

剁辣椒加工的研究进展

甘增鹏¹, 蒋立文¹, 吴章华², 廖卢艳^{1,2*}

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 长沙 410128; 2. 长沙好韵味实业发展有限公司, 长沙 410128)

摘 要: 剁辣椒又名发酵辣椒, 是一种香味独特、美味可口、开胃保健的传统调味品。近年来, 随着全国辣椒产业迅速发展, 种植面积不断扩大。产量的增长, 为剁辣椒的加工提供了很好的原料, 但由于生产技术水平相对较低, 人们对低盐食品的追求, 剁辣椒产业的发展仍受到很大限制。本文综述了近年来对剁辣椒发酵过程中各成分及其变化情况、加工工艺的研究进展, 并对其前景进行了展望, 以期为该行业的发展提供参考。

关键词: 剁辣椒; 风味物质; 加工工艺

Research progress on the chopped chilli processing

GAN Zeng-Peng¹, JIANG Li-Wen¹, WU Zhang-Hua², LIAO Lu-Yan^{1,2*}

(1. School of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Changsha Haoyunwei Industrial Development Co. Ltd, Changsha 410128, China)

ABSTRACT: Chili pepper, also known as fermented pepper, is a traditional condiment with unique flavor, delicious taste and appetizing health care. In recent years, with the rapid development of the national pepper industry, the planting area has continued to expand. The increase of yield provides a good raw material for the processing of chopped pepper. However, due to the relatively low level of production technology and people's pursuit of low-salt food, the development of chopped pepper industry is still greatly restricted. This paper reviewed the research progress of the components, their changes and processing technology in the fermentation process of chopped chilli in recent years, and prospected the prospects, in order to provide reference for the development of the industry.

KEY WORDS: chopped hot pepper; flavor substances; processing technics

1 引 言

辣椒含有丰富的维生素 B₁、B₂ 及脂肪油、挥发油、胡萝卜素、戊聚糖和矿物质等, 辣椒中的辣椒红素具有良好的抗氧化和预防老化的作用^[1]。近年来的研究表明, 辣椒素对多种癌细胞都具有抑制生长和诱导凋亡作用^[2]。临床试验也表明, 辣椒素可能具有减重^[3]、抗癌^[4]、免疫调节和缓解疼痛等^[5,6]多种生物活性。剁辣椒以基本成熟的鲜红辣椒(少数以青椒)为原料, 清洗干净, 去把和蒂, 适当阴干,

剁碎, 加入高盐和酒或菜油香辛料等拌匀, 密封腌制发酵制成的一种湖南特色腌菜, 一直以来深受人们喜爱。

目前, 我国剁辣椒产业整体发展的趋势较好, 但加工水平相当低下, 基本还是沿袭传统加工工艺, 剁辣椒的盐含量超过 10%, 并且在产品保脆、护色、保鲜等方面还有较大的技术难题^[7]。我国的辣椒产地基本集中在陕西、河北、河南等地, 可以提供大量的腌制辣椒半成品, 南方尽管是辣椒(特别是辣度比较大的辣椒)的消费地区, 但并不是加工辣椒的原料基地, 生产剁辣椒原料基本都来自于陕

基金项目: 长沙市科技计划项目经费资助项目(kq1801176)、长沙县科技计划农业重点项目经费资助项目(1868)

Fund: Supported by the Science and Technology Project of Changsha (kq1801176), and the Changsha County Agricultural Science and Technology Plan Key Project (1868)

***通讯作者:** 廖卢艳, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品加工及淀粉新资源开发与利用。E-mail: 120425073@qq.com

***Corresponding author:** LIAO Lu-Yan, Ph.D, Associate Professor, College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, No.1, Nongda Road, Furong District, Changsha 410128, China. E-mail: 120425073@qq.com

西等地, 本地辣椒基本用于鲜食和干制^[8]。南方省市的剁辣椒厂家相当多, 但规模小, 牌子多。剁辣椒的生产方法大致有 3 种^[7,8]: (1) 传统的自然发酵, 得到的产品风味较好, 但其生产规模难以扩大, 且产品质量得不到保障, 不能满足日益增长的消费需求; (2) 接种发酵, 在鲜碎辣椒上接种一定比例的乳酸菌生产剁辣椒, 这种产品质量稳定, 但是剁辣椒的风味较单调; (3) 将新鲜辣椒剁碎采用高盐腌制成盐胚进行保存, 后进行脱盐调味, 最后灌装杀菌得到成品。目前大多数企业生产剁辣椒采用的就是第 3 种方法, 但是风味物质在水洗脱盐过程中受到损失。

