

# 成品变质酱油中微生物的分离鉴定及变质原因分析

## Identification of contamination microbes separated from finished deterioration sauce and analysis of deterioration reason

蒋雪薇<sup>1</sup> 周尚庭<sup>1,2</sup> 叶菁<sup>1</sup> 徐一奇<sup>1</sup> 陈胜<sup>2</sup> 吴灿<sup>2</sup>

JIANG Xue-wei<sup>1</sup> ZHOU Shang-ting<sup>1,2</sup> YE Jing<sup>1</sup> XU Yi-qi<sup>1</sup> CHEN Sheng<sup>2</sup> WU Can<sup>2</sup>

(1. 长沙理工大学化学与生物工程学院, 湖南 长沙 410004; 2. 加加食品集团股份有限公司, 湖南 长沙 410600)

(1. College of Chemical & Biological engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 2. Changsha Jiajia Food Co., Ltd., Changsha, Hunan 410600, China)

**摘要:**为了解决杀菌后微生物检测合格的成品酱油出现的变质问题,首先确定成品酱油的最佳杀菌工艺为 130 °C/15 s,通过对杀菌后各工序的微生物检测发现:过滤环节添加的硅藻土中好氧及厌氧培养活菌数分别为  $4.9 \times 10^3$ ,  $3.1 \times 10^3$  CFU/mL,可以判定硅藻土为主要污染源。分离硅藻土及成品变质酱油中的污染菌,并对其进行 16S rDNA 序列分析,确定导致成品酱油变质的细菌为:*Bacillus licheniformis*、*Bacillus megaterium*、*Bacillus halodurans*。该 3 种芽胞杆菌在硅藻土样品中也同样出现,进一步证明了硅藻土被污染是导致成品酱油变质的主要原因。建议酱油生产厂家加强对硅藻土的微生物检测,采用膜过滤替换硅藻土板框过滤,以防控成品酱油因微生物污染引起的变质。

**关键词:**成品变质酱油;硅藻土板框过滤;污染菌;16S rDNA 序列分析

**Abstract:** The sterilization effect of soy sauce under different conditions were studied, the optimal parameter is 130 °C maintained 15 s. Tracking and analyzing the degree of pollution with each process of sterilization- filling and diatomite, the result showed that the aerobic and anaerobic viable count of the sterilized sauce reached its peak after adding the diatomite in the frame filtering process, the total number of bacteria are  $4.9 \times 10^3$  CFU/mL and  $3.1 \times 10^3$  CFU/mL respectively, the diatomite is the contamination source and the filtration process is the main contamination point. Separation of contamination microbes in diatomite and finished deterioration sauce, analyzing their 16S rDNA sequence, they are identified as *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus halodurans*, that cause the finished sauce deterioration. These strains also appeared in the

sample of diatomite, further evidenced the diatomite is the main contamination source. Base on this, the soy sauce manufacturers are suggested strengthening the microbial testing of diatomite, replacing diatomite frame filter with membrane filtration, preventing the deterioration of finished sauce caused by microbial contamination.

