

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241022001

引用格式: 林丽华, 卢安萍, 陈璟. 酸笋的风味物质及其发酵技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(3): 147–153.

LIN LH, LU ANP, CHEN J. Research progress on flavor compounds and fermentation technology of sour bamboo shoots [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(3): 147–153. (in Chinese with English abstract).

酸笋的风味物质及其发酵技术研究进展

林丽华^{1,2*}, 卢安萍^{1,2}, 陈璟^{1,2}

(1. 柳州职业技术大学环境与食品工程学院, 柳州 545006; 2. 柳州市农产品快速检测工程技术中心, 柳州 545006)

摘 要: 酸笋作为一种传统发酵食品, 主要由新鲜竹笋经过自然发酵或人工接种发酵制成, 以其独特的风味和丰富的营养成分在中国南方地区广受欢迎。酸笋富含纤维素、维生素、矿物质及多种有益微生物, 具有较高的营养价值。酸笋特有的酸味和香气主要来自于发酵过程中产生的挥发性和非挥发性化合物, 包括乳酸、醋酸、酯类和醇类等。近年来, 随着现代发酵技术的发展, 研究者在酸笋的发酵菌种筛选、发酵条件优化及产品质量控制等方面取得了显著进展。本文综述了酸笋的主要营养成分、风味物质及其发酵技术的研究进展, 为提高酸笋的生产工艺、改善产品风味品质以及实现标准化生产提供理论依据。

关键词: 酸笋; 营养成分; 风味物质; 发酵技术

Research progress on flavor compounds and fermentation technology of sour bamboo shoots

LIN Li-Hua^{1,2*}, LU An-Ping^{1,2}, CHEN Jing^{1,2}

(1. Environment and Food Engineering School, Liuzhou Polytechnic University, Liuzhou 545006, China;

2. Liuzhou Agricultural Products Rapid Testing Engineering Technology Center, Liuzhou 545006, China)

ABSTRACT: Chinese sour bamboo shoot, as a traditional fermented food, is mainly made from fresh bamboo shoots through natural fermentation or inoculated fermentation. It is widely popular in Southern China due to its unique flavor and rich nutritional content. Sour bamboo shoots are rich in cellulose, vitamins, minerals, and various beneficial microorganisms, offering significant nutritional value. Their distinctive sour taste and aroma primarily originate from volatile and non-volatile compounds produced during the fermentation process, including lactic acid, acetic acid, esters, and alcohols. In recent years, with the development of modern fermentation technology, researchers have made significant progress in the selection of fermentation strains, optimization of fermentation conditions, and product quality control of sour bamboo shoots. This article reviewed the main nutritional components, flavor compounds, and the research progress of its fermentation technology, providing a theoretical basis for improving the production process of pickled bamboo shoots, enhancing product flavor quality, and achieving standardized production.

KEY WORDS: sour bamboo shoots; nutrient composition; flavor compounds; fermentation technology

收稿日期: 2024-10-22

基金项目: 大学生创新与创造项目(柳职院教字〔2024〕20号); “课堂革命”立项建设项目(柳职院教字〔2023〕3号); 广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(桂教科研〔2024〕1号)

第一作者/*通信作者: 林丽华(1992—), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向食品加工与安全。E-mail: 708999620@qq.com

0 引言

酸笋(sour bamboo shoot)为传统酸发酵品,通过竹笋的自然、加盐或添加微生物发酵得来,风味独特,口感鲜嫩脆爽,在广西、广东和云南等地深受欢迎,其营养成分、风味物质及发酵工艺成为当今研究的热点^[1-2]。酸笋含膳食纤维、必需氨基酸及钙、钾和钠等,脂肪含量低^[3-4]。酸笋的独特风味来自其发酵产生的各种挥发性化学物质。乳酸和醋酸等有机酸是酸笋酸味的主要来源,赋予酸笋独特酸味,还具有防腐良效。酯类、醇类和醛类等赋予酸笋独特香气。发酵过程中蛋白质分解产生的游离氨基酸和小分子肽也影响着酸笋的风味^[5]。酸笋发酵主要为选择适宜的竹笋、清洗竹笋、竹笋切片(条)或整根、加纯水或食盐水或接种微生物、装罐和发酵等几个工艺。发酵时长依据气候、温度和所需的酸度而定,会持续几天到几周不等。为确保酸笋品质和食用安全,发酵过程中需严格控制卫生条件,避免有害微生物生长。近年来,随着食品科学技术发展,酸笋的发酵工艺也在不断优化,包括采用先进的发酵罐、提高发酵菌种的利用效率以及应用生物技术提升酸笋风味物质等。

