

# 发酵豆豉的研究进展

蒋立文<sup>1,2\*</sup>

- (1. 湖南农业大学食品科技学院 食品科学与生物技术湖南省重点实验室, 长沙 410128;
2. 湖南省发酵食品工程技术研究中心, 长沙 410128)

**摘要:** 豆豉是一类我国传统发酵的大豆制品, 在我国和亚洲国家饮食中占有非常重要的地位, 受到世界很多国家的青睐。近年来在豆豉酿造过程中产生的功能因子不断被研究发现, 其抗氧化、降血糖、溶血栓、抗突变等功能被不断揭示。同时, 发酵本身对改善大豆制品的营养组成、风味、富集营养和功能因子、保障食品安全方面意义重大, 大豆制品发酵后营养成分变化可进一步提升营养价值。本文对豆豉生产现状、研究现状等进行了综述, 并对豆豉发酵中的科学问题进行了阐述和展望。

**关键词:** 豆豉; 发酵豆制品; 风味; 功能因子

## Research progress of Douchi fermentation

JIANG Li-Wen<sup>1,2\*</sup>

- (1. Hunan Province Key Laboratory of Food Science and Biotechnology, College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;
2. Hunan Provincial Research Center of Engineering and Technology for Fermented Food, Changsha 410128, China)

**ABSTRACT:** Douchi is a large class of fermented soybean food and has played an important role in the diet of Asian countries. It is becoming increasingly popular in the world. In recent years, a number of functional factors have been reported in such fermented soybean foods, which have showed some anti-oxidant effects, including blood pressure reduction effect, blood sugar reduction effect, and thrombolytic and anti-mutagenic functions. The studies found that the fermented process and storage period of Douchi could also significantly improve the nutritional components, flavor, function, and safety, which were helpful to further enhance the value of fermented Douchi. This paper reviewed the research progress of Douchi production. Future trends in research and development of fermented Douchi had also been prospected.

**KEY WORDS:** Douchi; fermented soybean food; flavor; functional factors

豆豉是我国大豆发酵制品中较大的品类之一, 营养丰富、药食兼用, 对我国人民的饮食文化和医疗保健, 发挥着重大作用。本文对豆豉分类、参与发酵

微生物、豆豉发酵过程物质变化与功能营养及保健作用关系以及豆豉安全性做综述, 以期待为这一传统产业的进一步发展提供思路。

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: 蒋立文, 博士, 教授, 主要研究方向为食品生物技术。E-mail: jlw\_2002cn@aliyun.com

\*Corresponding author: JIANG Li-Wen, Professor, Hunan Provincial Research Center of Engineering and Technology for Fermented Food, No.1, Nongda Road, Shinan District, Changsha 410128, China. E-mail: jlw\_2002cn@aliyun.com

## 1 豆豉的分类及生产现状

豆豉是我国劳动人民最早利用微生物酿造的食品之一,其品种繁多。按照参与发酵的微生物来源不同,可分为自然发酵和接种发酵两种类型;按照参与发酵的优势微生物菌群不同,又可分为霉菌型豆豉和细菌型豆豉两大类。霉菌型豆豉参与制曲的主要微生物是霉菌。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>[1]</sup>,其相应代表有四川永川豆豉、湖南浏阳豆豉、印度尼西亚天培(tempeh)豆豉、印度尼西亚昂巧豆豉<sup>[2]</sup>;细菌型豆豉参与制曲和发酵的主要微生物是枯草芽孢杆菌、乳酸菌等。细菌型豆豉的代表有山东水豆豉及日本纳豆(natto),豆豉产品的外观、风味、食用方法等都因所用微生物的不同、制作工艺不同差异很大而各具特点。

按发酵时是否使用食盐,可分为无盐发酵的淡豆豉及有盐发酵的咸豆豉。湖南浏阳豆豉、日本纳豆、印度尼西亚天培等都属于淡豆豉,湖南浏阳淡豆豉还可以入药。有盐发酵的咸豆豉包括川永川豆豉、潼川豆豉等,有盐发酵豆豉方便食用,水分含量较高,适宜做菜肴。

根据豆豉成品水分含量的多少,可分为干豆豉和湿豆豉(或称水豆豉)。干豆豉其水分含量小于20%,一般是无盐或低盐产品,其中以湖南豆豉(浏阳豆豉)、四川豆豉(三台豆豉)最为有名。湿豆豉在发酵时一般加较多的水或调味液及盐,水分含量在45%左右,熟成时间较长,产品水分含量较高。现在水豆豉及调味类似老干妈产品是其典型<sup>[3-4]</sup>。

