%盐水浓度的酱油生物胺

含量最高,添加 25%盐水浓度的酱油中生物胺含量最低,为 376.41 mg/L,因为高浓度的盐溶液可以抑制大量杂菌的繁殖,降低氨基酸脱羧酶的活性,该实验结果与报道一致<sup>[34]</sup>。因此推断高盐环境导致微生物生长受到抑制,导致 25%盐水浓度的酱油中生物胺的含量最少且峰值出现时间后延。但不同盐水浓度对酱油中生物胺组成的占比影响不大,都存在同一种现象,酪胺占总生物胺的比例最大,其次是组胺,如图 5(b)所示。

## 2.5 发酵温度对酱油发酵过程中生物胺产生的影响

发酵温度对生物胺的生成具有较大影响。为了探究发酵温度对生物胺产生的影响,考察了不同发酵温度(20、30、40 °C)下,酱油发酵过程中生物胺的变化规律。

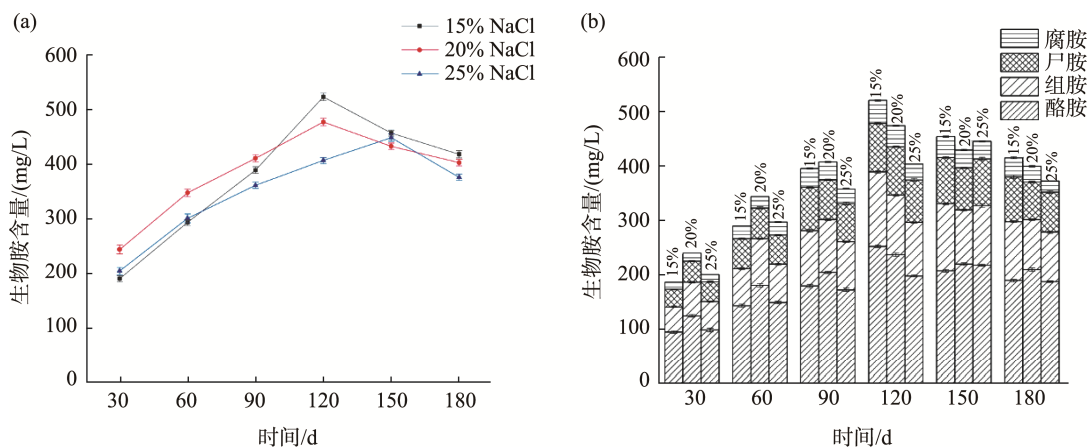


图 5 盐水浓度对酱油发酵过程中生物胺产生的影响(a)和在不同盐水浓度下总生物胺的组成分析(b)

Fig.5 Effects of brine concentration on biogenic amine production during soy sauce fermentation (a) and composition analysis of total biogenic amines under different saline concentrations (b)

如图 6(a)所示, 生物胺在不同发酵温度酱油中的含量变化均为先增加后减少。20、30、40 °C 发酵温度下酱油中生物胺峰值依次为 507.43、554.43、475.21 mg/L, 其中发酵温度为 30 °C 的酱油中生物胺含量最高。在 40 °C 的发酵温度下, 在 90 d 生物胺的含量就达到了峰值, 较高的发酵温度促使蛋白质的水解和脱羧酶反应速率增加, 生物胺生成趋势变快。但是随着发酵时间的延长, 较高的温度导致酱油中水分的蒸发速度相对较低温时更为迅速。因此酱油中盐水浓度不断上升, 渗透压不断增加, 从而抑制氨基酸脱羧酶的产生, 进一步抑制了生物胺的产生, 在发酵结束后, 40 °C 发酵温度的酱油中生物胺含量为 368.9 mg/L。此外较高的温度促使美拉德反应的产生, 导致氨基酸与还原糖结合, 氨基酸含量下降, 此实验结果与报道一致<sup>[35]</sup>。同时, 如图 6(b)所示, 在发酵 120 d 后, 20 °C 下发酵酱油的生物胺中酪胺的含量明显高于 30 °C、40 °C 下发酵的酱油, 而 30 °C