柳州螺蛳粉闻名遐迩,酸笋是螺蛳粉的重要配菜,素有螺蛳粉灵魂之说^[6],广西的地域特色美食如桂林米粉、南宁老友粉等也添加酸笋,酸笋是广西饮食文化的特色。本文拟介绍酸笋中主要的营养成分及其风味物质,并总结酸笋发酵腌制技术,分析存在问题,有助于提升其生产工艺和产品质量,为提高酸笋资源利用率、确保酸笋食用安全性、提升其市场竞争力、保护和传承传统工艺、促进绿色食品的发展提供一些可参考的价值。

1 酸笋的主要营养成分

酸笋含多种对人体有益的营养成分,如表 1 所示。

酸笋含多种营养成分,适量食用酸笋可享受到其独特的风味,还能获得膳食纤维、氨基酸和矿物质,对健康有多种益处。在日常饮食中,可将酸笋作为一种健康食品进行合理搭配,以达到营养均衡的效果。

2 酸笋的挥发性风味物质

酸笋的风味物质复杂多样,既有其竹笋原料产生物质,也有微生物发酵产物和酶催化反应产生物质,这些物质包括酚类、醛类、醇类、酮类和酸类等化合物。近年来,多种先进的高精度、高灵敏度的检测技术被应用于酸笋风味分析。

2.1 酚类物质

酚类物质具有一定的抗氧化活性,可中和自由基,减少氧化应激。顶空固相微萃取(headspace solid-phase microextraction, HS-SPME)、气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术检测出酸笋含 53 种挥发性风味物质,含量排前的为对甲苯酚^[3]。酸笋以酚类居多,最突出为对甲苯苯酚,占 62%以上,对酸笋独特风味贡献最大^[8-10]。GC-MS 选择性离子扫描(selected ion monitor, SIM)检出酸笋含对甲苯酚和 2-甲氧基-5-甲基苯酚,但在其他发酵蔬菜中均未检出^[11]。HS-SPME-GC-MS 和正交偏最小二乘判别分析(orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA)酸笋中以 2,4-二叔丁基酚含量最高^[12]。酚类是挥发性物质中含量最高的,主要风味成分为对甲基苯酚^[13]。酸笋在发酵 90 d 时对甲苯酚含量高达 55.4 μg/g,有强烈的刺激性气味,对酸笋风味形成有显著影响^[14]。对甲苯酚和 1-辛烯-3-醇是酸笋的主要特征气味物质,柳州酸笋中对甲苯酚的浓度较高,其具有较强的酸性和刺激性气味,而桂林酸笋含有较多的醇类和酯类,导致其果香味较浓^[8]。

酸笋风味的最主要呈味物质为对甲苯酚,它是竹笋中游离氨基酸酪氨酸的主要发酵副产物^[15]。对甲苯酚是一种有机化合物,属于酚类,具有较强刺激性气味,能为酸笋带来独特的香气,使其具有辨识度和吸引力,对甲苯酚具有一定抗氧化性和抗菌作用,有助于保持酸笋的品质稳定,延长保质期。

2.2 醛类物质

电子鼻检测出植物乳杆菌发酵的酸笋中含有醛类物质^[13]。自然发酵的酸笋同样含有醛类这一挥发性风味物质,其对酸笋风味的形成有较大的影响^[16-17]。通过 HS-SPME-GC-MS 检测出酸笋含醛类等挥发性风味物质,

表 1 酸笋的主要营养成分
Table 1 Main nutritional components of sour bamboo shoots

营养成分	类别	含量	来源	参考文献
膳食纤维	纤维素和半纤维素	1.9 g/100 g	竹笋细胞壁成分	[3]
氨基酸	苯丙氨酸、亮氨酸、异亮氨酸	0~625.8 mg/kg	预包装柳州螺蛳粉酸笋	[7]
矿物质	钾	187.7 mg/100 g	自然发酵酸笋	[3]
	钠	53.3 mg/100 g		
	钙	14.2 mg/100 g		
脂肪	—	0.1~0.3 g/100 g	自然发酵酸笋	[3]