本文系统性地综述了红剁辣椒加工过程中风味物质的变化情况, 以及剁辣椒品质的加工工艺研究进展, 为扩大剁辣椒产业规模提供实验依据和理论基础。

2 剁辣椒中的风味物质

一般说来, 食品风味中的“风”表示飘逸的、挥发性物质, 能引起人的嗅觉反应; “味”则表示不挥发的水溶性或油性物质, 能引起人的味觉反应^[9]。食品的风味是通过摄入口腔的食物使人们的感觉器官(即味觉、嗅觉、痛觉、触觉和温觉等)所产生的一种感觉印象的总和^[10]。

2.1 剁辣椒中的滋味成分

滋味是食物在人的口腔内对味觉器官产生的刺激作用, 有酸、甜、苦、咸 4 种基本味, 另外还有涩、辛辣、热和清凉味等。剁辣椒在发酵过程中会产生许多与原料不同的滋味物质, 主要味感为: 酸、辣、鲜、咸、甜。

2.1.1 剁辣椒中的酸味成分

酸味是剁辣椒一个非常重要的滋味品质, 剁辣椒中有机酸的组成及比例之间的差异导致了酸味的异同, 其中对酸味起主要作用的有机酸及其酸味特征见表 1。

表 1 食品中的有机酸及其酸味特征 Table 1 Organic acid and its acidity characteristics in food	
有机酸种类	各有机酸酸味特征
乳酸	柔和稍有涩感, 尖利
酒石酸	稍有涩感, 酸味强烈
苹果酸	爽口, 余味长, 有苦味
柠檬酸	温和爽快, 有新鲜感
乙酸	极酸, 有刺激性
琥珀酸	酸味弱, 味鲜, 有异味

在剁辣椒的发酵过程中, 菌群的变化导致产生不同的代谢产物。如同型发酵乳酸菌主要产生乳酸, 而异型乳酸发酵可产生乙酸、乙醇等物质^[11]对剁辣椒的酸味影响显著。贾洪锋等^[12]采用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)分别对发酵辣椒中的 8 种(较

上表增加了草酸及甲酸)有机酸进行了分析, 结果表明, 在发酵前后, 柠檬酸、琥珀酸、草酸的含量减少; 苹果酸、乙酸和乳酸含量增加; 乳酸含量最高, 占总酸的 13.5% ~ 46.8%, 乳酸在发酵辣椒的成酸作用中占主导地位。在发酵过程中总酸含量呈上升趋势, pH 值呈下降趋势。总酸含量的高低可以反映剁辣椒中酸味物质含量的多少, 体现了剁辣椒中酸味特性, 总酸含量上升是由于乳酸菌发酵产生了乳酸所致, 这与钟敏^[13]、秦礼康^[14]等的研究一致。周晓媛等^[15]采用 HPLC 对剁辣椒中的 6 种有机酸进行了测定和分析, 研究发现乙酸和乳酸是发酵辣椒的重要酸味物质, 在测定的 6 个样品中, 属柠檬酸含量最高。此外, 杜书^[16]研究结果表明鲜辣椒加工成剁辣椒后, 剁椒的酸味增强, 甜味下降, 糖酸比呈下降趋势, 糖、酸含量两者之间此消彼长的情况表现明显。

2.1.2 剁辣椒中的辣味成分

辣椒中的辣味成分主要包括辣椒素、二氢辣椒素、降二氢辣椒素、高二氢辣椒素、高辣椒素等^[17]。其中辣椒素和二氢辣椒素 2 项约占辣椒素类物质总量的 90%, 且提供了大约 90% 的 HOT(辣感与热感)^[18]。辣椒素类物质含量高低决定了发酵辣椒的辣味, 虽然发酵过程中辣椒素类物质含量没有变化, 但是添加食用油和不同调味料(蔗糖、柠檬酸、谷氨酸钠、硫酸奎宁)对辣度均有降低作用, 一般添加量越大, 辣椒口感辣度降低值也随之增大, 食盐的影响则相反^[19]。