**Keywords:** finished deterioration sauce; diatomite frame filter; contamination microbes; 16S rDNA sequence analysis

酿造酱油的生产主要有低盐固态法和高盐稀态法两种工艺<sup>[1-2]</sup>。由于酱油在发酵过程中添加了较多的食盐,不适于微生物生长,酱油生产工艺相对比较开放,发酵管理也比较粗放<sup>[3]</sup>。其开放的发酵工艺使环境中的微生物在酱油发酵过程中自然接种,形成了酱油独特的风味<sup>[4]</sup>,但同时也使酱油生产易产生杂菌污染,导致成品酱油变质<sup>[5]</sup>。成品酱油微生物污染引起的变质现象主要有变酸、变馊、胀气、混浊等,多数由好氧或厌氧的细菌污染引起<sup>[6-7]</sup>。张晓丽等<sup>[8]</sup>从胀袋酱油中分离出巨大芽胞杆菌,经实验验证其可以在酱油中产气,影响酱油品质;郭天文等<sup>[9]</sup>在分析酱油货架期胀袋、爆瓶原因时,提出耐热芽胞杆菌可能导致酱油变质现象。基于此,业界通常认为成品酱油变质的原因是杀菌不严导致的,所以以往对成品酱油变质的微生物污染来源的研究主要集中在原料蒸煮、种曲培养、制曲、盐卤发酵等环节<sup>[10-11]</sup>,对成品酱油杀菌及灭菌后各工序的研究迄今未见相关报道。本课题组在研究杀菌及杀菌后工序时发现:高温瞬时杀菌后的酱油的微生物检测合格,但依旧有相当数量的出厂成品酱油变馊,变质酱油中难以检出污染微生物,这些现象表明成品酱油在杀菌后的工序中发生了二次污染,二次污染的关键环节和污染物亟需进一步确定。为此,本研究拟首先检测不同杀菌工艺条件下酱油中的微生物菌落,再对杀菌后各工序环节进行微生物检测,找出污染关键点,分离并鉴定变质酱油中的污染菌,分析研究其变质原因,并提出有效的防控策

**基金项目:**长沙市科技计划重大专项(编号:K1404052-21,K1502032-21);湖南省科技计划项目(编号:2013FJ4036)

**作者简介:**蒋雪薇(1972—),女,长沙理工大学副教授,博士,硕士生导师。E-mail:jxw\_72@sina.com

**收稿日期:**2015—10—14

略,旨在为成品酱油的变质问题提供有效的解决方案。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 样品

酿造酱油:杀菌后样、滤前样、滤后各时间段样、储罐样、已变质成品酱油样,均取样于湖南某酱油厂同一生产线;

其他样品:空玻璃瓶样品、硅藻土样品(分别来自于吉林、四川),取样于同一酱油厂。

#### 1.1.2 培养基

细菌筛选培养基、分离纯化培养基:均采用牛肉膏蛋白胨培养基<sup>[12]</sup>。

#### 1.1.3 仪器

显微成像系统:Eclipse E200型,尼康仪器(上海)有限公司;

PCR扩增仪:VERITI型,美国AB公司;

电泳仪:DYY-12型,北京市六一仪器厂;

凝胶成像系统:Champ Gel5000(增强型),北京赛智公司;

高速离心机:TGL-16G台式,常州诺基仪器有限公司。

#### 1.1.4 主要试剂

蛋白胨、牛肉膏、琼脂粉:广东环凯微生物科技有限公司;

PCR扩增试剂盒:生工生物工程(上海)股份有限公司;

27F、1492R引物:天根生化科技有限公司;

2×Taq Msater Mix、DL2000 Plus DNAMarker、Gold ViewI型核酸染色剂:南京唯赞生物科技有限公司。

### 1.2 方法

1.2.1 不同工艺杀菌效果的分析 采用目前常用的3种酱油杀菌工艺:85℃/30 min,115℃/15 s,130℃/15 s对酱油进行杀菌;杀菌后酱油采样,10倍系列稀释后,进行好氧及厌氧培养并检测活菌数,根据样品活菌数(CFU/mL)判断杀菌效果。

1.2.2 杀菌后各工序环节微生物检测 分别利用硅藻土及经80℃加热处理10 min的硅藻土对酱油进行过滤,10倍系列稀释后进行好氧及厌氧培养并检测活菌数,根据样品活菌数(CFU/g)判断其污染程度;取杀菌后酱油、过滤前加硅藻土酱油(简称:滤前加土)、过滤过程各时间段酱油(滤后0,15,30,45,60 min)、储罐酱油,10倍系列稀释后,进行好氧及厌氧培养并检测活菌数,根据样品活菌数(CFU/mL)判断其污染程度;取蒸汽杀菌后的酱油空瓶样品,将50 mL无菌生理盐水灌入空瓶内充分摇晃2 min,对洗涤水进行活菌计数。