按照豆豉的用途不同,豆豉还可分为食用、药用及烹饪调味等。在我国,豆豉除了供食用外,还有治疗疾病的效果,历代医书都有豆豉治疗疾病的记载,《本草纲目》称豆豉具有开胃增食、消食化滞、发汗解表、驱风散寒、除烦平喘、解山岚瘴气、治水土不服等疗效。同时,豆豉还有很高的营养价值,含有丰富的蛋白质、糖,以及VB<sub>1</sub>、VB<sub>2</sub>和VE等,同时含有多种功能成分<sup>[5-6]</sup>。

另外豆豉还有其他的分类方式,根据酿造豆豉时是否加调味辅料,可分为素豆豉及调味豆豉。如根据辅料的不同,有酒豉、椒豉、酱豉、姜豉、瓜豉、茄豉、香油豉等<sup>[7]</sup>。根据原料的不同,有黑豆豆豉、黄豆豆豉,它们分别采用黑豆、黄豆作为原料,在印

尼还有谷物天培等。

豆豉在我国目前是一种产量较大、生产周期较长、加工相对粗放的一类调味品,以曲霉型豆豉和毛霉型豆豉为主,其关键工序—制曲一般以接种的毛霉和米曲霉为主的多菌种共生发酵模式,已经形成较大的产业。细菌型豆豉在民间家庭较多,产品一般以水豆豉出现,规模较小。在我国的分布主要分布在四川、湖南、贵州、江西等地,豆豉以四川的永川豆豉、潼川豆豉为主,这类豆豉含盐量较高,以调味料为主。这类咸豆豉形成的以贵州“老干妈”品牌为主要代表的产业产值有近百亿元,产品少量还出口国外,另外像浏阳豆豉等低盐豆豉不仅用在调味方面,还在药物中使用,但产业规模不大。我国科研工作者在豆豉功能性方面进行了大量的研究,但对豆豉产业链的延伸支撑不够。国外的日本生产的纳豆是细菌型豆豉的典型代表,日本的纳豆以须见洋行分离的枯草芽孢杆菌(又名纳豆菌)进行纯种发酵机械化连续化自动化生产,纳豆的生理保健作用研究很深入,特别是纳豆因其含有溶栓效果的纳豆激酶使纳豆成为世界上知名的药食同源的发酵大豆制品,每年纳豆的市场产值达到30亿美元,日本纳豆在北京、广州、深圳等地建立了纳豆产品生产基地,产品附加值增加超过10倍以上,远远高于我国豆豉的消费价格。根霉型产品以印尼的天培豆豉作为主要代表,以少孢根霉作为主要发酵剂,其生产产品不是调味品,将鲜天培豆豉以油炸、蒸煮、熬汤等方式使用,生产基本实现纯种发酵的模式,产品在印尼、日本等国常见。

## 2 豆豉发酵工艺与品质、风味形成关系

风味是影响食品品质的重要因素。豆豉发酵实际包括两个过程,一个是前期发酵(又称为制曲),即采用自然制曲或纯种接入制曲的方法,将熟化的大豆原料,控制在一定的温度、湿度条件下进行发酵,使微生物生长并分泌多种胞外酶(淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶、纤维素酶等)过程。由于生产环境、地理气候等差异较大,影响制曲过程中的主要因素是微生物菌群。微生物及其分泌的胞外酶对后期发酵过程中的风味形成、营养成分变化及功能因子形成等有十分重要的影响。后期发酵时间一般因产品标准和质量要求不同而异,参与发酵微生物不同、工艺差别、参数控制水平差异使豆豉在风味、口感、质构、营养功能方

面差别较大。

盐分含量、后发酵温度控制等直接影响到酶系对蛋白质、脂肪、碳水化合物及其他成分的水解速度、风味形成、功能因子生成等。碳水化合物水解形成糖类、酸、酚、酮等各种水解产物及可能的风味成分, 蛋白质水解生成的氨基酸、含硫化合物、生物活性肽、醛类、酸类、生物胺类等产物, 脂肪分解生成脂肪酸、醛、醇、酸等物质, 这些物质在较长的后期发酵过程中既可以直接构成风味物质, 也可能是风味物质的前体物质, 它们之间的相互作用, 对发酵豆豉风味形成、营养、色泽乃至功能特性等产生重要影响。