2.1.3 剁辣椒中的鲜、甜、咸味成分

氨基酸态氮含量可以反映剁辣椒中鲜味物质的多少, 体现了剁辣椒中鲜味特性。发酵过程中, 剁辣椒中的氨基酸态氮含量是呈上升趋势的, 发酵成熟的辣椒中至少有 17 种氨基酸, 其中对剁辣椒滋味影响较大的有天冬氨酸、甘氨酸、丝氨酸、谷氨酸、丙氨酸等, 谷氨酸和天冬氨酸与食盐作用形成的钠盐, 增强了发酵辣椒的鲜味^[20]。剁辣椒中的甜味物质主要包括辣椒原料自身含有的可溶性总糖及加工中添加的蔗糖, 在剁辣椒的发酵过程中这类物质不断被消耗利用, 因此总体呈下降趋势。剁辣椒中的咸味主要由发酵时所添加的食盐量决定, 食盐量在腌制过程中基本也无量的变化。

2.2 剁辣椒中的挥发性成分

剁辣椒中的挥发性成分来源于 2 个方面。(1) 辣椒原料本身含有的脂类、蛋白质、碳水化合物等前体物质, 在辣椒生长、成熟、贮藏过程中, 经过果实中酶的直接或间接的催化下进行生物合成, 形成各种各样的挥发性化合物。(2) 剁辣椒发酵过程中, 在生物因素和非生物因素的作用下生成的具有剁辣椒特有的挥发性成分。

陆宽等^[21]采用电子鼻结合顶空固相微萃取-气相色谱联用技术(solid phase microextraction-gas chromatography, SPME-GC)分析了贵州 5 种辣椒发酵后挥发性成分, 共鉴

定出 124 种挥发性成分, 其中 57 种挥发性物质为 5 种发酵辣椒共有, 主要有主要有烃类、酯类、醇类, 还含有少量的醛类、酸类、酮类等化合物。罗凤莲^[22]采用顶空固相微萃取技术(head space solid phase microextraction, HS-SPME)和气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用技术分别对自然发酵(1~4 周)的剁辣椒挥发性成分进行测定, 结果表明随着发酵时间增加, 剁辣椒中的挥发性成分总数量有下降趋势; 剁辣椒随着发酵时间(1~4 周)的增加, 其挥发性成分中酸类、醛类的相对含量依次增加, 4 种朝天椒剁辣椒的主要挥发性成分中, 酸类、醛类在剁辣椒发酵 4 周的相对含量达到最高值, 分别为 7.19%和 9.24%。烯烃类在剁辣椒 3 周中的相对含量最高。酯类在剁辣椒发酵 1 周和 4 周中的相对含量较高; 醇类在剁辣椒发酵 3 周的相对含量最高。此外, 针对接种发酵剁辣椒的风味物质变化也有较多的研究^[23,24]。

在剁辣椒的挥发性成分中, 烷烃类物质呈味阈值较高, 风味特征不明显, 因此不作为发酵辣椒呈香物质, 而烯烃类物质阈值较低, 为剁辣椒提供花香、果香和木香等相对柔和的香气; 酯类物质赋予剁辣椒的香气十分重要, 对产品风味贡献极大。其主要组分有正己酸乙酯、乙酸异戊酯、水杨酸甲酯、棕榈酸乙酯等, 能产生令人愉悦的花香(玫瑰、鸢尾、丁香等)、果香、芳香等气味; 醛、酮、酸类化合物挥发性成分中所占比例虽然较低但是因其阈值不同, 对辣椒发酵后的风味同样起到重要作用; 醛类物质香气浓烈, 多为花香及果香气味; 酮类物质性质稳定, 并且香气持久, 一般具有花香气味; 酸类物质则给予发酵蔬菜清新的酸味^[23,24]。

3 剁辣椒的加工工艺研究进展

3.1 剁辣椒加工的基础研究

剁辣椒在加工和贮藏过程中极易变色、质地变软, 导致品质降低, 直接影响到产品的商品价值。目前国内外学者对红辣椒的颜色变化已有一些研究报道, 如 Carbonell 等^[25]认为, 红辣椒褪色主要是由于类胡萝卜素的自身氧化; Chung 等^[26]研究结果表明, 辣椒品种、氧、贮存温度和水分是影响鲜辣椒贮藏期间类胡萝卜素损失的主要因素; 江玲^[27]研究结果表明, 抗氧化剂特丁基对苯二酚和丁基羟基甲苯对红辣椒粒颜色有显著的稳定作用, 而且 2 种抗氧化剂与 VC 复配的效果更好; D-异抗坏血酸钠、乙二醇四乙酸二钠对发酵红辣椒酱的护色作用较好^[28]; 以 0.005% NaHSO_3 、0.1%柠檬酸、0.02%乙二醇四乙酸二钠的护色剂组合对红辣椒酱的护色效果良好^[29]。张晓等^[30]研究通过单因素和 $L_9(3^4)$ 正交试验得出剁辣椒无硫护色剂最优组合为柠檬酸 0.20%, 异抗坏血酸钠 0.40%, EDTA-2Na 0.02%。该