#### 1.2.3 污染菌的分离及鉴定

(1) 污染菌的分离及染色镜检:对过滤所用硅藻土及变质酱油中分离到的污染菌进行多次平板稀释分离,革兰氏染色镜检。

(2) 污染菌的分子生物学鉴定<sup>[13-14]</sup>:取2 μL于37℃摇瓶培养24 h的牛肉膏蛋白胨液体培养基培养的菌液作为

PCR模板,选用细菌通用引物27F和1492R作为引物,进行PCR扩增。PCR反应体系:50 μL反应体系中共含有PCR Premix 25 μL,Forward primer (10 pmol/μL) 2 μL,Reverse primer (10 pmol/μL) 2 μL,模板2 μL,ddH<sub>2</sub>O 19 μL;反应条件:预变性94℃ 5 min;变性94℃ 1 min、退火55℃ 1 min、延伸72℃ 1.5 min,30个循环;最后72℃延伸5 min。用琼脂糖凝胶电泳检测PCR产物,电泳条件:80 V恒压,时间20~30 min。将目的DNA片段切出,放入1.5 mL的Ep管中;寄往上海生工测序。测序结果采用NCBI搜索数据库进行序列的同源性比较分析,并用MAGE 5.0软件构建系统发育进化树。

## 2 结果与分析

### 2.1 灭菌工艺对酱油杀菌效果的影响

传统的酱油杀菌采用巴氏杀菌(85℃/30 min),难以杀死耐热的芽胞杆菌。随着杀菌技术及设备的发展,目前许多酱油生产企业开始采用高温瞬时杀菌技术,该工艺除了能有效杀灭微生物外,还能使酱油中糖的羰基和氨基酸的氨基产生美拉德反应,形成对酱油色泽及风味有利的物质<sup>[15]</sup>,这是酱油生产企业杀菌工艺发展的方向。由图1可知:130℃/15 s时酱油杀菌效果最好,好氧及厌氧活菌计数结果为未检出及50 CFU/mL,说明成品酱油的变质应为杀菌后工序污染引起。

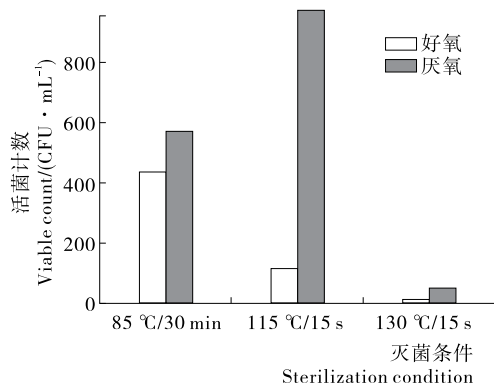


图1 不同杀菌条件下酱油的活菌计数

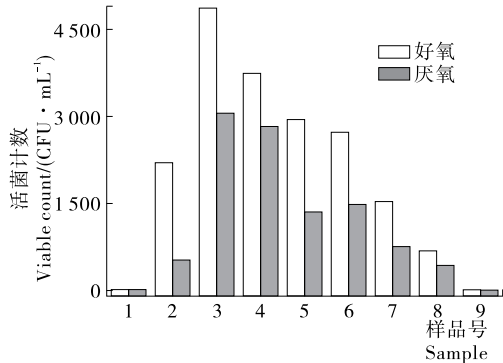
Figure 1 CFU of sauce in different sterilizing conditions

### 2.2 杀菌后各工序环节微生物检测结果与分析

由图2可知:杀菌酱油加硅藻土后(滤前加土样品)好氧及厌氧培养活菌数由未检出及50 CFU/mL上升至 $2.2 \times 10^3$  CFU/mL及 $5.3 \times 10^2$  CFU/mL,此环节外加的物质仅有硅藻土,可以判断,硅藻土的加入使本来已达到要求的杀菌酱油受到了二次污染。进入过滤环节,活菌数有一个先上升后下降的过程,这是因为过滤初期,由硅藻土带入的污染菌在杀菌酱油中增殖,而硅藻土的滤层还未形成,增殖的污染菌进入滤后的酱油中,这使得在滤后第一时间(滤后0 min)采样时,酱油中的好氧及厌氧培养活菌数达到了顶峰,分别为 $4.9 \times 10^3$ ,  $3.1 \times 10^3$  CFU/mL;随着过滤时间的延长,滤层逐步形成,增殖的污染菌被滤层阻隔,其数量呈现出下降的趋势。