还含有反-2-壬烯醛、3-甲基丁醛、苯甲醛及庚醛多种醛类特征风味物质, 未发现含有 β -柠檬醛^[18]。主成分分析结果表明, 在 28 d 的发酵过程中, 在酸笋中检测到至少 13 种挥发性化合物为特征香气化合物, 以 2,4-二甲基苯甲醛的含量最高, 为芳香族化合物的降解产物, 赋予杏仁香气, 可能是竹笋产生气味的主要原因^[19]。

发酵过程中, 微生物代谢活动会产生更多的醛类化合物, 一些醛类物质在发酵过程中可能发生转化, 生成新的风味化合物, 使酸笋的风味更加复杂和浓郁。酸笋中的醛类物质包括己醛、戊醛、壬醛和苯甲醛等, 赋予酸笋独特的香气和风味, 增加食物的感官愉悦性, 并具有抗菌和抗氧化等多种健康益处。挥发性醛类物质的含量会因竹笋的品种、种植条件和发酵工艺而有所不同。

2.3 酸类物质

酸笋中的酸类物质由微生物代谢产生。酸笋含少量的醋酸、柠檬酸和酒石酸, 乳酸和乙酸含量较高, 酸笋中的酸类物质呈先增加后降低趋势, 在发酵 120 d 时含量最高达 25.9 $\mu\text{g/g}$, 在发酵 150 d 含量分别为 3.7 mg/g 、3.1 mg/g ^[14]。在 pH 为 2.7 酸性条件下, 测得酸笋中草酸为 301.6 $\text{mg}/100\text{ g}$ 、乳酸为 83.4 $\text{mg}/100\text{ g}$ 、乙酸为 20.3 $\text{mg}/100\text{ g}$, 占总有机酸 98.2%, 而苹果酸、柠檬酸、富马酸和琥珀酸含量较低^[11]。酸笋含己酸和辛酸, 且酸笋提取物有较好的抗氧化活性, 能清除 2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐

[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS]阳离子自由基和 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基^[20]。

2.4 其他风味物质

酸笋中还含有醇类和醚类等其他物质。酸笋含乙醇、3-辛醇、3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇等醇类物质, 赋予酸笋独特的酒精和水果香气^[3]。酸笋中的醇类在发酵 30 d 时占风味物质的 13.94%^[14]。酸笋还含有 1-辛烯-3-醇乙酸乙酯、2-壬醇及茴香醚等风味物质^[21]。气相色谱-嗅觉法和感官评定分析酸笋的香气成分为水杨酸甲酯、反-2-辛烯醛、反-2-壬烯醛、壬醛、1-辛烯-3-酮、1-辛烯-3-醇、苯乙醇等^[19]。第三代测序和气相色谱-离子迁移谱技术发现酸笋含 23 种酯类、19 种醇类、8 种酮类、6 种醛类、6 种芳香烃类、4 种酸类和 1 种醚类, 醋酸、丙酸和异戊醇的含量在发酵过程中逐渐增加, 成为主要挥发性化合物^[22]。

采用高效液相色谱法、GC-MS、电子鼻等检测发现酸笋含有多种风味物质, 包括酚类、醛类、酮类、醇类、酯类和酸类等, 这些物质共同作用, 赋予酸笋其独特的香气和风味。

3 酸笋的发酵腌制技术

酸笋发酵技术的核心包括以下几个关键步骤和要素, 这些都是确保酸笋具有独特风味和良好品质的基础^[23]。酸笋发酵技术关键要素如表 2 所示。

表 2 酸笋发酵技术关键要素
Table 2 Key elements of sour bamboo shoot fermentation technology

关键要素	内容	具体操作
原料	挑选原料	选择新鲜、无病虫害、嫩脆的竹笋作为原料
预处理	清洗、去皮、切割	清洗干净竹笋, 去除外皮和老根, 确保无杂质和泥沙; 切成适当大小片、段或丝, 增大表面积, 有利于发酵
盐渍	加盐处理、腌制	加入适量食盐, 通常为竹笋质量的 2%~5%。盐可以抑制腐败菌的生长, 有助于乳酸菌的增殖; 将加盐后的竹笋放入容器中, 压实并加盖, 腌制数小时至数天, 促进初步发酵
发酵容器	挑选容器	陶罐或玻璃罐, 不锈钢罐或食品级塑料桶, 应清洁、无毒无害
发酵菌种	自然发酵接种发酵	依靠竹笋表面和环境中的天然乳酸菌进行发酵; 加入特定的乳酸菌种以控制和加速发酵过程, 确保风味稳定
发酵条件	温度控制 时间控制	20~30 $^{\circ}\text{C}$ 之间 数天至数周不等
监测 调控	pH 酸度	在发酵中定期监测 pH, 通常在 4.0 以下可以达到较好的酸味和防腐效果; 调整盐量和发酵时间来控制最终产品的酸度
密封 防氧	密封发酵 防氧措施	发酵中保持容器密封, 减少氧气进入, 防止杂菌污染和氧化; 必要时可以在发酵容器中加入惰性气体(如氮气)以防止氧化
后处理	成熟储存 包装销售	发酵完成后, 在低温下存放一段时间, 使风味更加均匀和稳定; 将成熟的酸笋包装好, 密封储存, 准备销售或进一步加工