无硫护色剂组合能够较好地防止剁辣椒在加工和贮藏过程中的褐变, 获得较理想的护色效果, 能够替代硫酸盐的护色剂。

口感脆嫩是剁辣椒的另一项重要感官质量指标, 它是腌制产品食用时的一种齿感反应。剁辣椒中的脆度物质是果胶物质, 剁辣椒中果胶物质有 3 种状态: 原果胶、果胶和果胶酸。原果胶为细胞壁中胶层的组成部分, 不溶于水, 常与纤维结合为果胶纤维, 使组织具有一定的强度和密度。剁辣椒腌制过程中原果胶、果胶逐渐分解成果胶酸, 使剁辣椒脆度下降^[31]。徐浩^[32]通过在罐装时添加适量的硬化剂, 对产品进行保脆试验, 得出添加 0.2% 的 CaCl_2 作为剁辣椒产品的保脆剂, 效果最好。

根据国际研究结果, 摄入过多的食盐不仅易引发和加重高血压, 还更易引发肾脏疾病, 加重糖尿病病情、加剧哮喘, 引起消化系统的疾病、冠心病, 甚至是癌症^[33-35]。实现剁辣椒低盐化也是一个重要问题。王晶晶等^[36]以新鲜红线椒为原料, 以 10%氯化钠腌制发酵作为对照, 分别添加不同比例的氯化钾代替氯化钠, 同时使用风味增强剂氯化钙、氯化镁进行剁辣椒研制, 得到的剁辣椒风味较好, 证实了低钠盐剁辣椒具有一定的可操作性和实用性。文星昱^[37]在剁辣椒制坏环节中以食盐浓度、柠檬酸添加量及压坏环节的腌制压力为单因素, 以 pH 值、细菌总数、乳酸菌总数、酵母菌总数为测定指标, 综合单因素和响应面试验, 优化得出了食盐浓度 9.85%、柠檬酸浓度 0.10%、腌制压力 11716.57 Pa 为朝天椒剁椒坏的最佳降盐保坏条件。

此外, 罗凤莲等^[38]采用 HPLC 方法研究了不同发酵条件对剁辣椒中有机酸种类及含量的影响, 结果表明在剁辣椒的发酵体系中加油有利于控制剁辣椒过度产酸, 加糖有利于快速形成剁辣椒的酸味。张群等^[39]采用 SPME-GC-MS 分析了 5%、10%、15%、20%盐度剁辣椒和辣椒原料中挥发性成分的差别, 结果表明 10%盐度下发酵一个月产生的挥发性成分种类最多, 风味品质突出, 剁辣椒与原料辣椒之间挥发性成分有较大的差异。

3.2 剁辣椒发酵的专用菌研究

传统的发酵辣椒主要依靠天然附着在辣椒表面的微生物(主要是乳酸菌)进行乳酸发酵, 加上食盐(8%~20%)的高渗透作用抑制大部分杂菌的生长, 达到腌制保存的目的。所以传统发酵辣椒存在亚硝酸盐超标、含盐量高、质量不稳定和生产周期长等问题^[40]。

赵玲燕等^[41,42]从自然发酵辣椒中分离选育出 Lact1 和 Lact2, Lact3, 3 株乳酸菌, 用它们对辣椒进行发酵实验, 结果表明接种发酵周期明显短于自然发酵且亚硝酸盐含量明显低于自然发酵。王兰等^[43]以传统发酵辣椒为分离源, 得到对亚硝酸盐有明显的降解作用的乳酸菌 L5。叶陵等^[44,45]从自然发酵辣椒中分离出乳酸菌菌株, 并通过产酸能力和

