

# 传统发酵豆制品生产过程中的安全隐患及改进措施

程教擘<sup>1</sup>, 谢艳华<sup>1</sup>, 刘金<sup>1</sup>, 陈力力<sup>1,2\*</sup>, 蒋立文<sup>1,2\*</sup>

(1. 湖南农业大学食品科技学院, 长沙 410128; 2. 湖南省食品科技和生物技术重点实验室, 长沙 410128)

**摘要:** 我国传统的发酵豆制品是以富含植物蛋白的大豆、豆粕等为主要原料, 通过发酵微生物酶的作用, 发酵水解生成多种氨基酸、各种糖及多种小分子化合物, 在经过复杂的生物化学变化形成的各种发酵制品, 包括腐乳、豆豉、豆酱、酱油等。传统发酵豆制品具有独特的风味、丰富的营养和保健功能深受大众喜爱。然而, 传统发酵豆制品特殊的生产方式使其原料加工、发酵生产、运输、贮藏过程中存在安全隐患, 影响产品质量的稳定性和食用的安全性, 因此发酵豆制品的食品安全性成为了目前研究的热点问题之一。文章从传统发酵豆制品的主要种类、产品风味及生产工艺特点, 生产原料的安全性问题, 发酵微生物的安全性问题, 发酵代谢产物的安全性问题等方面对传统发酵豆的生产过程及其产物的安全控制因素的现状和不足进行了分析, 并指出了发酵豆制品生产安全控制的改进措施, 旨在为相关企业生产管理提供参考。

**关键词:** 发酵豆制品; 食品安全; 豆豉; 腐乳; 酱油

## Potential safety hazards and improvement measures in the production of traditional fermented soybean products

CHENG Jiao-Bo<sup>1</sup>, XIE Yan-Hua<sup>1</sup>, LIU Jin<sup>1</sup>, CHEN Li-Li<sup>1,2\*</sup>, JIANG Li-Wen<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Hunan Provincial Key Laboratory of Food Science and Biotechnology, Changsha 410128, China)

**ABSTRACT:** The traditional fermented soybean products use soybean and soybean meal as the main raw materials. Through the fermentation of microbial enzymes, they are fermented into hydrolysis of various amino acids, sugars and a variety of small molecules. After complex biochemical changes, a variety of fermented products are made out, such as pickled tofu, bean paste, soy sauce, fermented black bean, etc. The traditional fermented bean products have a unique flavor, rich nutrition and health care functions, and are popular with the public. However, the special production methods of traditional fermented soybean products have potential safety problems in the process of raw material processing, fermentation, transportation and storage, and it affects the stability of the product quality and the safety of the food, so the food safety of fermented soybean products has become one of the hot topics. This paper

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371828)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31371828)

\*通讯作者: 陈力力, 教授, 主要研究方向为食品微生物及生物技术。E-mail: chenlili001@tom.com

蒋立文, 教授, 主要研究方向为食品微生物及生物技术。E-mail: 1024305380@qq.com

\*Corresponding author: CHEN Li-Li, Professor, College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, No.1, Nongda Road, Furong District, Changsha 410128, China. E-mail: chenlili001@tom.com

JIANG LI-Wen, Professor, College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, No.1, Nongda Road, Furong District, Changsha 410128, China. E-mail: 1024305380@qq.com

reviewed the production process of traditional fermented soybean products and the safety control factors of their products from the aspects of main types of fermented soybean products, the product flavor and the characteristics of the production process, the safety of raw materials, the safety of fermented microorganisms, the safety of fermentation metabolites and so on. The current situation and disadvantages of the processing technology were also analyzed in detail and improvement measures for safety control of fermented soybean production were also proposed.

**KEY WORDS:** fermented soybean products; food safety; Douchi; pickled tofu; soy sauce

## 1 引言

豆豉与豆酱、酱油、腐乳并列为我国四大传统发酵大豆制品,有着悠久的历史,是人们日常生活中不可缺少的基本食品之一。近几年我国食品加工工业发展迅速,由此,传统发酵豆制品的营养保健功能也日益引起世界各国食品界和医学界的高度重视<sup>[1]</sup>。人们已经了解到在有益微生物分泌的酶系作用下,大豆中的蛋白质、糖类、脂类等内源组分分子结构、空间构象、理化性质发生改变,形成独特的香气、滋味,提高贮藏性,从而产生发酵豆制品的营养功能性。同时有关发酵豆制品抗氧化、降血压、降血糖、溶血栓、抗突变等功能性也不断被揭示<sup>[2,3]</sup>。但是,由于传统发酵豆制品生产工艺的特殊性,发酵过程中易受原料品质波动、杂菌污染以及环境因素的影响,存在较大的安全隐患,如生物胺、丙烯酰胺、病原微生物及其毒素等内源性污染物已被学者进行研究<sup>[4,5]</sup>。本文就传统发酵豆制品生产过程中的安全性问题及改进措施进行概述,为发酵豆制品的安全生产管理及检测工作及同类研究奠定良好的基础。

## 2 传统发酵豆制品

### 2.1 豆豉及生产工艺

豆豉是一种以整粒大豆为原料,经浸泡、蒸煮、制曲、发酵等工序加工而成的,具有极高营养价值和医疗价值的酿造调味品<sup>[6]</sup>。我国豆豉生产历史悠久,品种繁多。按体态和商品名称可分为风味豆豉、干豆豉、水豆豉和淡豆豉等,按参与发酵的优势微生物菌群不同,可分为细菌型豆豉和霉菌型豆豉 2 大类。在国内不同地区生产工艺也有所不同。