酸笋的发酵腌制主要依赖微生物的发酵作用将鲜笋转化为具有独特风味的酸笋,其发酵腌制技术涉及原料选择与处理、发酵容器的选择与准备、发酵液的配制、发酵过程和发酵后的处理等多个步骤。通过合理的发酵工艺,可制得独特风味和口感的酸笋,这种方法不仅能延长竹笋的保质期,还能丰富其风味。根据最新研究有以下几种发酵腌制技术。

3.1 单一菌种发酵

单一菌种发酵为添加某种发酵菌种进行酸笋腌制。电子舌检测得出单一菌种发酵酸笋的酸味显著高于自然发酵,苦味、涩味均低于自然发酵^[23]。单一菌种发酵的酸笋的酸度高于盐发酵的酸笋,而亚硝酸盐含量则显著低于盐发酵^[24]。乳酸片球菌 R9 和植物乳杆菌 R25 发酵酸笋组降解亚硝酸盐的能力均较强^[25]。

植物乳杆菌接种发酵能抑制半胱氨酸、蛋氨酸和酪氨酸的代谢,从而抑制酸笋产生不悦气味,表明植物乳杆菌接种发酵可提升酸笋的风味品质^[26]。高浓度植物乳杆菌接种酸笋,在发酵后期酸笋的 pH 较低,乳酸产量较高,达到 5.32~7.68 g/L^[27]。在自然发酵的酸笋里分离纯化获得了一株异型发酵的柠檬明串珠菌 NM-12,产酸量高达 6.81 g/L,亚硝酸盐降解率为 79.05%^[28]。以柳州新鲜竹笋为原材料,对比自然和纯种乳酸菌发酵酸笋,纯种发酵酸笋的 pH、还原糖和亚硝酸盐含量均低于自然发酵,而总酸含量高于自然发酵;纯种发酵后的酸笋硬度、脆度和感官评分均优于自然发酵,但主要风味成分酯类、醛类、酚类和醇类差异不显著,且纯种发酵周期较短^[29]。添加特定菌种发酵酸笋的风味和品质优于自然发酵,合理的菌种发酵工艺和适当的发酵条件能够制得更佳风味和口感的酸笋。

3.2 混合菌种发酵

植物乳杆菌 R1 和乳酸片球菌 R9 两种菌发酵酸笋的酯类、醛类和酮类含量显著上升,烷烃类和烯烃类物质含量略有上升,醚类和酚类物质则显著降低,二甲醚从 6.2% 减至 3.6%,苯酚亦从 16.5% 减至 0.91%,在接种发酵中未测出 2-甲氧基-5-甲基苯酚,以发酵过程中风味物质的变化为判,得出酸笋自然发酵周期需 30 d,而接种发酵周期仅需 7 d,发酵周期显著缩短^[25]。

柠檬明串珠菌和植物乳杆菌混合发酵剂发酵酸笋产生的乙醇、乙醛、丙酮、乙酸乙酯和 2,3-丁二酮化合物对酸笋的风味有正向作用,未产生具有刺激性气味的对甲苯酚,说明该混合接种发酵能提升酸笋风味^[30]。不同发酵类型乳酸菌组成的混合发酵剂接种发酵酸笋,产生的乳酸含量较高,产生具有芳香味的乙酸乙酯和奶油味的 2,3-丁二酮,未产生对甲苯酚,对酸笋风味有积极作用^[10]。3 种混菌发酵剂直投发酵酸笋,发酵周期显著缩短了 13 d, pH 为 3.76,酸度值为 7.35 g/L,乳酸值为 2.73 g/L,总游离氨基酸值为 19.98 mg/100 g,酯类占比 54.53%,醇类和醛类物