亚硝酸盐降解率及胁迫耐受实验,选出了耐胁迫能力最强的植物乳杆菌 W-4,将 W-4 进行剁辣椒纯种发酵,结果表明接种植物乳杆菌 W-4 发酵,能加快乳酸发酵的进程,剁辣椒中乳酸的含量要高于自然发酵,在发酵过程中,W-4 快速成为优势菌,较快地降低剁辣椒的 pH 值,且 W-4 大量生长对霉菌、酵母菌生长有抑制作用,使其生长速度减缓。李文青等^[46]以菌种肠膜明串珠菌、植物乳杆菌、发酵乳杆菌和嗜酸乳杆菌 4 种乳酸菌分别活化 2~3 代,再将 4 种菌按 1:1:1:1(V:V:V:V)混合,吸取 0.8 mL 接入 50 mL 辣椒汁培养基中,37 °C 下扩大培养 24 h,离心分离(3500 r/min, 10 min, 4 °C),用 50 mL 0.85% 的生理盐水洗涤沉淀菌种 2~3 次后制成多菌种发酵种子液,以脆度、总酸和感官评分为考察指标,研究了菌种接种量、食盐添加量和发酵时间对剁辣椒品质的影响,综合单因素和响应面试验得到多菌种接种发酵生产低盐剁辣椒的最佳工艺条件为:接种量 6%,食盐添加量 6%,发酵时间 5 d,发酵温度 37 °C,为多菌种接种发酵生产低盐剁辣椒的最佳工艺条件。王修俊等^[47]从自然发酵辣椒汁中分离出一株产酸能力强,生长状况良好的植物乳杆菌 R-2,对其生长特性研究表明菌株 R-2 对 pH 和 NaCl 浓度具有较强的耐受能力,这株菌在产酸能力、耐酸耐盐性等方面都适合用于发酵辣椒的生产;张良等^[48]从老坛泡辣椒水中分离出 5 株菌并制成复配式发酵剂;沙漠等^[49]从自然发酵的辣椒酱中分离到 2 株发酵性能优良的乳酸菌:植物乳杆菌 Lact.1 和肠膜明串珠菌 Lact.2。徐浩等^[50]从高盐辣椒坯中分离筛选得到了一株耐盐酵母菌 Yx.509。此外,韩俊燕等^[51]采用宏基因组测序方法研究了剁辣椒中菌群的种类和数量,为其中功能性菌种资源的开发提供理论指导。

4 展 望

剁辣椒产业在湖南已经形成一定规模,但是加工厂家基本还是小作坊式生产,生产环境恶劣,管理粗放技术水平低,产品含盐量高,发酵周期长,品质不稳定。使剁辣椒产业的进一步发展受到制约。应采用 ISO9000 和 HACCP 质量管理体系,提高产品质量和加工水平,改善剁辣椒生产的加工条件及其设备配套,改革传统剁辣椒制作的作坊生产方式,加速对辣椒特种加工设备的研究,提高加工水平,加强辣椒加工的基础研究,争取在保持辣传统剁辣椒优良风味的基础上,实现产品保脆、中盐或低盐、不使用防腐剂的技术突破,对专用于辣椒发酵的微生物进行分离,制作专用的剁辣椒发酵剂,减少发酵周期及杂菌污染,将是剁辣椒产业做大做强必经之路。

参考文献

- [1] 贺圣凌,曾海英.豆瓣辣酱调配后熟与色泽风味形成关联性研究[J].中国调味品,2016,41(8):36-40.