细菌型豆豉参与发酵的主要微生物是枯草芽孢杆菌、小球菌及乳酸菌等,以四川的水豆豉为主,一般工艺流程为:大豆原料→挑选清洗浸泡→煮制、沥干→保温发酵→豆豉醅→混合配料→包装杀菌→成品<sup>[7]</sup>。大豆煮制后进行保温发酵,经细菌蛋白酶的水解作用产生多种氨基酸,增加产品的鲜味和营养价值,同时在保温过程中,由于呼吸热和分解热的积累,温度上不利于大部分细菌生长而产生一种粘液,形成细菌型豆豉特有的香味,加辅料调配后编织成了具有特色的风味食品,深受消费者欢迎<sup>[8,9]</sup>。然而,

李晓然等<sup>[10]</sup>选择云南豆豉为研究对象,使用焦磷酸高通量测序进行豆豉中的细菌群落分析发现,豆豉中乳酸杆菌和芽孢杆菌分别占序列总数的 72%和 10%,除这两种有益菌占据主要地位外,还发现了属于人类致病菌(*Shigella flexneri*)和植物病原菌(*Erwinia persicina*)的序列,显示出传统方法制作的豆豉中存在着食品安全隐患。

根据霉菌种类的不同,霉菌型豆豉分为毛霉型豆豉、米曲霉型豆豉、根霉型豆豉和脉孢霉型豆豉等<sup>[11]</sup>。曲霉型豆豉起源最早且分布最广,在国内以广东阳江豆豉和湖南浏阳豆豉最出名,其生产主要有前处理,制曲和后酵 3 大步骤,即精选大豆→浸泡→蒸煮→摊凉→上房→成曲→洗霉→拌料→后酵→晒干→豆豉。

一般在制成成曲后经过洗霉去除豆豉表面附着的孢子、菌丝和部分酶系,这不仅制约了分解反应的继续进行,保持可溶性物质,同时使米曲霉型豆豉产品保持颗粒完整、油润光亮的外形和特殊的风味。毛霉型豆豉的生产在重庆、四川较为普遍,其代表品牌主要是重庆永川豆豉、四川潼川豆豉以及四川三台豆豉,生产工艺主要为原料→浸泡→蒸煮→制曲→添加辅料→装坛发酵→晒曲→成品。制得的毛霉型豆豉以黑褐色、鲜香回甜、滋润化渣等特点而闻名。传统生产豆豉通过自然接种发酵模式。因此制曲的质量将直接影响到发酵的好坏,以及成品的质量优劣,制曲工艺过程的温度和湿度控制不当有可能出现花曲、臭曲等现象,影响成品安全<sup>[12,13]</sup>。

### 2.2 酱油及生产工艺

我国是酱油及酱类酿造的故乡,史料表明在春秋时期《周礼》中就有“百酱八珍”的记载,研究认为酱油不仅含有丰富的营养物质,而且含有多种生理活性物质,且具有抗氧化、抗菌、降血压、促进胃液分泌、增强食欲、促进消化等多种保健功能<sup>[14]</sup>。目前这种以中国为源头的东方风味的调味品,已向世界范围迅速传播。酱油按生产方法不同可分为传统天然发酵酱油、人工发酵酱油和化学酱油 3 类<sup>[15]</sup>。天然发酵酱油是以黄豆或豆粕、小麦粉及其制品为主料,以 30%~40%麸皮为辅料,采用配料→蒸料→接种→制曲→发酵→过滤→灭菌→成品的工艺而制成的<sup>[16]</sup>,其发酵周期经历了春、夏、秋 6 个月以上的自然太阳光晒制,在此过程中由于多种微生物的作用,可产生原料中蛋白质、淀粉等大分子物质水解后生成的各种次级产物和小分

子最终产物,微生物在发酵过程中产生的代谢产物,以及这些物质之间产生的十分复杂的生化反应、化学反应的产物,使得生成的酱油颜色天然、香味自然、口味纯正,很受消费者的青睐。但长期以来该工艺中存在着一些不可忽视的问题,如久贮有沉淀、细菌总数偏高、食盐含量偏高、色素偏深、蛋白质原料利用率受季节性的制约、实现全生产过程机械化及稳定的食品安全卫生质量较难<sup>[17]</sup>。目前我国酱油生产采用的主要是低盐固态发酵和高盐稀态发酵<sup>[18]</sup>。低盐固态发酵是控制酱醅中含盐量在7%左右,对酶的抑制作用不大,是在固态无盐发酵的基础上发展起来的。优点是酱油的色泽较深,滋味鲜美,后味较浓,香气比无盐固态有提高;操作简便,技术不繁;管理方便,提取酱油采用浸出淋油法;出品率稳定,生产成本低。缺点是酱油的香气不及晒露发酵和固稀发酵。高盐稀态发酵是采用日本的酱油生产工艺,制醪的盐水浓度为16 Bé~18 Bé,盐水用量较多,为总原料的2~2.5倍,酱醪含盐量达17%左右,酱醪水分达65%~70%,酱醪呈流动状态,发酵周期4~6个月。酱油色泽红褐色,光亮澄清,醇香浓郁,风味好。本工艺的缺点是需要压榨设备,投资大,发酵周期较长。并且食盐浓度过高与国际上提倡的低盐化食品标准相抵触,若超过世界卫生组织规定的日食盐摄入量标准(4~6 g),会造成人体胆固醇增高、引发高血压,还可能损伤全身各处血管壁,引起血管硬化,导致心肌梗死或肾功能衰退<sup>[19]</sup>。