储罐中的活菌计数结果小于过滤环节,好氧及厌氧培养活菌计数分别为  $6.9 \times 10^2$ ,  $4.4 \times 10^2$  CFU/mL,其主要原因是储罐液层厚度较大,致使液层下面的好氧菌因缺氧导致死亡,所以数量有所减少。而蒸汽杀菌后酱油空瓶活菌计数显示为未检出,排除了包装物带菌的可能。

杀菌—灌装中各工序污染程度分析结果可以发现:助滤剂硅藻土是成品酱油污染的主要来源,好氧及厌氧培养计数结果表明,好氧菌数量大于厌氧菌数量,说明成品酱油中的污染菌主要是好氧菌及兼性厌氧菌。



样品 1~9 分别为: 130 °C/15 s 杀菌后的酱油、过滤前加硅藻土后的酱油、滤后 0 min 的酱油、滤后 15 min 的酱油、滤后 30 min 的酱油、滤后 45 min 的酱油、滤后 60 min 的酱油、储罐中的酱油、蒸汽杀菌后的空瓶

图 2 杀菌—灌装各工序活菌变化趋势

Figure 2 The viable trends of CFU of each step in sterilization-filling process

### 2.3 硅藻土污染程度分析

酱油杀菌后会产生热凝固物,需过滤去除,目前生产企业常用加压过滤的方法去除。由于酱油粘度较高,过滤时需要加入助滤剂——硅藻土,从上述各工序污染分析上可以看出硅藻土是污染源。对生产中使用的硅藻土样品进行了活菌计数分析,根据产芽孢细菌营养体的不耐热性,设计了 80 °C/10 min 的硅藻土杀菌方案,根据杀菌后硅藻土活菌培养结果判断硅藻土污染菌是否为耐热的芽孢杆菌,为后期工艺改进提供依据。由图 3 可知,来自四川的硅藻土污染菌好氧及厌氧培养分别为  $5.0 \times 10^3$ ,  $4.9 \times 10^3$  CFU/mL,经过 80 °C/10 min 灭菌处理后,污染菌计数结果均下降一个数量级,菌数明显减少,说明四川的硅藻土主要污染微生物是不耐热的细菌;而来自吉林的硅藻土污染程度较高,好氧及厌氧培养分别为  $4.8 \times 10^4$ ,  $4.9 \times 10^3$  CFU/mL,经过 80 °C/10 min 灭菌处理后,污染菌计数结果数量级不变,菌数下降不明显,说明吉林硅藻土主要污染微生物是耐热的芽孢杆菌。从硅藻土污染程度分析可以判断,酱油杀菌后的污染源为助滤剂硅藻土。

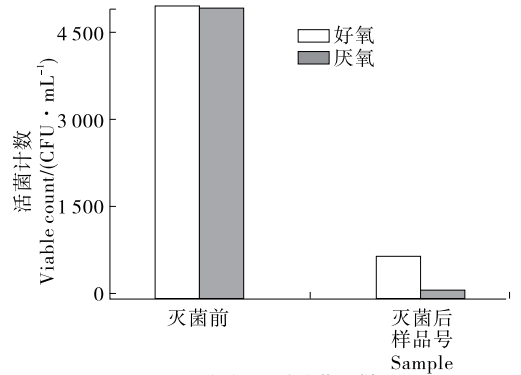
### 2.4 污染菌的分离及鉴定

2.4.1 形态学鉴定 对变质酱油及硅藻土样品进行多次平板分离,结合变质验证实验筛选出 4 株导致酱油变质的污染菌,分别为 2#、5#、8#、9# 菌,对其进行革兰氏染色鉴定,