- HE SL, Zeng HY. Study on the relationship between blending process of post-ripening and forming of color and flavor of fermented broad bean chili sauce [J]. China Cond, 2016, 41(8): 36-40.
- [2] 袁龙,朴花子.辣椒素的抗肿瘤作用研究进展[J].延边大学医学学报,2011,34(1):68-71.
- Yuan L, Bu HZ. Research progress of capsaicin's anti-tumor effect [J]. J Med Sci Yanbian Univ, 2011, 34(1): 68-71.
- [3] Varghese S, Kubatka P, Rodrigo L, et al. Chili pepper as a body weight-loss food [J]. Int J Food Sci Nutr, 2017, 68(4): 10.
- [4] Lin CH, Lu WC, Wang CW, et al. Capsaicin induces cell cycle arrest and apoptosis in human KB cancer cells [J]. BMC Compl Altern Med, 2013, 13(1): 46.
- [5] Sharma SK, Vij AS, Sharma M. Mechanisms and clinical uses of capsaicin [J]. Eur J Pharmacol, 2013, 720(1-3): 55-62.
- [6] Yang D, Luo Z, Ma S, et al. Activation of TRPV1 by dietary capsaicin improves endothelium-dependent vasorelaxation and prevents hypertension [J]. Cell Metabol, 2010, 12(2): 1-141.
- [7] Sharma A, Gautam S, Jadhav SS. Spice extracts as dose-modifying factors in radiation inactivation of bacteria [J]. J Agric Food Chem, 2000, 48(4): 1340-1344.
- [8] 胡博涵,吴晖,赖富饶,等.农家风味剁辣椒发酵工艺的优化[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2014,40(1):108-112.
- Hu BH, Wu H, Lai FR, et al. Optimization of fermentation technology on chopped chili with rustic flavor [J]. J Hunan Agric Univ (Nat Sci Ed), 2014, 40(1): 108-112.
- [9] 夏延斌,池玉杰,朱旗,等.食品风味化学[M].北京:化学工业出版社,2008.
- Xia YB, Chi YJ, Zhu Q, et al. Food flavor chemistry [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [10] 朱国斌,鲁红军.食品风味原理与技术[M].北京:北京大学出版社,1996.
- Zhu GB, Lu HJ. Principles and techniques of food flavor [M]. Beijing: Peking University Press, 1996.
- [11] Blandino A, Alaseeri ME, Pandiella SS, et al. Cereal-based fermented foods and beverages [J]. Food Res Int, 2003, 36(6): 527-543.
- [12] 贾洪锋,贺雅非,李洪军,等.高效液相色谱法测定发酵辣椒中的有机酸[J].食品科学,2008,29(3):374-379.
- Jia HF, He ZF, Li HJ, et al. Analysis of organic acids in fermented capsicum by reverse phase high performance liquid chromatography [J]. Food Sci, 2008, 29(3): 374-379.
- [13] 钟敏,宁正祥.辣椒自然乳酸发酵中的变化及影响发酵质量的几个因素[J].广州食品工业科技,2000,16(3):1-3,35.
- Zhong M, Ning ZX. Changes in natural lactic acid fermentation of pepper and several factors affecting fermentation quality [J]. Guangzhou Food Sci Technol, 2000, 16(3): 1-3, 35.
- [14] 秦礼康,江萍,张倩,等.菌群强化与直接装瓶发酵糟辣椒生产工艺研究[J].食品科学,2004,25(3):96-101.
- Qin LK, Jiang P, Zhang Q, et al. Study on processing technology of zao pepper through microflora intensification and direct bottle-filling fermentation [J]. Food Sci, 2004, 25(3): 96-101.
- [15] 周晓媛.发酵辣椒的风味物质和风味调配技术研究[D].长沙:湖南农业大学,2005.
- Zhou XY. Studies on the flavor components and flavor adjustment of