质种类均有增加,对甲苯酚显著下降至 17.24 $\mu\text{g/kg}$,有效降低了酸笋的臭味^[31]。

乳酸乳球菌、柠檬片球菌和植物乳杆菌混合发酵剂发酵酸笋的乳酸浓度 $[(6.17 \pm 0.25) \text{ g/L}]$ 显著高于自然发酵 $[(3.83 \pm 0.28) \text{ g/L}]$,在发酵后期,发酵剂发酵酸笋中非醛、己醛、1-辛烯-3-醇和 3-辛酮(相对气味活性值 >1)的相对含量高于自然发酵,感官评价显示发酵剂发酵酸笋的香气、味道、质地和整体质量评分均优于自然发酵^[32]。乳球菌属、肠球菌属、明串珠菌属、植物乳杆菌和魏斯氏菌属是酸笋风味形成的核心功能微生物,它们能产生与风味合成相关的酶^[33]。

混合菌种发酵酸笋缩短发酵周期、风味物质更佳,对甲苯酚含量显著下降,其优于单一菌种发酵。选择相匹配的混合菌种发酵酸笋,有助于提升酸笋的风味和品质。

3.3 盐水发酵

盐水发酵腌制酸笋为传统的发酵方法,通过盐水抑制有害微生物的生长,并促进乳酸菌等有益微生物的发酵,使酸笋具有独特的风味和口感。在 0.6 g/L 盐浓度下腌制酸笋,生成的乳酸、乙醛和乙酸最多,酸味特性最突出,而 1.0 g/L 盐浓度条件下,色氨酸代谢基因数量显著减少,能抑制色氨酸代谢所产生的粪臭素和吡啶-3-乙醇,有效减少酸笋产生臭味^[34]。食盐水溶液浓度越高,酸笋的酸度值大致呈现下降趋势^[35],盐水浓度高会抑制微生物代谢^[35]。盐水发酵酸笋具有增加风味、制作简单及经济实惠等优势^[36]。

3.4 盐水与菌种混合发酵

将柠檬明串珠菌和植物乳杆菌作为混合发酵剂,在 0%、1%、3%、5% 食盐浓度下发酵酸笋,1% 食盐浓度腌制的酸笋的乳酸含量最高,达 5.23 g/L,而乙酸含量先升高后降低,亚硝酸盐含量为 3.45~3.90 mg/L,低于国标限量值,表明添加 1% 的食盐有利于酸笋发酵^[37]。

通过不断的实践和研究,酸笋的发酵腌制技术也在不断改进和创新,以适应不同人群的口味需求和提高产品质量^[38]。表 3 为不同发酵技术酸笋的优缺点^[39-44]。

酸笋的现代发酵工艺在传统基础上进行了许多创新和改进,目的是为了提升发酵效率、提升酸笋的风味以及确保发酵过程的安全性^[45-46]。现代发酵工艺在传统工艺的基础上进行了多方面的改进:

(1) 控制发酵条件。通过控制温度、湿度和盐浓度等发酵条件,提高发酵的稳定性和产品质量。

(2) 选用优质发酵菌种。通过分离和培养优质的乳酸菌和酵母菌,提高发酵效率和风味品质。

(3) 发酵监控。利用现代技术对发酵过程中的 pH、温度、有机酸含量等参数进行监控,确保发酵过程的可控性和一致性。

由此也出台制定了一系列的酸笋腌制技术的标准,如表 4 所示。

表 3 酸笋腌制技术的优缺点
Table 3 Advantages and disadvantages of the pickling technology of bamboo shoots