下发酵酱油的生物胺中组胺的含量高于 20 °C、40 °C 下发酵的酱油。

### 2.6 酵母添加量对酱油发酵过程中生物胺产生的影响

酱油发酵阶段加入的酵母在一定程度上改变了酱油中各种物质的溶解度和浓度。同时, 也会对微生物的生长、代谢产生影响。为了探究酵母添加量对生物胺产生的影响, 考察了不同酵母添加量(0.05%、0.10%、0.15%)下, 酱油发酵过程中生物胺的变化规律。

如图 7(a)所示, 随着发酵时间的延长, 不同酵母添加量的酱油在发酵过程中总生物胺的产生情况均为先增加后下降。0.05%、0.10%、0.15% 酵母添加量发酵的酱油中生物胺含量峰值依次为 524.43、551.26、595.43 mg/L, 其中 0.15% 酵母添加量的酱油中生物胺含量最高, 0.05% 酵母添

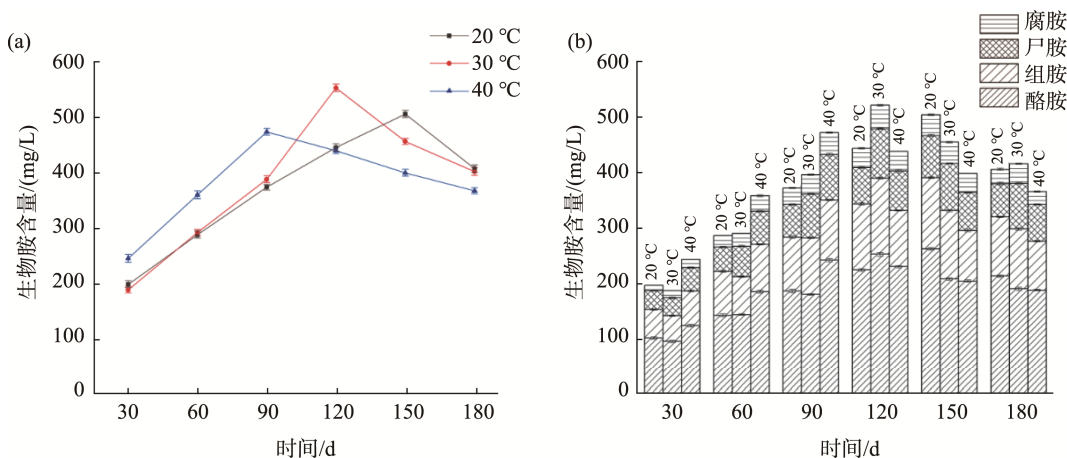


图 6 发酵温度对酱油发酵过程中生物胺产生的影响(a)和在不同发酵温度下总生物胺的组成分析(b)  
Fig.6 Effects of fermentation temperature on biogenic amines production during soy sauce fermentation (a) and composition analysis of total biogenic amines at different fermentation temperatures (b)