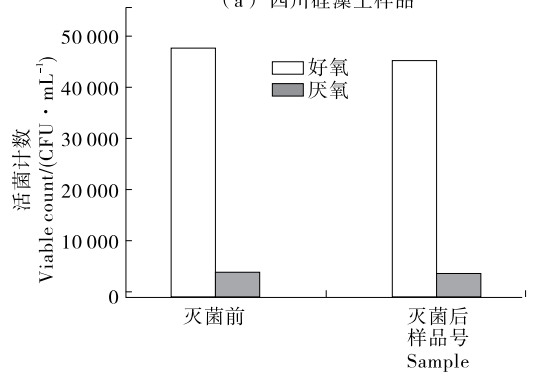
结果见图 4。由图 4 可知,2#、5#、8#、9# 均为杆菌,且全部为革兰氏阳性菌,其中 2#、5# 菌镜检有典型的芽孢。

2.4.2 分子生物学鉴定 对所分离的 4 株污染菌进行 16S rDNA 序列扩增,PCR 产物进行琼脂糖电泳,结果见图 5。由图 5 可知,4 株菌的 16S rDNA 序列扩增产物在 1 500 bp 左右形成一条明显的条带,与预期结果相符,可用于测序。

16S rDNA 序列分析得出菌株 2#、5#、8#、9# 的长度分别为 1 460,1 427,1 359,1 469 bp,符合 16S rDNA 序列大小。将测序结果通过 NCBI 中的 Blastn 搜索数据库进行序



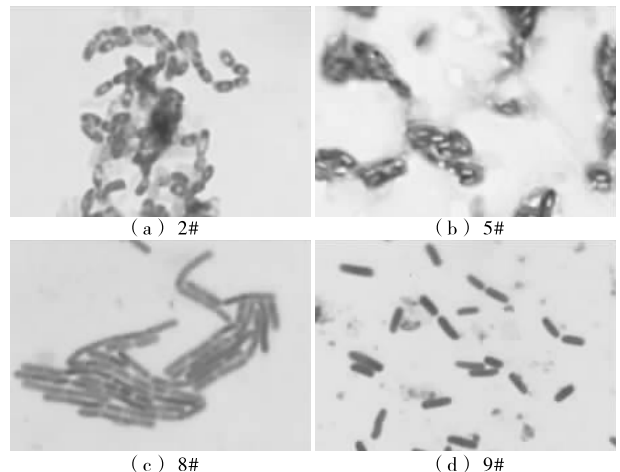
(a) 四川硅藻土样品



(b) 吉林硅藻土样品

图 3 不同来源的硅藻土污染程度分析

Figure 3 Analysis on contamination degree of diatomite from different sources



(c) 8#

(d) 9#

图 4 污染菌革兰氏染色结果

Figure 4 The results of Gram stain with contaminating bacteria (1 000 ×)

列的同源性比较分析,并以此为基础,在前100个序列中选取相关菌株的16S rDNA,用MAGE 5.0软件进行系统发育树的构建,其遗传发育树见图6。根据16S rDNA序列及遗传发育图谱分析,从成品变质酱油及硅藻土中分离的4株污染菌经鉴定:2#、5#菌为地衣芽胞杆菌(*Bacillus licheniformis*),8#菌为嗜盐芽胞杆菌(*Bacillus halodurans*),9#菌为巨大芽胞杆菌(*Bacillus megaterium*)(见表1)。