腌制技术	优点	缺点
单一菌种发酵	(1)较易控制发酵条件(如温度、pH 等)结果稳定; (2)发酵产物的一致性较好, 产品的风味和质地较为统一; (3)适宜的菌种能有效抑制有害微生物的生长, 保证产品安全	(1)可能导致风味较为单调, 缺乏多样性; (2)单一菌种对环境的适应性较差, 温度、湿度等环境变化可能影响发酵效果, 容易导致发酵失败或风味不稳定
混合菌种发酵	(1)能产生多种风味物质, 最终产品风味更加丰富和多样; (2)不同菌种之间协同作用, 能增强发酵过程的稳定性, 提高抗逆性, 适应环境变化; (3)不同菌种的相互作用可能使得发酵过程更高效, 减少有害微生物的竞争, 增强产品的风味和营养价值	(1)混合菌种的种群结构复杂, 不同菌种之间的竞争或互助作用可能导致发酵过程难以预测, 增加了控制难度; (2)混合菌种发酵过程可能会因为菌种之间的相互作用而导致产品质量的波动, 难以实现一致性
盐水发酵	(1)能抑制大多数有害微生物的生长, 从而减少腐败风险, 延长产品的保质期; (2)所需成本较低, 适合大规模生产	(1)风味较为单一, 缺乏复杂的风味层次; (2)含盐量较高, 可能对健康不利, 尤其是高血压等疾病患者
盐水与菌种混合发酵	(1)盐水有助于抑制有害微生物, 而菌种发酵则能够增加风味的复杂性和深度, 提升酸笋的风味质量; (2)菌种的加入能提高发酵的稳定性, 同时盐水提供了一个保护屏障, 减少了污染的风险; (3)适合在控制条件下进行发酵, 能够更好地保证发酵的卫生安全和营养成分	(1)与单纯的盐水发酵相比, 这种方法需要额外的菌种, 增加成本; (2)发酵过程中需要较为精细的控制, 以确保菌种的适当使用和盐水的浓度, 过多或过少的盐水可能影响菌种的发酵效果
自然发酵	(1)自然发酵可以保持传统的风味, 呈现出原汁原味的口感, 受到一些消费者的青睐; (2)不需要额外添加盐水或人工菌种, 更符合自然、无添加的消费趋势; (3)不需要添加菌种或额外的发酵剂, 生产成本较低	(1)自然发酵对温度、湿度等环境条件的要求较高, 容易受到季节和天气变化的影响, 导致发酵效果不稳定; (2)由于没有控制发酵环境和菌种, 容易发生杂菌污染, 导致食品安全问题; (3)自然发酵通常需要较长时间, 且过程中难以控制发酵的质量和速度

表 4 酸笋腌制技术的标准
Table 4 Standards for the pickling technology of bamboo shoots

标准名称	颁发单位	颁发时间
DB45/T 2548—2022《酸笋加工技术规程》	广西壮族自治区市场监督管理局	2022-06-24
T/LZLSF 0019—2022《地理标志柳州螺蛳粉原料 第 2 部分: 柳州酸笋》	柳州市螺蛳粉协会	2022-09-02
T/QYZL 51—2023《西牛麻竹笋 酸笋加工技术规程》	清远市质量管理协会	2023-12-20
DB4502/T 0030—2022《预包装柳州螺蛳粉原料加工技术规程 第 2 部分: 酸笋》	柳州市市场监督管理局	2022-04-08
T/LZLSF 009.4—2022《柳州螺蛳粉料包 第 4 部分: 酸笋包》	柳州市螺蛳粉协会	2022-04-20
Q/HCS 0001S—2022《糟辣酸笋》	贵州红赤水集团有限公司	2022-09-08
T/GXAS 289—2022《田林酸笋》	广西标准化协会	2022-04-15
Q/JDX0001S—2010《酸笋》	云南省金平县傣媳妇酸笋厂	2010-08-14

标准化的腌制技术可以确保酸笋的生产过程符合食品安全要求, 减少微生物污染的风险, 确保产品的一致性, 提高消费者的满意度, 提高产品的市场认可度和竞争力, 促进产业的健康发展^[47-48]。

4 结束语

近年来, 酸笋因其鲜爽脆嫩的独特品质而深受消费者青睐。酸笋营养丰富, 富含膳食纤维、蛋白质、糖及矿物质等营养成分, 含有独特的风味物质^[49]。目前国内外有关酸笋营养成分的研究主要集中在膳食纤维、蛋白质和糖类方面, 而其他维生素、功能性成分等报道较少, 造成了某种程度的资源浪费。其次, 酸笋的发酵工艺主要集中在

传统方式, 对新技术新方法缺少深入研究, 对酸笋细菌多样性也得研究也较少^[50]。因此, 未来可从以下几个方面展开酸笋探索和研究: (1)健康营养价值的深入研究。随着人们对健康饮食需求的不断提高, 对酸笋中营养成分及其对人体健康影响的研究将会更加深入, 特别是研究酸笋中的活性物质, 如抗氧化物、益生元等对改善肠道健康、降低慢性疾病风险的作用。未来, 酸笋可能会作为一种功能性食品被进一步开发和推广。(2)风味形成机制的探索。研究酸笋风味形成的生物化学和微生物学机制, 包括了解哪些微生物种类及其代谢途径对特定风味物质的产生起关键作用。通过控制发酵过程中的条件, 如温度、pH、菌种组合等, 可调控风味物质的生成, 进而优化酸笋的风味特性。(3)