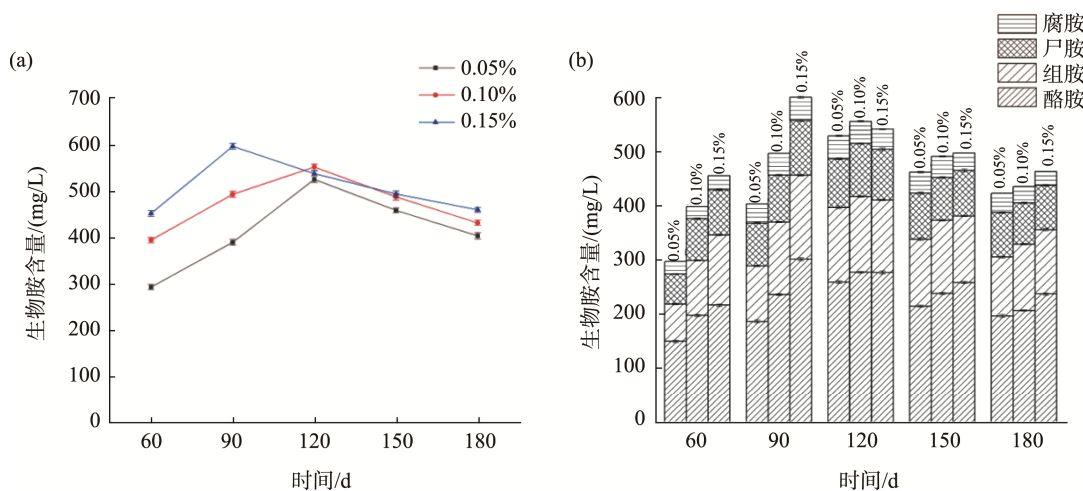


图 7 酵母添加量对酱油发酵过程中生物胺产生的影响(a)和在不同酵母添加量下总生物胺的组成分析(b)  
Fig.7 Effects of yeast addition on biogenic amine production during soy sauce fermentation (a) and composition analysis of total biogenic amines under different yeast addition (b)

加量的酱油中生物胺含量最低,为 403.45 mg/L。生物胺含量随着酵母接种量的增加而增加,可能是酵母菌的添加导致酱油中氨基酸脱羧酶增加,该结论与朱子桂<sup>[35]</sup>研究的酵母添加量对酱油中生物胺的影响结论一致。同时,如图 7(b)所示,酵母添加量对酱油中生物胺组成和占比影响不大。

由上述结果可得,随发酵时间延长,生物胺的含量呈现先增加后降低的趋势。可能是发酵体系中产生物胺的微生物生长受到抑制导致氨基酸脱羧酶催化活性下降。而且在长期发酵过程中自然接种一部分能够降解生物胺的微生物,并在发酵后期成为优势菌群从而使得生物胺含量下降<sup>[36]</sup>。

通过发酵温度实验发现,当温度较高时,生物胺生成速率较快,但生物胺总量变低,提示可以通过提升温度来促进发酵进程,抑制生物胺的生成。值得注意的是,较高的发酵温度虽然可以降低生物胺的含量,但由于其具有选择性,可能会导致菌种相对单一,酱油风味受到影响,同时酱油所能存储的时间也相对较短。

此外通过盐水浓度实验表明,适量提高盐水浓度,能够显著性抑制生物胺的产生,因为高盐水浓度带来的高渗透压使得生物胺的生成受到更为明显的抑制,推测为高浓度渗透压破坏了酶的蛋白结构,抑制了微生物的生长,导致氨基酸脱羧酶的催化作用受到了抑制,因此在高浓度盐溶液下,酱油中的生物胺含量较少。

酵母添加量对生物胺的产生有重要影响,实验结果表明,在超过一定限度的酵母接种情况下,酵母菌生长较为迅速,导致生物胺在前期过程中大量积聚。同时酵母过度繁殖导致酱油中糖分被应用于微生物生长,其产生醇相对较少,因此风味较为寡淡。较低的酵母接种量下生物胺总量最低,但酵母数量较少导致其产生乙醇能力受到抑制,也会造成风味比较寡淡的现象。

### 3 结 论

本研究探索了在不同温度、发酵时长、盐水浓度、酵母接种量对于生物胺产生的影响。发现在 40 °C 的温度下,酱油发酵结束后的生物胺含量最低,为 368.9 mg/L;在盐水浓度为 25% 时,酱油发酵结束后的生物胺含量最低,为 376.41 mg/L;酵母添加量为 0.05% 时,酱油发酵结束后的生物胺含量最低,为 403.45 mg/L。生物胺作为酱油发酵过程中的有害物质,其含量过高会对人体健康产生一定影响,通过改变盐水浓度、发酵温度和酵母添加量,可以有效抑制酱油发酵过程中生物胺的形成,从而有效提高酱油的安全性。但本研究中所述实验仍有一定不足,即所设定梯度范围相对较大,且只对酱油发酵过程中部分因素进行了探究,后续可复合添加菌种、改变酱油发酵的 pH 等多个方面进行优化,提升酱油的品质。还可以对酱油发酵过程中降解生物胺的微生物进行筛选研究,减少酱油发酵过程中的生物胺的生成。