豆酱主要是以麦类和豆类为主要原料,经过微生物发酵而制成的一种半固体粘稠状的调味品,原料处理、制取、发酵原理基本上与酱油酿造相同。

### 2.3 腐乳及生产工艺

腐乳是一种至今已有一千多年历史,口味鲜美、风味独特、质地细腻、营养丰富的佐餐品<sup>[20]</sup>。腐乳按产品类型可分为青方、白方、红方;按照发酵优势微生物可分为根霉型、毛霉型、细菌型。各类腐乳的生产工艺大同小异,首先原料大豆经过磨豆、滤浆、煮浆、点浆、压榨、成型制成豆腐坯,然后接种微生物进行前期培菌,再经过腌坯、拌坯、后发酵得到成品<sup>[21]</sup>。腐乳的营养价值很高,其主要成分为蛋白质在微生物酶作用下产生的多种氨基酸及低分子蛋白质,有利于人体吸收,另外产生的抗氧化肽、易于人体吸收的大豆苷元及人体不能合成的维生素B<sub>12</sub>具有保健功能。但是目前我国腐乳大多是作坊式生产,工业化程度低,在生产工艺的各环节都有可能存在安全隐患,例如豆腐坯制作中有原料清水和洗涤污水的交叉污染、人工操作或设备带来污染的危险因素,半敞开环境中的前期培菌和后期发酵,空气中的杂菌如酵母菌、嗜温性芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌等是主要的隐患,腌坯时如果盐浓度不够也容易造成腐败菌滋生,导致食品安全问题发生<sup>[22]</sup>。

## 3 发酵豆制品的安全性问题

我国传统的发酵豆制品是以富含植物蛋白的大豆、豆粕等为主要原料,发酵微生物参与(包括毛霉、根霉、米曲霉、酵母、乳酸菌、芽孢杆菌等),采用特殊的固态发酵生产工艺制成的各种发酵制品。发酵豆制品在原料、加工和贮藏中都有可能受到污染,影响产品质量和食品安全。

### 3.1 原料贮藏过程中的安全问题

对于常年生产发酵豆制品的企业而言,原料的供给及贮藏十分重要。由于大豆特殊的籽粒结构和丰富的营养成分,具有吸湿性强、不耐高温、后熟期较长以及浸油的特点。大豆若长期储藏在湿度较高的环境下,极易因吸水造成水分快速升高,体积膨胀,并且随着呼吸强度的增高和生理活性的增加,还会导致豆堆温度升高,并进一步出现生霉,大豆最大的安全隐患是在收获和贮藏过程中因为外界环境的影响而发生霉变,以霉变的大豆制成的发酵产品可能会产生黄曲霉毒素等污染物<sup>[23]</sup>;另外,大豆从收获成熟到生理成熟和工艺成熟的后熟期较长,在此期间,酶保持很强的活性,催化一系列反应,导致释放较多水分,造成豆堆局部“出汗”;释放大量热量,使豆堆局部温度升高<sup>[24]</sup>;过高的温度会引起大豆的主要成份发生物理、化学和生物性质的变化,如豆堆内长期积聚的热量促使脂肪氧化分解,破坏其与蛋白质共存的乳化状态,从而导致大豆出现“浸油”现象(俗称“走油”),对大豆的外观质量和内在质量产生不良影响,使其商品价值和利用价值显著降低<sup>[25]</sup>;当上述不良因素破坏了大豆种皮结构时,大豆储藏过程中还可能出现印度谷蛾、地中海螟蛾与粉斑螟蛾的危害。因此原料保存不当不仅影响发酵豆制品质量,而且可能造成安全隐患。

### 3.2 转基因大豆

转基因大豆是世界上最早商品化、推广应用速度最快的转基因作物。1996年全球转基因大豆种植面积仅为55万公顷,2013年达到8450万公顷,增长了153倍,年均增速达到33.57%,累积种植面积达到8.48亿公顷<sup>[26]</sup>。随着转基因大豆进入食品市场,其对人体健康和生态环境的影响越来越引起人们的关注。目前在国际上有关转基因食品安全性的评价原则是实质等同性原则。虽然通过对传统大豆和转基因大豆生物活性物质的检测两者没有差异。但是外源性基因的来源、插入位点的随机性,都极有可能使原有基因发生错位、缺失等突变,导致蛋白质的表达性状发生变化,从而影响其生物学活性,给食用者可能带来不可见的风险<sup>[27,28]</sup>。除此之外,转基因大豆中含有的类似雌性激素的化学物质,可能会导致人体生殖器官异常,免疫系统障碍;转基因大豆使用的抗生素标记基因如果进入人体,可能转移到致病菌中,使其产生耐药性,降低抗生素的临

床药效。有报道称菲律宾的儿童食品中含有转基因大豆成分, 部分婴儿对其中一些新蛋白质产生不良反应; 转基因大豆作为食品与非霍奇淋巴瘤的发病率提高有相关性<sup>[29]</sup>。另有报道, 来源于转基因大豆中所必然蕴含的草甘膦, 对人体健康可能造成影响<sup>[30]</sup>, 美国国立卫生研究院文献揭示, 极低浓度的草甘膦(0.000169~169 ng/L), 既可促进癌细胞的生长, 具有致癌作用。美国环保局资料显示, 草甘膦可造成肾脏问题和生育问题<sup>[31]</sup>。我国目前生产的大豆品种暂无安全性争议, 但国外进口大豆多属于转基因大豆, 并且大多为抗草甘膦转基因品种, 如果将转基因大豆作为发酵豆制品生产原料是否存在安全问题有待进一步研究。