发酵工艺的优化与创新。为了提高产量和保证产品质量,酸笋的发酵工艺会继续优化和创新。这可能包括使用高效的微生物菌株、自动化和智能化的发酵管理系统等。同时,为满足市场多样化的需求,研发不同口味和营养丰富的酸笋产品也是未来的一个重要方向。通过对酸笋营养、风味物质及发酵工艺的深入研究,不仅有助于提高酸笋的生产工艺和产品质量,还为开发新型功能性食品提供了科学依据。

参考文献

- [1] QIAN Q, CHEN ZP, LI K, *et al.* Guangxi sour bamboo shoots: A study on microbial diversity and flavor characteristics across regions [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106641>
- [2] LI B, ZHANG RZ, DU FF. Electrochemical monitoring of the fermentation process of sour bamboo shoots [J]. *International Journal of Electrochemical Science*, 2023, 18(6): 100124.
- [3] 朱照华. 酸笋的营养成分检测及其主要风味物质的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2014.
ZHU ZH. Study on fermented bamboo shoot nutrition and flavor components [D]. Nanning: Guangxi University, 2014.
- [4] 贾冬冬, 梁绍煜, 熊建文, 等. 柳州市不同产区麻竹笋品质分析[J]. *广西林业科学*, 2024, 53(1): 87–93.
JIA DD, LIANG SY, XIONG JW, *et al.* Analysis on *Dendrocalamus latiflorus* shoot qualities in different areas of Liuzhou [J]. *Guangxi Forestry Science*, 2024, 53(1): 87–93.
- [5] 刘艳婷, 韦紫玉, 斯中发, 等. 酸笋与非发酵笋类的营养成分差异性分析[J]. *食品工业*, 2022, 43(10): 326–330.
LIU YT, WEI ZY, SI ZF, *et al.* Difference analysis in nutritional components between fermented and non-fermented bamboo shoots [J]. *The Food Industry*, 2022, 43(10): 326–330.
- [6] 秦雅莉, 赵笑颖, 沈圆圆, 等. 酸笋中具有抗炎活性乳酸菌的筛选及鉴定[J]. *食品科学*, 2022, 43(8): 121–127.
QIN YL, ZHAO XY, SHEN YY, *et al.* Screening and identification of anti-inflammatory lactic acid bacteria from sour bamboo shoot [J]. *Food Science*, 2022, 43(8): 121–127.
- [7] 周金沙, 陈晓艺, 谭金萍, 等. 基于 Illumina MiSeq 高通量测序技术分析广西无盐发酵酸笋中细菌多样性[J]. *中国酿造*, 2019, 38(7): 85–90.
ZHOU JS, CHEN XY, TANG JQ, *et al.* Analysis of bacterial diversity in Guangxi non-salt fermentation bamboo shoots based on Illumina MiSeq sequencing technology [J]. *China Brewing*, 2019, 38(7): 85–90.
- [8] TANG H, MA JK, CHEN L, *et al.* Characterization of key flavor substances and their microbial sources in traditional sour bamboo shoots [J]. *Food Chemistry*, 2023, 437(Pt 1): 137858.
- [9] 郑炯, 李薇, 陈光静, 等. 麻竹笋腌制加工过程中风味物质的变化[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(18): 93–100.
ZHENG J, LI W, CHEN GJ, *et al.* Changes in flavor compounds of bamboo shoots (*Dendrocalamus latiflorus*) during pickling process [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(18): 93–100.
- [10] 郑文迪, 关倩倩, 刘长根, 等. 基于 GC-MS 法对比广西地区酸菜和酸笋风味的差异[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(4): 253–257.
ZHENG WD, GUAN QQ, LIU CG, *et al.* Comparison of flavors of Suancai and Suansun in Guangxi based on GC-MS [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(4): 253–257.
- [11] 张雅雯. 螺蛳粉酸笋中微生物菌群及风味物质的分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
ZHANG YW. Analysis of microbial flora and flavor substances in sour bamboo shoots of Liuzhou river snails rice noodle [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022.
- [12] 关倩倩. 我国传统酸笋中微生物菌群结构及其对特征风味物质形成的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2021.
GUAN QQ. Microbial community flora in Chinese traditional Suansun and its influence on the formation of characteristic flavors [D]. Nanchang: Nanchang University, 2021.
- [13] 赵蓉. 植物乳杆菌 ss001 在柳州酸笋中的应用研究[D]. 林芝: 西藏农牧学院, 2023.
ZHAO R. Application study of *Lactobacillus plantarum* SS001 in Liuzhou sour shoots [D]. Linzhi: Tibet Agricultural and Animal Husbandry University, 2023.