在豆豉发酵过程中, 除微生态变化对产品品质风味构成影响外, 加工工艺也影响食品风味和豆豉品质。大豆的蒸煮熟化对酶系形成和产品口感有重要影响, 黄豆的熟化程度影响纳豆激酶的活性<sup>[8]</sup>。盐分的存在可以控制酶系的释放, 也直接影响到发酵的周期。Chou 等<sup>[9]</sup>后期加入适当的乙醇可以对风味产生重要的影响。发酵过程中的温度控制非常重要, 豆豉发酵中的保温发酵形成豆豉黑色素的速度远比室温发酵快得多。低温发酵有利于降低对细菌性豆豉中生物胺的敏感程度, 如纳豆发酵<sup>[10]</sup>。另外发酵程度的控制对豆豉苦味肽的生成有较大的影响, 苦味是豆豉风味成分之一, 少量生成可以增加产品醇厚感, 但大量生成使产品出现不愉快的苦味, 苦味肽形成与水解条件、酶的种类和水解度控制有关, 另外发酵过程中可以形成 ACE 抑制活性功能肽<sup>[11]</sup>。Shin 等<sup>[12]</sup>从发酵大豆中分离纯化出一个新的 ACE 抑制多肽, 其氨基酸序列为亮氨酸-缬氨酸-谷氨酰胺-甘氨酸-丝氨酸。此外在发酵过程中形成很多具有生物活性的生物肽, 这些生物肽的形成与热处理和发酵时间有关, Fisch 等<sup>[13]</sup>发现, 高湿热处理的大豆发酵产生更多的活性肽。邹磊等<sup>[14]</sup>研究发现加工工艺对豆豉抗氧化性能具有显著影响。卢露等<sup>[15]</sup>综述表明微生物不同, 发酵豆豉的风味之间差异很大, 但并没有像白酒香型那样严格的区分。

### 3 豆豉发酵中的物质变化及营养功能性之间关系

豆豉是一种较高食用安全性的食品或食品原料, 主要得益于有益微生物的生长阻止有害微生物的生长, 有益微生物生长代谢产物对有害微生物形成抑

制, 同时豆豉酿造过程中加入的食盐、乙醇、辣椒、香辛料等对产品贮藏性有较大的影响。大豆经过发酵以后营养抑制因子基本消除, 抑肽酶能阻断下消化道的消化功能<sup>[16-17]</sup>, 大豆经加热处理(水煮、发酵)能使其抑肽酶去活, 从而增加大豆的生物利用度, 因此, 经过水煮、发酵处理的大豆比未处理的大豆的营养价值更高。邬玉香等<sup>[18-19]</sup>发酵使异黄酮苷水解成异黄酮苷元, 活性显著增强。也有研究表明, 自然发酵和纯种接种发酵后后者游离氨基酸显著增加, Dajanta 等<sup>[20]</sup>对未发酵大豆、thua nao(接种纯枯草芽孢杆菌发酵的大豆产品)以及自然发酵大豆中自由氨基酸含量进行了研究。结果发现, thua nao 中自由氨基酸含量高于未发酵大豆和自然发酵大豆。大豆经过短期(< 72 h)发酵的产品中大分子物质含量较高, 而长期(> 6 个月)发酵的产品中小分子物质含量较高, 65%蛋白质水解后以氨基酸和肽的形式保留在发酵产品中, 25%被微生物同化吸收, 10%被氧化分解<sup>[21-24]</sup>。Su 等<sup>[25]</sup>研究发现, 大豆经枯草芽孢杆菌和短芽孢杆菌发酵后的上清液能显著抑制人肝癌细胞(Hep-3B)、小鼠肝癌细胞(ML-1)、人结肠直肠癌细胞(HCT-116 和 HT-29)的生长和增殖。

Lin 等<sup>[26]</sup>对酱油曲霉、米曲霉、泡盛曲霉、台湾放射毛霉和酒曲菌属其他菌发酵的大豆和未发酵大豆的甲醇提取物进行了毒性、致突变性等相关研究表明, 发酵大豆和未发酵大豆的甲醇提取物对鼠伤寒沙门菌 TA100 均无毒性和致突变性, 对 4-NQO 诱导的突变均有抑制作用。在实验剂量范围内抗突变活性与剂量存在依赖关系, 而且五种发酵大豆均比未发酵大豆的抗突变活性强。Zhang 等<sup>[27]</sup>在中国豆豉中分离到具有降血压的多肽; Wang 等<sup>[28-30]</sup>发现中国豆豉具有良好的抗氧化性能; Chen 等<sup>[31,32]</sup>研究发现豆豉还具有对糖尿病控制与治疗有帮助、抗老年痴呆等功能特性。