### 3.3 发酵微生物

各种传统发酵豆制品发酵过程中都有优势菌群起主导作用, 但由于自然发酵、特殊的多工序、开放式或半开放式生产方式, 实际上传统发酵豆制品生产是一个多菌种混菌发酵过程, 微生物主要来自于曲种和环境<sup>[32]</sup>。发酵过程中多种微生物共栖生长, 赋予醱料复杂而完整的酶系, 具有较强的糖化、液化和蛋白分解能力; 他们盛衰交替, 此消彼长, 协同作用, 产生了单一菌种所不能比拟的作用<sup>[33]</sup>, 赋予成品独特的风味。然而, 这种发酵过程中微生物菌群变化的多样性也使得它被列为最容易存在潜在危害的食品之一<sup>[34]</sup>。研究认为细菌型豆豉发酵中乳酸菌的参与能显著改善豆豉风味<sup>[35]</sup>。另外发现乳酸菌也导致具有潜在危害的生物胺的产生<sup>[36]</sup>。

罗信旭等<sup>[37]</sup>采用传统分离鉴定法对细菌型豆豉不同发酵时期蜡样芽孢杆菌污染情况进行动态检测, 结果表明, 自然发酵过程中, 蜡样芽孢杆菌最高达到  $2.3 \times 10^4$  CFU/g, 虽然豆豉成品中总蜡样芽孢杆菌数量均  $< 10^5$  CFU/g, 短期内不存在食品安全问题。但是人们研究发现当食品中蜡样芽孢杆菌的数量达到  $10^4$  CFU/g 时, 就会对人体健康造成潜在威胁, 不适合食用。张爱霞等<sup>[38]</sup>发现当食品中蜡样芽孢杆菌的数量达到  $10^4$  CFU/g 时, 就会对人体健康造成潜在威胁, 不适合食用; 胡莉等<sup>[39]</sup>报道当菌落含量超过  $10^5$  CFU/g 时, 会在很大程度上引起食物中毒, 表现为腹痛、腹泻、呕吐或发热症状。而且杨素霞<sup>[40]</sup>进行了 20 份不同品牌、不同等级酱油的检测, 其中 6 份蜡样芽孢杆菌较高, 由此说明蜡样芽孢杆菌污染普遍存在, 值得引起重视。另外, 黄曲霉毒素可以来源于贮藏不当发生了霉变的大豆原料, 而且也可能产生于霉菌型发酵豆制品的发酵过程中。用传统的自然发酵法生产腐乳时, 在前期发酵过程中参与作用的微生物主要是毛霉, 如腐乳毛霉、鲁氏毛霉和总状毛霉等。后期发酵过程中, 参与作用的还有红曲霉、紫红曲霉、米曲霉、溶胶根霉、青霉、交链孢霉、枝孢霉等霉菌。酱油发酵料中的主要霉菌为米曲霉和酱油曲霉, 但从中可分离到青霉、桔青霉、土曲霉、黄曲霉、根曲霉、

米根霉、串珠镰刀菌、木霉<sup>[41]</sup>, 认为这些均为发酵豆制品正常生产中的杂菌, 其中某些可产毒素, 给食品安全带来隐患。

### 3.4 发酵代谢产物

发酵豆制品不仅营养丰富, 而且含有多种生理活性物质, 其生理活性物质一方面来源于原料本身固有的功能性成分, 如大豆异黄酮、膳食纤维等; 另一方面, 发酵过程中, 原料大分子蛋白质、碳水化合物可被微生物分解代谢成为多肽、氨基酸、褐色素类物质等代谢产物, 在人体内发挥不同的功效。然而, 发酵过程中也会产生有害的代谢产物, 如近年来人们关注的生物胺类物质和丙烯酰胺是发酵豆制品中的不安全因素。

#### 3.4.1 生物胺

生物胺(biogenic amines, BAs)是一类具有生物活性含氮的低分子量有机化合物的总称。生物胺作为人体的正常活性成分在生物活性细胞中可促进生长和代谢、增强肠道系统免疫活性, 并在神经系统中发挥活性; 但是, 高浓度的生物胺将造成人体神经系统和心血管系统损伤。食品中生物胺主要由氨基酸经脱羧酶类催化的脱羧反应产生, 根据结构可将分为 3 类, 即脂肪族如腐胺、尸胺、精胺、亚精胺; 芳香族如酪胺、苯基乙胺; 杂环族如组胺、色胺<sup>[42,43]</sup>。人们采用丹磺酰氯柱前衍生、高效液相色谱检测的方法, 从雅致放射毛霉发酵腐乳中检测到尸胺和酪胺含量分别达到 460.1、318.5 mg/kg, 少孢根霉发酵产物中尸胺含量为 668.0 mg/kg<sup>[44]</sup>; 研究发现自然发酵的豆豉中酪胺含量最高达到 488 mg/kg, 且组胺的含量一直随时间上升<sup>[45]</sup>。另有检测结果发现, 中国传统发酵豆豉的生物胺包括腐胺、尸胺、色胺、2-苯乙胺、精胺、亚精胺、组胺、酪胺 8 种, 其含量的范围为 101.07~427.19 mg/kg<sup>[46]</sup>。我国不同地区生产的发酵豆制品中普遍含有生物胺, 近年来, 检测到湖南曲霉型豆豉中苯乙胺含量为 87.88 mg/kg, 广东曲霉型豆豉中苯乙胺和组胺含量分别为 83.44 mg/kg 和 64.45 mg/kg<sup>[47]</sup>。高浓度的生物胺严重影响食品风味甚至改变其成分, 同时对人体产生严重的危害作用, 因此, 传统发酵豆制品的代谢产物生物胺是值得重视的食用安全性隐患。