- fermented chill products [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2005.
- [16] 杜书. 酸菜自然发酵过程中风味及质地变化规律研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013.
- Du S. Studies on changes of flavor and texture in sauerkraut during natural fermentation [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2013.
- [17] 王梦, 赵佩霞, 张鹏, 等. 辣椒碱单体、二氢辣椒碱单体和降二氢辣椒碱单体抗氧化效果研究[J]. 化学与生物工程, 2019, 36(2): 8–11.
- Wang M, Zhao PX, Zhang P, *et al.* Antioxidant effect of capsaicin monomer, dihydrocapsaicin monomer, and nordihydrocapsaicin monomer [J]. Chem Biol Eng, 2019, 36(2): 8–11.
- [18] Kosuge S, Furuta M. Studies on the pungent principle of capsicum [J]. J Agric Chem Soc Japan, 1970, 34(2): 248–256.
- [19] 王燕. 辣椒素类物质分析及其感官特性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007.
- Wang Y. Analysis and sensory characteristic research of capsaicinoids [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2007.
- [20] 罗凤莲, 夏延斌, 欧阳建勋, 等. 剁辣椒发酵过程中滋味物质的变化[J]. 食品科学, 2013, 34(3): 21–24.
- Luo FL, Xia YB, Ouyang JX, *et al.* Changes in tasty materials during fermentation of chopped chili [J]. Food Sci, 2013, 34(3): 21–24.
- [21] 陆宽, 王雪雅, 孙小静, 等. 电子鼻结合顶空 SPME-GC-MS 联用技术分析贵州不同品种辣椒发酵后挥发性成分[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 199–205.
- Lu K, Wang XY, Sun XJ, *et al.* Analysis of the volatile components of fermented hot pepper from different varieties grown in guizhou by electronic nose combined with SPME-GC-MS [J]. Food Sci, 2018, 39(4): 199–205.
- [22] 罗凤莲. 湖南剁椒腌制过程中风味及品质变化规律研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- Luo FL. Flavor and quality change of chopped chill in Huan during pickling [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.
- [23] 唐鑫, 夏延斌, 吴灿, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析酵母菌对发酵辣椒汁挥发性成分的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(6): 1420–1423.
- Tang X, Xia YB, Wu C, *et al.* Effect of yeast fermentation on volatile components in hot pepper sauce by HS-SPME-GC-MS [J]. Mod Food Sci Technol, 2013, 29(6): 1420–1423.
- [24] 钟燕青, 夏延斌. 顶空固相微萃取-气质联用分析不同菌种发酵辣椒汁的香气分析[J]. 食品科技, 2012, 37(8): 271–275.
- Zhong YQ, Xia YB. SPME-GC-MS analysis of flavor components in hot pepper sauce of various fermentation ways [J]. Food Sci Technol, 2012, 37(8): 271–275.
- [25] Carbonell JV, Pinaga F, Yusa V, *et al.* The dehydration of paprika with ambient and heated air and the kinetics of colour degradation during storage [J]. J Food Eng, 1986, 5(3): 179–193.
- [26] Chung SK, Shin JC, Choi JU. Effect of blanching on dry rates and colour of hot red pepper [J]. Korean Soc Food Nutr, 1992, 21: 64–69.
- [27] 江玲. 脱水蔬菜贮藏过程中变色问题的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- Jiang L. Study of the decolouration of some dehydration vegetables during storage [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [28] 何绪晓. 发酵辣椒酱工艺及保藏技术研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2008.
- He XX. Research on technique and preserve technology of fermented chilli sauce [D]. Guiyang: Guizhou University, 2008.
- [29] 王德培. 辣椒酱护色工艺研究[J]. 食品工业, 2005, (5): 31–34.
- Wang DP. Study on the color-retention technique of pepper sauce [J]. Food Ind, 2005, (5): 31–34.
- [30] 张晓, 余燕珊, 龚炳德, 等. 剁辣椒无硫护色工艺的研究 [J]. 现代食品科技, 2013, 29(4): 780–783.
- Zhang X, She YS, Gong BD, *et al.* Non-sulfur anti-browning technology of chopped capsicum [J]. Mod Food Sci Technol, 2013, 29(4): 780–783.
- [31] 龙秀田. 腌渍蔬菜的保绿和保脆研究[J]. 食品与发酵科技, 2010, 46(5): 53–57.
- Long XT. Research on green and crispness keeping of pickled vegetables [J]. Food Ferment Sci Technol, 2010, 46(5): 53–57.
- [32] 徐浩. 发酵脆鲜风味剁辣椒发酵剂的制备及应用[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- Xu H. Preparation and application of crisp and fresh flavor chopped pepper fermentation agent [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013.
- [33] Uzodike VO. Epidemiological studies of arterial blood pressure and hypertension in relation to electrolyte excretion in three Igbo communities in Nigeria [D]. London: University of London, 1993.
- [34] 李学贵, 严晓燕. 低盐化榨菜生产原理及其应用初探[J]. 中国酿造, 2004, (5): 4–6.
- Li XG, Yan XY. Principle of low-salted tsatsai process and initial study on its application [J]. China Brew, 2004, (5): 4–6.
- [35] Page LB, Vandever DE, Nader K, *et al.* Blood pressure of Qash'qai pastoral nomads in Iran in relation to culture, diet, and body form [J]. Am J Clin Nutr, 1981, 34(4): 527–538.
- [36] 王晶晶, 王蓉蓉, 刘成国, 等. 低钠盐发酵剁辣椒的挥发性成分研究[J]. 农产品加工, 2017, (18): 32–36.
- Wang JJ, Wang RR, Liu CG, *et al.* Volatile compounds of chopped pepper with low sodium salt [J]. Farm Prod Process, 2017, (18): 32–36.
- [37] 文新显. 红剁椒降盐保坏方法及其效果研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.
- Wen XY. Study on method and effect of decreasing salt of pickled chill [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2015.
- [38] 罗凤莲, 夏延斌, 文新显. 不同发酵条件对剁辣椒中有机酸种类及含量的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(11): 48–52.
- Luo FL, Xia YB, Wen XY. Influence of different fermentation conditions on organic acid kind and content of chopped chili [J]. Food Sci Technol, 2015, 40(11): 48–52.
- [39] 张群, 郑井元, 郑金玉, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱联用质谱法分析“三味”剁辣椒和原料的挥发性成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(21): 5678–5687.
- Zhang Q, Zheng JY, Zheng JY, *et al.* Analysis of volatile components of "SanWei" chopped chili and its raw materials by solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(21): 5678–5687.
- [40] Mcfeeters RF. Cell wall monosaccharide changes during softening of brined cucumber mesocarp tissue [J]. J Food Sci, 1992, 57(4): 937–940.
- [41] 赵玲艳, 邓放明, 杨抚林, 等. 自然发酵辣椒中乳酸菌的分离及其发酵性能研究 [J]. 食品科学, 2005, (10): 82–86.
- Zhao LY, Deng FM, Yang FL, *et al.* Isolation and fermentation