### 4 豆豉发酵与微生物的关系

豆豉发酵中微生物群落是豆豉品质形成的核心。豆豉发酵过程微生态研究与风味关系在卢露等<sup>[15,33]</sup>的综述中阐述较为详细, 由于其发酵过程的开放性使得豆豉物质变化与风味形成、功能因子生成与微生物有密切关系。一般的普通微生物培养方法已经无法满足豆豉发酵过程中微生物群落的变化。与传统的微

生物鉴定方法相比, PCR-DGGE 技术具有明显检测效率高的优越性。Muyzer 等<sup>[34]</sup>研究证实利用传统可培养方法只能能检测出数量仅占总群落数 1% 的微生物, Omar 等<sup>[35]</sup>研究证实 PCR-DGGE 技术的检测极限达到为 97%~99%, 如果结合使用 rRNA 杂交技术还可以使检测极限提高至 99.9%, 所以采用分子生物学手段研究豆豉发酵过程中的微生物动态变化是目前研究的热点, 但这方面研究不够系统和深入, 很多研究还集中可培养的微生物方面。

张建华<sup>[36]</sup>对自然发酵曲霉型豆豉曲中微生物的分布进行了研究。结果表明细菌数量超过  $10^8$  CFU/g, 酵母菌数量较少, 霉菌数量达到  $10^7$  CFU/g, 曲霉菌占霉菌总数的 90% 以上, 说明自然发酵的豆豉中主要的微生物菌群是细菌和霉菌, 而酵母菌较少, 为非主要作用微生物, 这与未经过酸浸工序的天培豆豉相似<sup>[37-38]</sup>。孙森等<sup>[39]</sup>通过实验对天然制曲豆豉后发酵过程中菌相的变化进行了研究, 结果表明后发酵过程中乳酸菌、芽孢杆菌和酵母菌占主体优势, 芽孢杆菌为优势细菌, 耐盐酵母菌存在对风味有重要影响, 而霉菌的存活量很小。蒋立文等<sup>[40]</sup>利用平板稀释分离实验, 对自然制曲成熟的曲料做微生物菌相及组成进行了分析。结果表明, 浏阳豆豉自然制曲成熟的曲料中主要微生物为霉菌类和细菌类, 酵母菌类和放线菌类数量不大。钱家亮等<sup>[41]</sup>对曲霉型豆豉研究时发现, 豆曲中以细菌和霉菌为主, 霉菌中米曲霉占 90% 以上, 细菌以微球菌和乳球菌为主, 曲霉的质量直接影响豆豉的品质。张建华等<sup>[42]</sup>研究浏阳豆豉一品香和天马山品牌时发现曲霉菌是主要微生物。李祥<sup>[43]</sup>研究细菌性豆豉发现豆豉芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、乳球菌、乳酸菌为优势细菌, 这些微生物均能分泌蛋白酶。秦恩华<sup>[44]</sup>在研究细菌型土家豆豉发现长杆菌、短杆菌细菌为主, 而霉菌性豆豉则包括毛霉、根霉、曲霉、青霉 4 种, 且随温度不同菌群发生变化。汪孟娟等<sup>[45]</sup>采用 PCR-DGGE 研究豆豉发酵过程中微生物群落的变化。微生物生态与豆豉的功能成分有着密切关系。如一般不存在于植物性食品中维生素 B12, 在发酵后的大豆食品中大量存在, Liem 等<sup>[46]</sup>首次报道了肺炎克雷伯菌(*klebsiella pneumonia*)在天培发酵过程中形成 VB12。发酵菌种对大豆异黄酮代谢影响较大, 这在毛霉、米曲霉发酵过程中生成可利用的苷元得到验证。此外环境条件和发酵菌种影响 GABA 的积累<sup>[47]</sup>。纳豆芽孢杆菌可以产生丝氨酸蛋白酶, 具

有溶解血栓的效果, 中国豆豉、印尼天培也分离出纤溶酶<sup>[48]</sup>。纳豆则由于纳豆芽孢杆菌的本身特性使纳豆产品本身具有抑制多种病原微生物如大肠杆菌、沙门氏菌等的效果。