#### 3.4.2 丙烯酰胺

大量动物试验表明丙烯酰胺是一种有神经毒性和潜在致癌性的不饱和酰胺, 可导致周围神经退行性变化、降低精子数量和活力; 体内外试验证明可引起哺乳动物体细胞及生殖细胞的基因突变和染色体异常<sup>[48]</sup>。同时动物实验研究发现, 丙烯酰胺可导致大鼠多种器官肿瘤, 包括乳腺、甲状腺、睾丸、肾上腺、中枢神经、口腔、子宫、脑下垂体等<sup>[49]</sup>。2002 年 4 月, 瑞典国家食物管理局和斯德哥尔摩大学联合宣称, 在食品中含有对人体具有潜在致癌性的丙烯酰胺, 尤其是以薯条为代表的富含碳水化合物的高

温油炸食品中含量最为丰富。目前公认食品中最可能的丙烯酰胺形成机制为氨基酸(主要是天冬酰胺)和碳水化合物(主要是还原糖如葡萄糖)在高温下进行的美拉德反应所致<sup>[50,51]</sup>。人们一般认为丙烯酰胺只存在于富含碳水化合物的食品中,然而研究报告发酵豆制品中也有丙烯酰胺的存在。张帅等<sup>[51]</sup>采用高效液相色谱-串联质谱法测定豆豉、豆瓣酱、腐乳的丙烯酰胺含量分别达1000~15000、400~2000、2000~8000 μg/kg;文安燕等<sup>[52]</sup>以水豆豉、黑豆豉、豆瓣酱及腐乳为试材,测定结果发现各样品到发酵结束时丙烯酰胺含量分别达(15040±191)、(16496±204)、(16821±45)及(5655±24) μg/kg。以上结果说明发酵豆制品生产过程可产生丙烯酰胺不容忽视。

#### 4 发酵豆制品生产安全控制改进措施

传统发酵豆制品凝结着中华民族数千年智慧的结晶,营养丰富、保健功能强,开发价值潜力巨大。如何在保留原有特色的前提下,提高产品质量和安全性,是值得思考的问题。

##### 4.1 提高发酵工艺技术

发酵产品生产菌种是关键,传统发酵豆制品生产采用自然发酵技术,其发酵过程难以人为控制;而纯种发酵产物成分单一,影响产品风味和质量。因此大豆制品传统发酵技术的改进与革新是有力的措施。纯种发酵、多菌种保温快速发酵的生产技术值得提倡和改进<sup>[53,54]</sup>。例如采用限定微生物混合发酵、强化微生物混合发酵方式,接种特定发酵剂,建立和保持发酵过程中优势菌群发挥作用,能防止和降低杂菌产生有毒有害物质,保证产品安全;在成曲制备中,采用厚层通风法、圆盘制曲法可提高工作效率,保证成曲质量。应用特定酶制剂发酵技术,加强对原料中物质水解,丰富了产品的口味营养。实行保温发酵技术,确保酶作用的最佳外界条件,缩短发酵周期<sup>[55]</sup>。设计和采用相应的机械设备进行蒸料、冷却、拌曲,使生产设备的标准化,可减小劳动强度,确保工艺、产品质量稳定和安全。

##### 4.2 生产设备应由非标准化向标准化过渡

发酵豆制品的生产设备一般都是没有固定标准的,未形成品牌效应和规模效应,生产设备的标准化是关键,应加强企业之间的技术交流,在掌握生产技术和工艺的基础上提高设备的机械化、标准化<sup>[56]</sup>。

##### 4.3 提高生产过程的控制技术

在实际生产中发酵过程是极其复杂的,其产品质量受到主观因素和环境条件影响较大,发酵中的主要微生物也只是发酵制曲的优势微生物,因此产品质量很难稳定,很多工序中操作仅凭人工经验而无具体控制指标,对发酵过程中温度、湿度及通气等环境条件的变化、微生物菌群