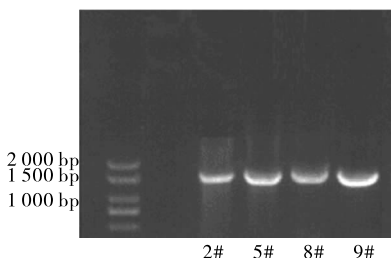


图5 4株污染菌16S rDNA序列片段电泳图

Figure 5 Electrophoresis of 16S rDNA sequence of four contaminating bacteria

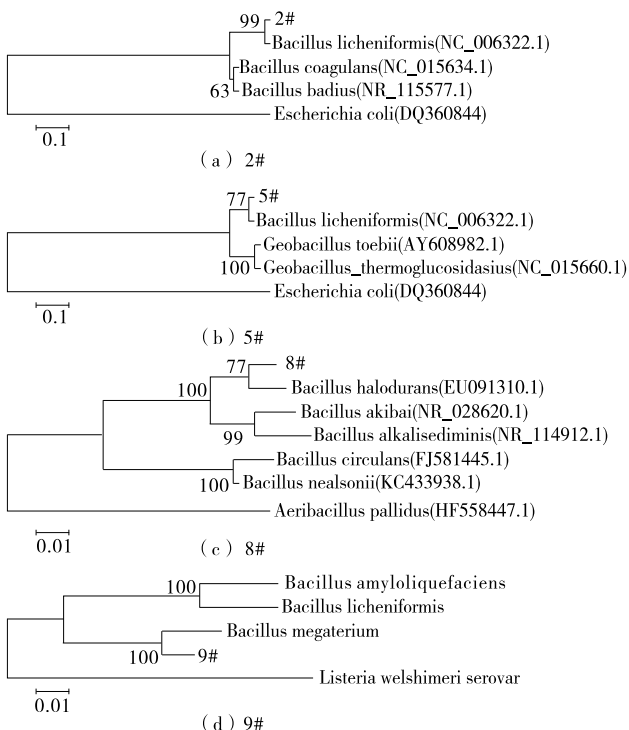


图6 污染菌基于16S rDNA序列同源性构建的系统发育树

Figur 6 Phylogenetic tree of contamination strains based on 16S rDNA sequence homology

表1 污染菌鉴定结果

Table 1 Identification results of four strains

菌株编号	来源	16S rDNA 序列分析结果
2#	变质酱油、硅藻土	地衣芽胞杆菌( <i>Bacillus licheniformis</i> )
5#	变质酱油、硅藻土	地衣芽胞杆菌( <i>Bacillus licheniformis</i> )
8#	变质酱油、硅藻土	嗜盐芽胞杆菌( <i>Bacillus halodurans</i> )
9#	变质酱油、硅藻土	巨大芽胞杆菌( <i>Bacillus megaterium</i> )

## 2.5 成品酱油变质胀瓶原因分析

所分离鉴定的3种污染菌均为耐盐性较好的菌株,适合在成品酱油这样高盐的环境中生长,能发酵糖产酸产气,导致酱油变酸、胀气;其中地衣芽胞杆菌及巨大芽胞杆菌还具有产胞外多糖的能力,因而能产生黏液,污染成品酱油后会产生絮状沉淀,从而导致成品酱油出现混浊<sup>[16]</sup>;地衣芽胞杆菌能厌氧发酵葡萄糖生成2,3-丁二醇和甘油,2,3-丁二醇是生成中性甜味物质双乙酰的前体<sup>[17]</sup>,双乙酰的过量生成是导致酱油变馊的主要原因;巨大芽胞杆菌对明胶等大分子物质降解较快,污染后易造成酱油中营养及风味物质迅速降解,使酱油风味变寡变劣<sup>[8]</sup>。3种污染菌的这些代谢特性能引起成品酱油出现变酸、变馊、胀气、混浊等变质现象。可以说,杀菌后开放过滤环节的再污染是成品酱油变质的主要原因,引起成品酱油变质的主要微生物为巨大芽胞杆菌、地衣芽胞杆菌及嗜盐芽胞杆菌,前两种起了主要的作用。

这3种污染菌虽然是好氧菌,但其在厌氧及高盐条件下具有短暂的耐受能力,因此杀菌后的成品酱油在储罐中暂储及装瓶后的少氧及高盐环境条件不会导致它们迅速死亡,而是维持一定的生长和代谢,其代谢产物导致成品酱油出现变质现象,随着酱油中少量的氧被消耗殆尽,酱油中的污染菌也随之死亡,这就造成了成品变质酱油在存放1周后往往难以检出活菌,加大了分析变质原因的难度。

硅藻土作为目前成品酱油胀瓶变质的主要污染源,应该严格检验,防止带来污染。此外,在条件许可的情况下,可以考虑膜过滤设备替代硅藻土板框过滤,避免硅藻土污染,提高过滤效果<sup>[18]</sup>。