目前对豆豉中主要发酵微生物的研究已经达到分子水平, 日本科研工作者<sup>[49]</sup>成功破译了米曲霉基因组, 发现米曲霉基因有 3800 万碱基对, 该成果首次从微观角度对米曲霉进行深入研究。

## 5 豆豉发酵过程变化与其安全性

豆豉发酵中物质分解、风味形成、功能因子产生均离不开微生物及其酶系, 同时由于豆豉生产的微生态极其复杂, 发酵体系中既有有益微生物, 也有有害微生物。即使是有益微生物, 在发酵条件控制不到位或者环境条件影响, 也会产生一些不安全的因素, 对豆豉安全性带来隐患。豆豉中氨基甲酸乙酯和生物胺可能是豆豉中潜在的危害物, 这些物质生成可能由于含氮物质不完全代谢引起<sup>[50]</sup>。Zhang 等<sup>[51]</sup>对发酵纳豆生物胺进行检测, 发现纳豆中存在亚精胺、精胺、腐胺和酪胺 4 种, 发酵前期生物胺明显提高, 发酵 18 h 达到最高, 发酵成熟阶段变化不大。发酵食品中的生物胺的形成与原料质量、酿造工艺、以及酿造与贮藏过程中微生物污染密切相关, 生物胺主要来源于氨基酸的脱羧反应。要避免发酵过程中生物胺的积累, 需要加强发酵过程卫生管理及对发酵微生物进行代谢工程策略进行调整。郝春雷<sup>[52]</sup>通过对天培豆豉安全性进行急性经口试验时发现天培豆豉半数致死量(LD50)15.0 g/kg 体重; 微核实验、精母细胞染色体畸变实验、精子畸形实验和 Ames 实验结果均为阴性, 铅、砷、AFB1 含量均在安全标准以下, 因此丹贝是一种安全食品。但家庭作坊式豆豉也有中毒的报道<sup>[53-54]</sup>, 值得我们关注。

## 6 展望

独特的产品与风味是豆豉为消费者所喜好的重要原因, 研究豆豉前后发酵过程中微生物的种类、数量及优势菌群变化、分析各种微生物的生理作用, 研究豆豉发酵过程中食品组分变化(营养、风味、功能因子等)的变化与调控的研究, 对于实现豆豉的纯菌(多菌)种发酵、合理的控制发酵参数、避免杂菌及有害菌群的污染以及有目的的控制发酵方向、缩短生产周期等方面都有着重要的意义。强化豆豉发酵方面的

风味与功能性方面的基础研究,可以满足消费者对食品美味和功能性的双重需求。

豆豉发酵是我国传统发酵食品中非常宝贵的资源,加工方法原始但特色未失,国内很多专家学者对不同类型豆豉进行了相关的研究,包括发酵菌种、代谢产物、功能因子等多个方面,但研究不系统,无法形成完整的技术创新体系。豆豉与其他传统发酵食品产业化一样,存在共性问题,那就是生物学机制不明,质量不稳定。科研工作者在长期摸索中不断提升豆豉生产的水平,在保持传统豆豉风味的同时,尽可能的使之工业化、标准化、规范化、规模化、商品化,建立满足豆豉生产的微生物资源库,确定合理的加工工艺并使之数据化,克服传统发酵食品的不安全因素。西方的酸奶、日本的纳豆在经过多年的积累和沉淀后完成技术层面和产品文化层面的质的飞跃,变为世界认知的药食同源的食品,已经成为营养、美味、保健于一身的世界知名的发酵食品。我们要利用现代科学技术和手段,强化豆豉产业的基础研究,保持传统发酵豆豉的精华,将营养、美味、健康、安全等多重有机结合,为产业发展奠定良好的理论基础,为产业提升提供有力的技术支撑。