变化、发酵产物动态变化、风味变化没有明确的把握。这种情况对豆制品行业确保产品质量稳定、生产工艺规范以及产业的健康发展都是不利的。

#### 参考文献

- [1] 马艳莉,李里特. 发酵豆制品酿造过程中组分和营养功能因子的变化及调控[J]. 食品科学, 2013, 33(2): 292-299.  
Ma YL, Li LT. Changes and regulations of ingredients and nutritional factors in fermented soybean products during fermentation [J]. Food Sci, 2013, 33(2): 292-299.
- [2] 杨娟,丁晓雯,秦樱瑞,等. 豆豉、腐乳蛋白质降解物限量标准研究[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 210-216.  
Yang J, Ding XW, Qin YR, et al. Limit standards for protein decomposition products in Sufu and Douchi [J]. Food Sci, 2016, 37(6): 210-216.
- [3] 斯波. 微生物发酵食品风味的研究[J]. 食品安全导刊, 2012, (9): 58-59.  
Si B. Study on the flavor of microorganism fermented food [J]. China Food Saf Mag, 2012, (9): 58-59.
- [4] Guan RF, Liu ZF, Zhang JJ, et al. Investigation of biogenic amines in sufu (furu): A Chinese traditional fermented soybean food product [J]. Food Control, 2013, 31(2): 345-352.
- [5] Guidi LR, Gloria MB. Bioactive amines in soy sauce: validation of method, occurrence and potential health effects [J]. Food Chem, 2012, 133(2): 323-328.
- [6] Zhao HF, Wang YQ, Zou Y, et al. Natural occurrence of deoxynivalenol in soy sauces consumed in China [J]. Food Control, 2013, 29: 71-75.
- [7] 叶艳,苏伟,王倩,等. 传统霉菌发酵与接种发酵豆豉风味物质的比较分析[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 86-94.  
Ye Y, Su W, Wang Q, et al. Comparison of aroma compounds in traditional fermented and inoculated Douchies, a Chinese traditional fermented soybean food [J]. Food Sci, 2016, 37(20): 86-94.
- [8] 李华,李铎,沈立荣,等. 细菌型豆豉纯种发酵工艺优化[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(2): 50-54.  
Li H, Li D, Shen LR, et al. Optimization of pure culture fermentation technology of bacterial Douchi [J]. J Chin Cereals Oils Ass. 2009, 24(2): 50-54.
- [9] 尹召军,陈卫平,张凤英. 细菌型豆豉生理活性物质研究进展[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(3): 119-123.  
Yin ZJ, Chen WP, Zhang FY. Advance of research on functional components of bacteria-fermented Douchi [J]. J Chin Cereals Oils Ass, 2011, 26(3): 119-123.
- [10] 李晓然,李洁,刘晓峰,等. 利用高通量测序分析云南豆豉中细菌群落多样性[J]. 食品与生物技术学报, 2014, 33(2): 137-142.  
Li XR, Li J, Liu XF, et al. Analysis of bacterial community diversity in fermented soybean using pyrosequencing [J]. J Food Sci Biotechnol, 2014, 33(2): 137-142.
- [11] 谭薇,李盘欣,杜江源,等. 低盐高效发酵豆豉新工艺研究[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(2): 421-423.  
Tan W, Li PX, Du JY, et al. New technology of producing fermented bean with low salt content and high efficiency [J]. Hubei Agric Sci, 2015, 54(2): 421-423.
- [12] 潘平平,邱琳,邓开野. 曲霉型豆豉多菌种制曲工艺优化的研究[J].