- performance of lactic acid bacteria from natural fermented pepper [J]. Food Sci, 2005, (10): 82–86.
- [42] 赵玲艳, 邓放明, 杨抚林. 乳酸菌 Lact.1、Lact.2 和 Lact.3 在发酵碎鲜辣椒中的应用研究[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 257–260.
- Zhao LY, Deng FM, Yang FL. Study on application of lact. 1 lact. 2 and lact. 3 in inoculated fermented pepper [J]. Food Sci, 2008, 29(2): 257–260.
- [43] 王兰, 赵玲艳, 陈思思, 等. 发酵辣椒中产亚硝酸盐还原酶短乳杆菌 L5 的选育及特性研究 [J]. 中国酿造, 2014, (11): 25–29.
- Wang L, Zhao LY, Chen SS, *et al.* Screening of nitrite reductase producing *Lactobacillus brevis* L5 from fermented chili and its characteristic study [J]. China Brew, 2014, (11): 25–29.
- [44] 叶陵, 李勇, 王蓉蓉, 等. 剁辣椒中优良乳酸菌的分离鉴定及其生物学特性分析[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 112–117.
- Ye L, Li Y, Wang RR, *et al.* Isolation, identification and biological characteristics of excellent lactic acid bacteria from fermented hot pepper [J]. Food Sci, 2018, 39(10): 112–117.
- [45] 叶陵, 王晶晶, 王蓉蓉, 等. 剁辣椒发酵过程中菌群与有机酸变化规律分析[J]. 食品科学, 2018, 39(6): 116–121.
- Ye L, Wang JJ, Wang RR, *et al.* Changes in microflora and organic acid contents during the fermentation of chopped pepper [J]. Food Sci, 2018, 39(6): 116–121.
- [46] 李文青, 罗凤莲, 曾希珂, 等. 多菌种接种发酵生产低盐剁辣椒的工艺优化[J]. 现代食品科技, 2019, 35(1): 206–214.
- Li WQ, Luo FL, Zeng XK, *et al.* Production process optimization of low-salt chopped capsicum by inoculation and fermentation of multiple strains [J]. Mod Food Sci Technol, 2019, 35(1): 206–214.
- [47] 王修俊, 王丽芳, 郑君花, 等. 贵州发酵辣椒中优良乳酸菌的分离鉴定及生长特性研究 [J]. 食品科技, 2014, 39(10): 17–21.
- Wang XJ, Wang LF, Zheng JH, *et al.* Study on isolation, identification and growth characteristics of excellent lactic acid bacteria from fermented pepper of Guizhou [J]. Food Sci Technol, 2014, 39(10): 17–21.
- [48] 张良, 向文良, 曾泽生, 等. 泡辣椒中菌株的分离、鉴定与直投式发酵剂复配研究 [J]. 食品科学, 2013, 34(21): 242–247.
- Zhang L, Xiang WL, Zeng ZS, *et al.* Separation, identification and direct vat set (DVS) development of bacteria from fermented chili pepper [J]. Food Sci, 2013, 34(21): 242–247.
- [49] 沙漠, 逢焕明, 古丽娜孜, 等. 自然发酵辣椒酱中乳酸菌的分离与鉴定 [J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 35–37, 143.
- Sha M, Feng HM, Gu LNZ, *et al.* Isolation and identification of lactic acid bacteria from natural fermentation peppers [J]. Food Mach, 2012, 28(1): 35–37, 143.
- [50] 徐浩, 刘素纯, 聂荣, 等. 用于发酵型风味剁辣椒耐盐酵母菌的筛选 [J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 1076–1079, 1197.
- Xu H, Liu SC, Nie R, *et al.* Screening of salt-tolerant yeast for fermented flavor chopped pepper [J]. Mod Food Sci Technol, 2013, 29(5): 1076–1079, 1197.
- [51] 韩俊燕, 赵国忠, 赵建新, 等. 发酵辣椒细菌多样性的 16S rDNA 测序分析[J]. 中国食品学报, 2018, 18(5): 246–251.
- Han JY, Zhao GZ, Zhao JX, *et al.* 16S rDNA Sequencing analysis of bacterial diversity of fermented pepper [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2018, 18(5): 246–251.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



甘增鹏, 硕士研究生, 主要研究方向为食品加工及淀粉新资源开发与利用。
E-mail: 839228948@qq.com



廖卢艳, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品加工及淀粉新资源开发与利用。
E-mail: 120425073@qq.com