#### 参考文献

- [1] 穆慧玲, 李里特. 豆豉的保健功能及开发价值[J]. 农产品加工·学刊, 2008, (11): 31-32.  
Mu HL, Li LT. Health function and developing value of Lobster Sauce [J]. Acad Periodical Farm Prod Proces, 2008, (11): 31-32.
- [2] 包启安. 豆豉的源流及其生产技术[J]. 中国酿造, 1985(2): 9-14.  
Bao QA. Origin and its production technology of Lobster sauce [J]. China Brew, 1985, (2): 9-14.
- [3] 赵德安. 豆豉[J]. 中国酿造, 1992, (1): 29-33.  
Zhao DA. Dou-chi [J]. China Brew, 1992, (1): 29-33.
- [4] 庞庆芳, 张炳文, 孙爱东. 中国传统大豆发酵食品—豆豉功能成分的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2006, 27 (2): 185-187.  
Pang QF, Zhang BW, Sun AD. Recent development in Chinese lobster sauce fermentations functional components [J]. Food Res Dev, 2006, 27 (2): 185-187.
- [5] 李里特. 中外大豆食品研发的观念取向[J]. 农产品加工·学刊, 2005, (4): 4-7.  
Li LT. The concept orientation R&D soybean food at home and broad [J]. Acad Periodical Farm Prod Proces, 2005, (4): 4-7.
- [6] 江洁, 王文侠, 栾广忠. 大豆深加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2004: 231-253.
- [7] Wang J, Wang WX, Luan GZ. Soybean deep-processing technology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2004: 231-253.
- [7] 杨坚. 我国古代豆豉的加工研究[J]. 古今农业, 1999, (1): 80-86.  
Yang J. Study on the processing of the ancient Chinese lobster sauce [J]. Ancient Mod Agric, 1999, (1): 80-86.
- [8] 赵谋明. 调味品[M]. 北京: 中国化学工业出版社, 2005.  
Zhao MM. Condiment [M]. Beijing: China Chemistry Industry Press, 2005.
- [9] Chou CC, Hwan CH. Effect of ethanol on the hydrolysis of protein and lipids during the aging of a Chinese fermented soya-bean curd [J]. J Sc Food Agric, 1994, 66(3): 393-398.
- [10] Kada S, Yabusaki M, Kaga T, *et al.* Identification of two major ammonia-releasing reactions involved in secondary natto fermentation [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2008, 72(7): 1869-1876.
- [11] Menard J, Patchett AA. Angiotensin-converting enzyme inhibitor [J]. Adv Protein Chem, 2001, 56: 13-75.
- [12] Shin JR, Lee JS, Yong IC, *et al.* Purification and identification of an angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptide from fermented soybean extract [J]. Process Biochem, 2009, 44 (4): 490-493.
- [13] Fisch M. Aggregation of peptides during hydrolysis as a cause of reduced enzymatic extratability of soybean meal proteins [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(16): 4512-4519.
- [14] 邹磊, 汪立君, 程永强, 等. 加工工艺对豆豉抗氧化能力的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(8): 174-177.  
Zou L, Wang LJ, Cheng YQ. Effects of Process Technic on Antioxidant Activity of Douchi [J]. Food Sci, 2006, 27(8): 174-177.
- [15] 卢露, 郑晓莹. 豆豉发酵中的微生物及其功能研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2011, 18(1): 42-45.  
Lu L, Zheng XY. Research advance on distribution and function of microorganism in douchi fermentation process [J]. Cereal Food Ind, 2011, 18(1): 42-45.
- [16] Richardson M. Protein inhibitors of enzymes [J]. Food Chem, 1981, 6 (3): 235-253.
- [17] Kwon DY, Hong SM, Ahn IS, *et al.* Trypsin inhibitory activity of raw soybean after incubation with rumen fluid [J]. Nutrition, 2011, 27 (2): 244-252.
- [18] 邬玉香, 夏延斌, 张爱玲. 大豆异黄酮在腊八豆生产中的稳定性[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2002, 28(3): 225-226.  
Wu YX, Xia YB, Liu AL. Stability of Isoflavones During Labadou Processing [J]. J Hunan Agr Univ (Natural Sci), 2002, 28(3): 225-226.
- [19] Hutchins AM, Slavinl JL, Lampe JW. Urinary isoflavonoid phytoestrogen and lignan excretion after consumption of fermented