- 中国调味品, 2016, 41(3): 26-31.
- Pan PP, Qiu L, Deng KY. Research on optimization of multi-strain koji-making technology for aspergillus-type Douchi [J]. *China Condiment*, 2016, 41(3): 26-31.
- [13] 周玉兰, 陈延祯. 毛霉豆豉生产工艺过程及营养价值分析[J]. *中国调味品*, 2009, 34(5): 89-91.
- Zhou YL, Chen YZ. Analyses on production engineering and nutrition of mucor-fermented soybeans [J]. *China Condiment*, 2009, 34(5): 89-91.
- [14] 朱新贵, 李学伟, 曾小波. 典型广式酱油与日式酱油的风味物质差异研究[J]. *中国酿造*, 2016, 35(7): 30-35.
- Zhu XG, Li XW, Zeng XB. Difference of flavor compounds in Cantonese-style soy sauce and Japanese-style soy sauce [J]. *China Brew*, 2016, 35(7): 30-35.
- [15] 赵维克. 酱油的分类及各自特性的介绍[J]. *食品安全导刊*, 2016, (33): 98.
- Zhao WK. Classification and characteristics of soy sauce [J]. *China Food Saf Magaz*, 2016, (33): 98.
- [16] 赵红娟, 梁亮, 易晓涵, 等. 大曲预处理技术对天然酱油风味的影响[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(25): 37-38.
- Zhao HJ, Liang Y, Yi XH, *et al.* Effects of Daqu pretreatment technology on the flavor of natural soy sauce [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2016, 44(25): 37-38.
- [17] 梁恒宇, 邓立康, 林海龙. 传统发酵大豆食品中乳酸菌的分布、功能和应用[J]. *食品科学*, 2013, 34(19): 381-385.
- Liang HY, Deng LK, Lin HL. Distribution, functions and applications of lactic acid bacteria in traditional fermented soybean foods [J]. *Food Sci*, 2013, 34(19): 381-385.
- [18] 廖乃心. 低盐固态发酵酱油工艺要点分析[J]. *轻工科技*, 2014(9): 11-12.
- Liao NX. Analysis of technological essentials of low salt solid-state fermentation of soy sauce [J]. *Guangxi J Light Ind*, 2014(9): 11-12.
- [19] 施思, 蒋予箭, 张海珍. 温度对高盐稀态酱油风味物质的影响[J]. *中国调味品*, 2015(8): 69-73.
- Shi S, Jiang YJ, Zhang HZ. Effect of temperature on flavor substances of high-salt liquid-state soy sauce [J]. *China Condiment*, 2015(8): 69-73.
- [20] 崔晓红, 马力, 刘平. 不同菌种发酵对腐乳品质的影响研究[J]. *中国调味品*, 2016, 41(11): 32-36.
- Cui XH, Ma L, Liu P. The effect of different strains on the quality of fermented bean curd [J]. *China Condiment*, 2016, 41(11): 32-36.
- [21] 尚丽娟. 豆腐乳的生产工艺研究[J]. *中国调味品*, 2012, 37(12): 75-78.
- Shang LJ. Research on production technique of Sufu [J]. *China Condiment*, 2012, 37(12): 75-78.
- [22] 杨勇, 任健, 杜影. HACCP 在腐乳生产中的应用[J]. *农产品加工学刊*, 2008, (7): 254-256.
- Yang Y, Ren J, Du Y. The application of HACCP in Sufu industry [J]. *Process Agric Prod*, 2008, (7): 254-256.
- [23] 徐洪昌. 大豆的贮藏特性及方法[J]. *养殖技术顾问*, 2012(12): 71-71.
- Xu HL. Storage characteristics and methods of soybean [J]. *Technic Advisor Anim Husb*, 2012(12), 71-71.
- [24] 董文丽. 包装材料对大豆贮藏品质影响的研究[J]. *包装工程*, 2014, (3): 39-42.
- Dong WL. Effects of packaging materials on storage quality of soybean [J]. *Packag Eng*, 2014, (3): 39-42.
- [25] 王会宁, 刘忠强, 王涛, 等. 进口大豆贮藏技术应用分析[J]. *粮食加工*, 2010, 35(3): 85-86.
- Wang HN, Liu ZQ, Wang T, *et al.* Using and analysis of importing soybean store technology [J]. *Grain Process*, 2010, 35(3): 85-86.
- [26] Laurens K, Karin G, Cees L. Hands off but strings attached: the contradictions of policy-induced demand-driven agricultural extension [J]. *Agric Human Values*, 2006, 23(11): 189-204.
- [27] 肖琴, 李建平, 刘冬梅. 转基因大豆冲击下的中国大豆产业发展对策[J]. *中国科技论坛*, 2015, (6): 137-141.
- Xiao Q, Li JP, Liu DM. Development countermeasures of China's soybean industry under the impact of genetically modified soybean [J]. *Forum Sci Technol China*, 2015, (6): 137-141.
- [28] 朱灵珠, 陈召桂, 何剑飞, 等. 色谱法比较分析不同品种酱油关键指标的差异[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(7): 164-166.
- Zhu LZ, Chen ZJ, He JF, *et al.* Key indicators for comparatively analysis of different soy sauce by chromatography [J]. *Food Res Dev*, 2016, 37(7): 164-166.
- [29] 柴卫东. 科学研究新发现: 含有草甘膦的转基因大豆严重危害健康[J]. *新农村*, 2013, (19): 8-9.
- Chai WD. The discovery of new scientific research: transgenic soybean containing glyphosate serious health hazards [J]. *New Countryside*, 2013, (19): 8-9.
- [30] 王一凡. 转基因大豆草甘膦残留: 一个安全盲区[J]. *百科知识*, 2015, (1): 29-32.
- Wang YF. Glyphosate-resistant in transgenic soybean: a safty dead zone [J]. *Encyclopedic Knowledge*, 2015, (1): 29-32.
- [31] 芦春斌, 林泽斌, 张雁, 等. 抗草甘膦转基因大豆相对雄鼠运动机能的影响[J]. *浙江农业学报*, 2016, 28(7): 1115-1120.
- Lu CB, Lin ZB, Zhang Y, *et al.* Effects of glyphosate-resistant transgenic soybean on physical enginery of male mice [J]. *Acta Agric Zhengjiang*, 2016, 28(7): 1115-1120.
- [32] 樊明涛. 发酵食品工艺学[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- Fan MT. *Fermentation technological* [M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [33] 谭五丰, 李月兰. 酱油混合曲天然发酵工艺的研究[J]. *现代食品科技*, 2007, 23(5): 58-59.
- Tan WF, Li YL. Study on natural fermentation of soy sauce with mixed starters [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2007, 23(5): 58-59.
- [34] 陈浩, 樊游, 陈源源, 等. 传统发酵豆制品中原核微生物多样性的研究[J]. *食品工业科技*, 2011(9): 230-232.
- Chen H, Fan Y, Chen YY, *et al.* Study on the prokaryotic microbial diversity of Chinese traditional fermented soybean foods [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2011(9): 230-232.
- [35] Liu ZF, Wei YX, Zhang JJ, *et al.* Changes in biogenic amines during the conventional production of stinky tofu [J]. *Int J Food Sci Tech*, 2011, 46(4): 687-694.
- [36] 王长远, 王云光, 于长青, 等. 产生物胺乳酸菌的检测及产生物胺量的测定[J]. *农产品加工*, 2010, (1): 22-25.
- Wang CY, Wang YG, Yu CQ, *et al.* Detection of lactic acid bacteria producing biogenic amine and determination of content [J]. *Process Agric Prod*, 2010, (1): 22-25.
- [37] 罗信旭, 袁时洁, 吴拥军. 细菌型豆豉蜡芽孢杆菌的动态变化研究[J]. *中国酿造*, 2016, 35(12): 31-34.
- Luo XX, Yuan SJ, Wu. Dynamic changes of *Bacillus cereus* in