### 参考文献

- [1] 王真,陈超,纪晓萌,等. 酱油鲜味物质及其检测方法研究进展[J]. 中国酿造, 2024, 43(8): 7-12.  
WANG Z, CHEN C, JI XM, *et al.* Research progress of umami substances in soy sauce and its detection methods [J]. *China Brewing*, 2024, 43(8): 7-12.
- [2] SU NW, WANG ML, KWOK KF, *et al.* Effects of temperature and sodium chloride concentration on the activities of proteases and amylases in soy sauce koji [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(5): 1521-1525.
- [3] YAN FZ, WEN YT. Flavor and taste compounds analysis in Chinese solid fermented soy sauce [J]. *African Journal of Biotechnology*, 2009, 8(4): 673-681.
- [4] 程宇勤,崔春,冯云子. 生物酶改善原酿酱油品质的研究进展[J]. 现代食品科技, 2024, 40(7): 334-342.  
CHENG YQ, CUI C, FENG YZ. Research progress on improving the quality of raw soy sauce with biological enzymes [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2024, 40(7): 334-342.
- [5] LIU H, CHEN X, WU LD. Evaluation of the differences between low-salt solid-state fermented soy sauce and high-salt diluted-state fermented soy sauce in China: From taste-active compounds and aroma-active compounds to sensory characteristics [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2024, 104(1): 340-351.
- [6] JIANG X, PENG D, ZHANG W, *et al.* Effect of aroma-producing yeasts in high-salt liquid-state fermentation soy sauce and the biosynthesis pathways of the dominant esters [J]. *Food Chemistry*, 2020, 344(1): 128681.
- [7] TRS G, YANKOLU RS, CEYLAN B, *et al.* A review of the currently developed analytical methods for the determination of biogenic amines in food products [J]. *Food Chemistry*, 2023, 398: 133919.
- [8] YONG ML, XIAO HC, MEI J, *et al.* Biogenic amines in Chinese soy sauce [J]. *Food Control*, 2009, 20(6): 593-597.
- [9] STUTE R, PETRIDIS K, STEINHART H, *et al.* Biogenic amines in fish and soy sauces [J]. *European Food Research and Technology*, 2002, 215(2): 101-107.
- [10] ZHANG Y, SHAN B, GONG JH. Mechanism of biogenic amine synthesis of *Enterococcus faecium* isolated from Sanchun ham [J]. *Food Science and Nutrition*, 2022, 10(6): 2036-2049.
- [11] LI J, HUANG H, FENG W, *et al.* Dynamic changes in biogenic amine content in the traditional brewing process of soy sauce [J]. *Journal of Food Protection*, 2019, 82(9): 1539-1545.
- [12] 张殿伟,张玉华,马元辰,等. 发酵食品中生物胺检测技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(20): 140-151.  
ZHANG DW, ZHANG YH, MA YC, *et al.* Research progress on detection technology of biogenic amines in fermented foods [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(20): 140-151.
- [13] 刘威,董浩,曾晓房,等. 酱油发酵过程中生物胺生成影响因素及其调控研究进展[J]. 中国调味品, 2022, 47(12): 201-204, 208.  
LIU W, DONG H, ZENG XF, *et al.* Research progress on influencing factors and regulation of biogenic amines in soy sauce fermentation [J]. *China Condiment*, 2022, 47(12): 201-204, 208.
- [14] 罗璇,程成,张琦,等. 发酵豆制品理化性质与微生物群落对生物胺形成的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(14): 72-78.  
LUO X, CHENG C, ZHANG Q, *et al.* Effects of physicochemical properties of fermented bean products and microbial communities on biogenic amines [J]. *Food Science*, 2023, 44(14): 72-78.