- and unfermented soy products [J]. *J Am Diet Assoc*, 1995, 95 (5): 545–551.
- [20] Dajanta K, Apichartsrangkoon A, Chukeatirote E, *et al.* Free-amino acid profiles of thua nao, a Thai fermented soybean [J]. *Food Chem*, 2011, 125 (2): 342–347.
- [21] Garcia MC, Torre M, Marina ML, *et al.* Composition and characterization of soybean and related products [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 1997, 37 (4): 361–391.
- [22] Lee YW, Kim JD, Zheng J, *et al.* Comparisons of isoflavones from Korean and Chinese soybean and processed products [J]. *Biochem Eng J*, 2007, 36 (1): 49–53.
- [23] Jang CH, Park CS, Lim JK, *et al.* Metabolism of isoflavone derivatives during manufacturing of traditional meju and doenjang [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2008, 17 (2): 442–445.
- [24] Sparringa RA, Owens JS. Protein utilization during soybean tempeh fermentation [J]. *J Agric Food Chem*, 1999, 47 (10): 4375–4378.
- [25] Su CL, Wu CJ, Chen FN, *et al.* Supernatant of bacterial fermented soybean induces apoptosis of human hepatocellular carcinoma Hep 3B cells via activation of caspase 8 and mitochondria [J]. *Food Chem Toxicol*, 2007, 45 (2): 303–314.
- [26] Lin CH, Chou CC. Suppression on the mutagenicity of 4-nitroquinoline-N-oxide by the methanol extracts of soybean koji prepared with various filamentous fungi [J]. *Int J Food Microbiol*, 2006, 110 (1): 19–23.
- [27] Zhang JH, Tatsumi E, Ding CH, *et al.* Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides in douchi, a Chinese traditional fermented soybean product [J]. *Food Chem*, 2006, 98(3): 551–557.
- [28] Wang LJ, Li D, Zou L, *et al.* Antioxidative activity of douche (a Chinese traditional salted-fermented soybean food) extracts during its processing [J]. *Int J Food Prop*, 2007, 10(2): 385–396.
- [29] Wang D, Wang LJ, Zhu FX, *et al.* In vitro and in vivo studies on the antioxidant of the aqueous extracts of douche (a Chinese traditional salted-fermented soybean food) [J]. *Food Chem*, 2008, 107(4): 1421–1428.
- [30] Li FJ, Yin LJ, Lu XJ, *et al.* Change in Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activities during the ripening of douchi (a Chinese traditional soybean product) [J]. *Int J Food Prop*, 2010, 13(3): 512–524.
- [31] Chen J, Cheng YQ, Yamaki K, *et al.* Anti- $\alpha$ -glucosidase activity of Chinese traditionally fermented soybean (douchi) [J]. *Food Chem*, 2007, 103(4): 1091–1096.
- [32] Liu YQ, Wang LJ, Chen YQ, *et al.* Isoflavone content and anti-acetylcholinesterase activity in commercial douchi (a traditional Chinese salted-fermented soybean food) [J]. *Jarq-Japn Agr Res Quar*, 2009, 43(4): 310–307
- [33] 汪孟娟, 陈廷涛, 姜淑英, 等. 豆豉发酵中的微生物和功能性组分研究动态[J]. *中国微生态学杂志*, 2010, 22(1): 81–84.
- Wang MJ, Chen TT, Jiang SY, *et al.* Dynamic Changes of Flora in Koji—making Douchi by Using PCR-Denaturing Gradient Gel Electrophoresis [J]. *Chin J Microecol*, 2010, 22(1): 81–84.
- [34] Muyzer G, Ellen CD, Andre GU. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction geneseceding for 16S rRNA [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1993, 59: 695–700.
- [35] Omar ben N, Ampe F. Microbial community dynamics during production of the Mexican fermented maize dough pozol [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2000, 66(9): 3664–3673.
- [36] 张建华. 曲霉型豆豉发酵机理及其功能性研究[D]. 中国农业大学, 2003.
- Zhang JH. Study on the fermentation mechanism and healthy function of *Aspergillus*-Type Douchi [D]. China Agriculture University, 2003.
- [37] Kathleen A. Haehmeister D, Fung YC. Tempeh: a mold-modified indigenous fermented food made from soybeans and/or cereal grains [J]. *Crit Rev Microbiol*, 1993, 19(3): 137–188.
- [38] Samson RA. Microbiological quality of commercial tempeh in The Netherlands [J]. *J Food Prot*, 1987, 50(2): 92–94.
- [39] 孙森, 宋俊梅, 曲静然. 豆豉后发酵过程中微生物菌相的变化 [J]. *中国食品添加剂*, 2008, (2): 139–143.
- Sun S, Song JM, Qu JR. The change of microorganisms in the later fermentation of Douchi [J]. *China Food Addit*, 2008, (2): 139–143.
- [40] 蒋立文, 夏波. 浏阳豆豉发酵微生物的初步研究[J]. *中国酿造*, 2004, (12): 11–16.
- Jiang LW, Xia B. Preliminary study of Liuyang Lobster sauce fermentation microorganisms [J]. *China Brew*, 2004, (12): 11–16.
- [41] 钱加亮, 宋俊梅, 宁维颖. 豆豉天然制曲过程的动态研究[J]. *食品与发酵工业*, 2008, 34(2): 58–60.
- Qian JL, Song JM, Ning WY. Tendency study on the natural koji-making of Douchi [J]. *Food Ferment Ind*, 2008, 34(2): 58–60.
- [42] 张建华, 李辉, 李里特. 曲霉型豆豉曲中微生物分布[J]. *中国调味品*, 2006, (9): 15–20.
- Zhang JH, Li H, Li LT. The diversity of microorganisms in *Aspergillus*-type Douchiqu [J]. *Chin Condiment*, 2006, (9): 15–20.
- [43] 李祥. 细菌型豆豉生产的研究[J]. *中国调味品*, 1999, (10): 14–17
- Li X. Study of Bacterial-type Douchi production [J]. *Chin Condiment*, 1999, (10): 14–17.
- [44] 秦恩华. 土家豆豉中微生物的初步研究[J]. *现代食品科技*,