- bacteria-fermented Douchi [J]. *China Brew*, 2016, 35(12): 31–34.
- [38] 张爱霞, 王立翠, 史悦, 等. 重症肉毒杆菌食物中毒患者一例的抢救与护理[J]. *解放军护理杂志*, 2016, 33(17): 47–49.  
Zhang AX, Wang LQ, Shi Y, *et al.* Nursing and rescue of 1 case of patient with severe clostridium botulinum food poisoning [J]. *Nurs J Chin PLA*, 2016, 33(17): 47–49.
- [39] 胡莉, 孙楠. 关于食品中生物胺的安全性检测[J]. *食品安全导刊*, 2016, (29): 32–33.  
Hu L, Sun N. Safety detection of biogenic amines in foods [J]. *China Food Saf Mag*, 2016, (29): 32–33.
- [40] 杨素霞. 酿造酱油的微生物状况分析[J]. *农产品加工月刊*, 2016(13): 69–70.  
Yang SX. Analysis of microbial status of brewing soy sauce [J]. *Acad Period Farm Prod Process*, 2016(13): 69–70.
- [41] 卢美欢, 李冬娟, 李利军. 酱油酿造过程中易染霉菌的分离鉴定[J]. *中国酿造*, 2010, 29(8): 115–117.  
Lu MH, Li DJ, Li LJ. Isolation and identification of contaminated mold in soy sauce brewing [J]. *China Brew*, 2010, 29(8): 115–117.
- [42] 王树庆, 范维江, 李成凤. 肉及肉制品中的生物胺[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(24): 203–206.  
Wang SQ, Fan WJ, Li CF. Biogenic amines in meat and meat products [J]. *Food Res Dev*, 2016, 37(24): 203–206.
- [43] 李志军. 食品中生物胺及其产生菌株检测方法研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.  
Li ZJ. Determination of biogenic amines and their producing strains in food [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2007.
- [44] 王颖, 邱璠, 邢茜, 等. 腐乳前酵过程中生物胺含量变化[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(12): 16–20.  
Wang Y, Qiu F, Xin Q, *et al.* Changes of biogenic amines in Sufu during its pre fermentation [J]. *Food Ferment Ind*, 2011, 37(12): 16–20.
- [45] 苏悟, 郑小芬, 徐睿烜, 等. 1 种细菌型豆豉自然发酵过程中生物胺的变化[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(7): 40–45  
Su W, Zhen XF, Xu RH, *et al.* Changes of biogenic amines during the natural fermentation of 1 strains of fermented Douchi [J]. *Food Ferment Ind*, 2014, 40(7): 40–45.
- [46] 胡鹏, 索化夷, 阚建全, 等. 中国传统发酵豆豉中生物胺含量[J]. *食品科学*, 2013, 34(20): 108–112.  
Hu P, Suo HY, Kan JQ, *et al.* Biogenic amine content of traditionally fermented Douchi [J]. *Food Sci*, 2013, 34(20): 108–112.
- [47] 吴昕. 基于 HACCP 的粮食质量安全网络监测平台研究[J]. *农业网络信息*, 2012(7): 101–103.  
Wu X. Study of grain quality & Safety monitoring network platform based on HACCP [J]. *Agric Netw Inf*, 2012(7): 101–103.
- [48] 毛丽君, 赵金垣, 徐希娟, 等. 急性丙烯酰胺中毒的临床特点[J]. *工业卫生与职业病*, 2017, 43(1): 56–60.  
Mao LJ, Zhao JH, Xu XX, *et al.* Clinical characteristics of acute acrylamide poisoning [J]. *Ind Health Occup Dis*, 2017, 43(1): 56–60.
- [49] 李向丽, 李蓉, 杨公明, 等. 食品中丙烯酰胺的含量调查研究[J]. *安徽农业科学*, 2015(14): 236–238.  
Li XL, Li R, Yang GM, *et al.* Investigation on the contents of acrylamide in food [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2015(14): 236–238.
- [50] 吴少雄, 郭祀远, 李琳. 热加工食品中丙烯酰胺形成的化学机理研究[J]. *现代化工*, 2005(s1): 181–184.  
Wu SX, Guo QY, Li L. Acrylamide formation mechanism in heated foods [J]. *Mod Chem Ind*, 2005(s1): 181–184.
- [51] 张帅, 梁桂娟, 吴世兰, 等. 传统发酵豆制品中丙烯酰胺检测的 HPLC-MS 方法构建[J]. *食品与发酵工业*, 2012(9): 151–155.  
Zhang S, Liang GJ, Wu SL, *et al.* Construction of HPLC-MS method for determination of acrylamide in traditional fermented soybean products [J]. *Food Ferment Ind*, 2012(9): 151–155.
- [52] 文安燕, 张帅, 曾海英, 等. 贵州主要发酵豆制品加工中丙烯酰胺形成动态[J]. *中国酿造*, 2017, 36(3): 85–89.  
Wen AY, Zhang S, Zeng HY, *et al.* Dynamic of acrylamide formation in main fermented soy products in Guizhou province [J]. *China Brew*, 2017, 36(3): 85–89.
- [53] 刘井权, 孙剑秋, 臧威, 等. 细菌型纯种发酵腐乳生产工艺的研究[J]. *农产品加工*, 2008(7): 178–181.  
Liu JQ, Sun JQ, Zang W, *et al.* Study on productive technology of bacterial vegetable cheese [J]. *Process Agric Prod*, 2008(7): 178–181.
- [54] 杜木英, 余浪, 赵晓娟, 等. 传统豆瓣快速发酵工艺条件优化[J]. *食品科学*, 2013, 34(11): 203–207.  
Du SY, Yu L, Zhao XJ, *et al.* Optimization of fermentation conditions for the production of traditional fermented broad bean sauce [J]. *Food Sci*, 2013, 34(11): 203–207.
- [55] 刘永权. 大豆制品传统发酵技术的改进与革新[J]. *河南科技*, 2013, (2): 194.  
Liu YQ. Improvement and innovation of traditional fermentation technology for soybean products [J]. *J Henan Sci Technol*, 2013, (2): 194.
- [56] 邹磊. HACCP 在豆豉生产工艺中的应用[J]. *中国调味品*, 2010, 35(1): 92–95.  
Zou L. Application of HACCP to the production of Douchi [J]. *China Condiment*, 2010, 35(1): 92–95.

(责任编辑: 姜 姗)

## 作者简介



程教擘, 主要研究方向为食品科学。  
E-mail: jjj90895@163.net



陈力力, 博士, 教授, 主要研究方向为食品微生物及生物技术。  
E-mail: chenlili001@tom.com

蒋立文, 教授, 主要研究方向为食品微生物及生物技术。  
E-mail: 1024305380@qq.com