## 3 结论

成品酱油的变质多认为是杀菌不严谨造成的,本研究对比了目前酱油企业常采用的3种杀菌条件发现高温瞬时杀菌能达到较好的杀菌效果;追踪研究高温瞬时杀菌后的过滤—灌装工序,发现硅藻土过滤环节是成品酱油污染的重要位点,硅藻土带菌是杀菌后酱油污染的主要来源。

分离鉴定硅藻土及变质成品酱油中的污染菌,对其进行16S rDNA序列分析,确定了污染菌主要是地衣芽胞杆菌、巨大芽胞杆菌及嗜盐芽胞杆菌;根据污染菌的代谢特性,分析得出这3种菌有致成品酱油变质的可能,其中巨大芽胞杆菌及地衣芽胞杆菌风险较大;根据污染源及风险点的发现,提出了严控硅藻土带菌及膜过滤替代硅藻土板框过滤的防控方案,可为酱油企业微生物污染防控等生产管理提供依据。

酱油含盐量比较高,不适于微生物生长,同时,酿造酱油的卫生检测指标中细菌总数要求比较宽泛( $\leq 3.0 \times 10^4$  CFU/mL)<sup>[19-20]</sup>,可以说成品酱油微生物指标很容易达标,因此,成品酱油中的微生物污染问题往往在检测时难以发现。酱油又属于风味浓郁的调味品,微生物污染引起的变酸变馊一般不易察觉,这也导致了成品酱油变质的发现比较滞后,给变质的研究带来了困难。目前对于成品酱油变质的研究较少且不系统,污染菌是通过怎样的代谢途径导致酱油变质的、其败坏风味的物质主要是什么、变质现象界定的具

体指标等问题还未见探讨,这将是今后需要进一步研究的问题。

### 参考文献

- [1] 车有荣. 低盐固态发酵酱油生产工艺的改进研究[J]. 中国酿造, 2002(6): 40-46.
- [2] 鲁肇元, 魏克强. 酿造酱油高盐稀态发酵工艺综述[J]. 中国调味品, 2006(1): 28-31.
- [3] 张宗舟, 陈志梅. 固态无盐和低盐混合发酵工艺的微生物区系分析[J]. 中国酿造, 2006(7): 42-43.
- [4] Wei Quan-zeng, Wang Hong-bin, Chen Zhi-xin, et al. Profiling of dynamic changes in the microbial community during the soy sauce fermentation process[J]. Appl. Microbiol. Biotechnol., 2013, 97(20): 9 111-9 119.
- [5] 赵谋明, 蔡宇, 冯云子, 等. HS—SPME—GC—MS/O 联用分析酱油中的香气活性化合物[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 204-212.
- [6] 张妍, 范志军. 高盐稀态发酵酱油生产工艺及危害分析[J]. 中国调味品, 2008, 33(4): 67-70.
- [7] Fumio N, Kazuya H, Takeji M. Antagonism between osmophilic lactic acid bacteria and yeasts in brine fermentation of soy sauce[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1980, 40(3): 452-457.
- [8] 张小丽, 蒋予箭, 李锋. 导致酱油胀袋微生物的分离与鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(7): 51-55.
- [9] 郭天文, 叶红. 解决酱油货架期涨袋, 爆瓶的探讨[J]. 中国酿造, 2010(3): 138.