- 2007, 23(5): 30–31.
- Qin EH. Preliminary Study on the Microorganism isolated from Tujia Fermented Brown Bean [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2007, 23(5): 30–31.
- [45] 汪孟娟, 熊顺强, 陈廷涛, 等. PCR–DGGE 监测豆豉制曲过程中菌群的动态变化[J]. *南昌大学学报理科版*, 2010, 34(6): 571–574, 578.
- Wang MJ, Xiong SQ, Chen TT. Dynamic changes of flora in koji-making Douchi by Using PCR Denaturing Gradient Gel Electrophoresis [J]. *J Nanchang Univ (Natural Sci)*, 2010, 34(6): 571–574, 578.
- [46] Liem I, Steinkraus K, Cronk T. Production of vitamin B-12 in tempeh, a fermented soybean [J]. *Appl Environ Microb*, 1977, 34(6): 773.
- [47] Aoki H, Uda I, Tagami K, *et al*. The production of a new tempeh-like fermented soybean containing a high level of gamma-aminobutyric acid by anaerobic incubation with *Rhizopus* [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2003, 67(5): 1018–1023
- [48] Kim SH, Choin S. Purification and characterization of subtilisin D-4 secreted by *Bacillus* sp. Strain DJ-4 screened from Doen-Jang [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2000, 4(8): 1722–1725.
- [49] Machida M. Genome sequencing and analysis of *Aspergillus oryzae* [J]. *Nature*, 2005, 438(7071): 1157–1161.
- [50] Van Hylckama Vlieg JET, Veiga P, Zhang C, *et al*. Impact of microbial transformation of food on health—from fermented foods to fermented in the gastro-intestinal tract [J]. *Curr Opin Biotechnol*, 2011, 22(2): 211–219.
- [51] Zhang JH, Shen X, Yu X. Biogenic amines during the fermentation in Natto [J]. *J Shanghai Jiaotong Univ (Agric Sci)*, 2007, 1: 1683–1687.
- [52] 郝春雷. 根霉发酵大豆食品——丹贝的营养与安全性检测[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2003.
- Hao CL. Nutrition and safety study of *Rhizopus* fermenting soybean food—tempeh [D]. Haerbin: Northeast Agriculture University, 2003.
- [53] 四川泸县卫生防疫站. 变形杆菌污染水豆豉引起食物中毒[J]. *新医学*, 1979, 10(3): 141.
- Sichuan Luzhou county station for disease control and prevention. Food poisoning caused by water-douchi polluted by *Bacillus proteus* [J]. *New Med Sci*, 1979, 10(3): 141.
- [54] 杨海霞, 李慧. 家庭自制豆豉引发 B 型肉毒杆菌食物中毒事件调查分析[J]. *中国初级卫生保健*, 2012, 26(5): 57–58.
- Yang HX, Li H. Analysis of food-poisoning caused by B-type *Bacillus botulinus* polluted home-making Douchi [J]. *Chin Prim Health Care*, 2012, 26(5): 57–58.

(责任编辑: 赵静)

## 作者简介



蒋立文, 博士, 教授, 主要研究方向为食品生物技术。

E-mail: jlw\_2002cn@aliyun.com