- [15] 何一龙, 刘晓艳, 白卫东, 等. 高盐稀态酱油中生物胺的差异性分析[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(4): 178–184.  
HE YL, LIU XY, BAI WD, *et al.* Difference analysis of biogenic amines in high-salt soy sauce [J]. Food and Fermentation Industry, 2022, 48(4): 178–184.
- [16] 沙丽娜, 吐尔洪·买买提, 阿孜古丽·衣该木, 等. 建立检测酱油中8种生物胺的液相色谱-串联质谱方法(LC-MS)[J]. 中国调味品, 2020, 45(11): 151–156.  
SHA LN, TUERHONG MMT, AZIGULI YGM, *et al.* A liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS) method was established for the detection of 8 biogenic amines in soy sauce [J]. China Condiment, 2020, 45(11): 151–156.
- [17] MUNIR MA, INAYATULLAH A, BADRUL HA. Fish analysis containing biogenic amines using gas chromatography equipped with flame ionization and mass spectrometer detectors [J]. Science and Technology of Nuclear Installations, 2021, 6(1): 1–7.
- [18] LUO W, CHEN X, XIAO G, *et al.* Evaluation of the biogenic amine composition of commercial mulberry fruit wines and improving its safety and quality by selected strain [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2024, 132: 106334.
- [19] 邓斯予, 曹立民, 隋建新. 发酵食品加工与贮藏过程中生物胺的控制研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(1): 156–164.  
DENG SY, CAO LM, SUI JX. Research progress on the control of biogenic amines during the processing and storage of fermented foods [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(1): 156–164.
- [20] SHALABY AR. Significance of biogenic amines to food safety and human health [J]. Food Research International, 1996, 29(7): 675–690.
- [21] MOHAMMED GI, BASHAMMAKH AS, ALSIBAAI AA, *et al.* A critical overview on the chemistry, clean-up and recent advances in analysis of biogenic amines in foodstuffs [J]. TrAC-Trend in Analytical Chemistry, 2016, 78: 84–94.
- [22] 陶鑫, 王章成, 马成章. HPLC法测定食品中组胺的研究[J]. 安徽化工, 2024, 50(4): 119–124.  
TAO X, WANG ZC, MA CZ. Study on determination of histamine in food by HPLC [J]. Anhui Chemical Industry, 2024, 50(4): 119–124.
- [23] 刘燕, 王英, 林伟. 全自动凯氏定氮仪测定酱油中全氮的方法探讨[J]. 食品安全导刊, 2024(6): 110–112.  
LIU Y, WANG Y, LIN W. Discussion on determination of total nitrogen in soy sauce by automatic Kjeldahl nitrogen analyzer [J]. China Food Safety Magazine, 2024(6): 110–112.
- [24] 包国庆, 徐艳伟, 杨蕾, 等. 仪器法检测酱油全氮的研究与推广[J]. 轻工科技, 2018, 34(2): 107–108, 172.  
BAO GQ, XU YW, YANG L, *et al.* Research and popularization of measuring total nitrogen in soy sauce by instrumental method [J]. Light Industry Science and Technology, 2018, 34(2): 107–108, 172.
- [25] 丁婷婷, 赵悦, 张梦丽, 等. 不同盐度对酱油发酵中酵母自溶及酱油风味的影响[J]. 中国调味品, 2023, 48(7): 14–19.  
DING TT, ZHAO Y, ZHANG ML, *et al.* Effects of different salinities on yeast autolysis and soy sauce flavor in soy sauce fermentation [J]. China Condiment, 2023, 48(7): 14–19.
- [26] 钱雨林, 闫贞卓, 李兆杰, 等. 两种发酵工艺下低盐固态酱油中生物胺的变化[J]. 中国酿造, 2012, 31(6): 115–118.  