- [10] 尚丽娟. 酱油制曲过程污染的危害与防治[J]. 中国调味品, 2012, 37(10): 38-40.
- [11] Andreas Degenhardt, Peter Winterhalter. Isolation and purification of isoflavones from soy flour by high-speed countercurrent chromatography[J]. Eur. Food Res. Technol., 2001, 213(4): 277-280.
- [12] 沈萍, 陈向东. 微生物学实验[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 241.
- [13] Zhu Qiang-long, Liu Shi, Gao Peng, et al. High-throughput sequencing technology and its application[J]. Journal of Northeast Agricultural University (English Edition), 2014, 21(3): 84-96.
- [14] 鲜乔, 张拥军. 几丁质酶产生菌黑木耳破壁的筛选及鉴定[J]. 食品与机械, 2009, 27(5): 38-41.
- [15] 包启安. 酱油科学与酿造技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011: 399-404.
- [16] 布坎南, 吉本斯. 伯杰细菌鉴定手册[M]. 中国科学院微生物研究所伯杰细菌鉴定手册翻译组, 译. 8 版. 北京: 科学出版社, 1984: 735-739.
- [17] 王莉, 林琳, 汪地强, 等. 应用 HS—GC—MS 法分析白酒中的双乙酰[J]. 酿酒科技, 2014(8): 91-93.
- [18] 李梅生, 赵宜江, 张艳, 等. 陶瓷微滤膜处理生酱油的工艺研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(1): 120-122.
- [19] 中国国家标准化管理委员会. GB 18186—2000 酿造酱油[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [20] 中国国家标准化管理委员会. GB 2717—2003 酱油卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

(上接第 45 页)

可以看出,当前社会上流通的方便面食品、饼干食品中铝含量满足国家规定要求,可以食用;糕点类食品中有一半以上的品牌铝含量超标,不满足国家规定要求,食用时需注意品牌选择;而油炸类食品中铝含量严重超标,社会上流通的该类食品没有一种达到国家标准。数据分析显示差异有统计学意义,因此建议在日常生活中尽量少吃油炸类食物。油炸类食品严重超标主要原因是该类食品在制作过程中,添加大量的铝添加剂,因此铝含量较高<sup>[6-8]</sup>。

综上所述,市面上常见面制品不满足国家对铝含量的控制要求<sup>[9]</sup>。为减少日常食品中铝元素摄入对人体的危害,建议采取以下措施:① 家用厨具尽量不用或者少用铝制厨具;② 在选择日常食品中尽量避免购买油炸类、糕点类等铝含量超标的食品;③ 对于食品生产企业在面制品生产过程中,要改进其生产工艺,使用新型无铝添加剂;④ 对于食品监管部门,加强对社会上销售面制品进行铝元素含量检测,对超标严重的食品采取停止销售、罚款、吊销营业执照等多种处罚措施<sup>[10]</sup>。

### 参考文献

- [1] 石建军. 食品中铝的测定及食源铝污染的初步研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010: 13-17.

- [2] 辛健康, 汪运珊, 冷攀梅. 抗酸铝微生物的分离与初步鉴定[J]. 六盘水师范高等专科学校学报, 2007, 19(3): 19-21.
- [3] 黄兆勇, 唐振柱, 宋悦华, 等. 面制食品中铝含量监测及人群暴露量评估[J]. 实用预防医学, 2009, 16(6): 1 764-1 765.
- [4] Moore P B, Day J P, Taylor G A, et al. Absorption of aluminum-26 in alzheimer's disease, measured using accelerator mass spectrometry[J]. Dementia & Geriatric Cognitive Disorders, 2000, 11(2): 66-69.
- [5] 李秀娟, 王丽, 刘召金, 等. 食品中铝含量测定的研究进展[J]. 广东化工, 2012, 39(14): 76-77.
- [6] 张梦晗, 陈宏, 封丽, 等. 食品中磷酸盐检测技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(19): 395-399.
- [7] 赵小青. 流动注射荧光法测定食品和饮料中甲醛的研究[D]. 陕西: 陕西师范大学, 2007: 23-25.
- [8] 梁俊杰, 姜海娟, 苏惠琴, 等. 面制食品中铝的测定方法及危害因素探讨[J]. 中国卫生检验杂志, 2010, 20(9): 2 345-2 346.
- [9] 邵笑梅, 张启华. 食源性铝的摄入及其安全性探讨[J]. 检验检疫学刊, 2011(5): 69-71.
- [10] Lian Hong-zhen, Bi Shu-ping, Chen Yi-jun, et al. Direct determination of aluminum in drinking and natural waters as 8-hydroxyquinoline chelate by RP—HPLC[J]. Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies, 2001, 24(2): 215-228.