QIAN YL, YAN YZ, LI ZJ, *et al.* Changes of biogenic amines in low-salt solid soy sauce under two fermentation processes [J]. China Brewing, 2012, 31(6): 115–118.
- [27] 冯浩非, 李琼, 陶燕, 等. 滴定法测定酱油中氨基酸态氮含量的不确定度评定[J]. 食品安全导刊, 2024(9): 80–83.  
FENG HF, LI Q, TAO Y, *et al.* Evaluation of uncertainty in determination of amino acid nitrogen content in soy sauce by titration [J]. China Food Safety Magazine, 2024(9): 80–83.
- [28] 王承玲, 李银萍, 孔新月. 高盐稀态酱油中全氮、氨基酸态氮、铵盐含量的测定与分析[J]. 现代食品, 2022, 28(21): 183–187.  
WANG CL, LI YP, KONG XY. Determination and analysis of total nitrogen, amino acid nitrogen and ammonium salt in high-salt dilute soy sauce [J]. Modern Food, 2022, 28(21): 183–187.
- [29] 阮志强, 董玺梅, 蒋雪薇, 等. 高盐稀态酱油发酵优势真菌与风味物质相关性分析[J]. 食品科学, 2022, 43(10): 172–179.  
YUAN ZQ, DONG XM, JIANG XW, *et al.* Correlation analysis between dominant fungi and flavor substances in high-salt dilute soy sauce fermentation [J]. Food Science, 2022, 43(10): 172–179.
- [30] 韩月婷, 蔡静, 邱鹤翔, 等. 酱油曲发酵过程中微生物群落演替及其与挥发性风味物质的相关性[J]. 食品科学, 2024, 45(19): 57–64.  
HAN YT, CAI J, QIU HX, *et al.* Microbial community succession and its correlation with volatile flavor substances during soy sauce koji fermentation [J]. Food Science, 2024, 45(19): 57–64.
- [31] 张心愿, 王辉, 陈向东, 等. 基于响应面法优化紫苏酱油关键生产工艺[J]. 中国调味品, 2023, 48(11): 108–114.  
ZHANG XY, WANG H, CHEN XD, *et al.* Optimization of key production technology of perilla soy sauce based on response surface methodology [J]. China Condiment, 2023, 48(11): 108–114.
- [32] 黄佳玲, 刘建华, 刘艳梅, 等. 种曲接种量对酱油制曲及发酵的影响[J]. 食品安全导刊, 2023(25): 143–147, 151.  
HUANG JL, LIU JH, LIU YM, *et al.* Effect of inoculation amount of seed koji on soy sauce koji-making and fermentation [J]. China Food Safety Magazine, 2023(25): 143–147, 151.
- [33] 曾新安, 韦桂凤, 李嘉洪, 等. 市售酱油产品生物胺含量的检测与食用安全性分析[J]. 现代食品科技, 2024, 40(8): 327–338.  
ZENG XAN, WEI GF, LJH, *et al.* Detection of biogenic amines in soy sauce products and analysis of food safety [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(8): 327–338.
- [34] 刘慕收. 酱油中生物胺检测及生产过程中的动态变化研究[D]. 佛山: 佛山科学技术学院, 2022.  
LIU MZ. Detection of biogenic amines in soy sauce and dynamic changes during production [D]. Foshan: Foshan Institute of Science and Technology, 2022.
- [35] 朱子桂. 高盐稀态酱油酿造过程中生物胺累积的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2023.  
ZHU ZG. Study on biogenic amine accumulation in the process of high-salt dilute soy sauce brewing [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2023.
- [36] 于金芝, 徐峰, 徐莹. 高盐稀态酱油生产过程中的生物胺变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(10): 44–49.  
YU JZ, XU F, XU Y. Changes of biogenic amines during the production of high-salt and dilute soy sauce [J]. Food and Fermentation Industry, 2016, 42(10): 44–49.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)