- [14] 李笑怡. 酸笋自然发酵中微生物菌群及主要成分变化的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020.
LI XY. Study on the Variation law of microbial community and main components in natural fermentation of sour bamboo shoots [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2020.
- [15] 卢宏皓, 刘昭明, 黄翠姬, 等. 柠檬明串珠菌接种发酵竹笋过程中的化学成分变化[J]. *食品科技*, 2021, 46(7): 87–93.
LU HH, LIU ZM, HUANG CJ, *et al.* Chemical composition changes of bamboo shoots during inoculated fermentation with *Leuconostoc citreum* [J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(7): 87–93.
- [16] 孙宁, 雷敬玲, 吴晓青, 等. 自然发酵酸笋中乳酸菌的筛选鉴定及益生特性研究[J]. *中国酿造*, 2020, 39(6): 63–68.
SUN N, LEI JL, WU XQ, *et al.* Screening, identification and probiotic characteristic of lactic acid bacteria from natural fermented sour bamboo shoots [J]. *China Brewing*, 2020, 39(6): 63–68.
- [17] 蔡玥, 贾利蓉, 杜玫, 等. 广西酸笋挥发性风味物质分析[J]. *中国调味品*, 2021, 46(11): 142–145.
CAI Y, JIA LR, DU M, *et al.* Analysis of volatile flavor components of Guangxi sour bamboo shoots [J]. *China Condiment*, 2021, 46(11): 142–145.
- [18] CHEN CX, CHENG GG, LIU YP, *et al.* Correlation between microorganisms and flavor of Chinese fermented sour bamboo shoot: Roles of *Lactococcus* and *Lactobacillus* in flavor formation [J]. *Food Bioscience*, 2022, 50(PA): 101994.
- [19] LONG ZI, ZHAO SL, XU XF, *et al.* Dynamic changes in flavor and microbiota in traditionally fermented bamboo shoots (*Chimonobambusa szechuanensis* (rendle) keng f.) [J]. *Foods*, 2023, 12(16): 3035.
- [20] 郭荣灿, 王成华, 江虹锐, 等. 广西发酵酸笋气味物质提取方法优化及比较分析[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(13): 202–210, 220.
GUO RC, WANG CH, JIANG HR, *et al.* Optimization and comparison analysis of extraction methods of odorant from Guangxi fermented bamboo shoots [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(13): 202–210, 220.
- [21] FU SG, YOON Y, BAZEMORE R. Aroma-active components in fermented bamboo shoots [J]. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 2002, 50(3): 549–554.
- [22] ZHANG XY, WANG Q, XIE YH, *et al.* Correlation between microorganisms and volatile compounds during spontaneous fermentation of sour bamboo shoots [J]. *Fermentation*, 2024, 10(7): 333.
- [23] 钟源. 酸笋菌群多样性分析及乳酸菌的筛选、特性研究与应用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
ZHONG Y. Analysis of the diversity of bacterial flora in sour bamboo shoots and the screening, characterization and application of lactic acid bacteria [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022.
- [24] 康林芝, 聂丹霞, 陈霖, 等. 不同加工工艺对酸笋品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(8): 182–189.
KANG LZ, NIE DX, CHEN L, *et al.* Effect of different processing techniques on the quality of sour bamboo shoots [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(8): 182–189.
- [25] 钟源, 张雅雯, 吕健曼, 等. 广西酸笋微生物多样性分析及其乳酸菌的特性研究[J]. *中国调味品*, 2023, 48(5): 1–9.

- ZHONG Y, ZHANG YW, LV JM, *et al.* Analysis of microbial diversity of Guangxi sour bamboo shoots and study on their lactic acid bacteria characteristics [J]. *China Condiment*, 2023, 48(5): 1–9.
- [26] 李昕诺, 吴宇辉, 吴良如, 等. 基于宏基因组学揭示自然发酵与植物乳杆菌接种发酵酸笋中微生物代谢及关键风味基因[J/OL]. *食品与发酵工业*, 1–12. [2024-07-30]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.039366>
- LI XN, WU YH, WU LR, *et al.* Revealing microbial metabolism and key flavor genes in natural fermented and *Lactobacillus plantarum* inoculated fermented Suansun based on macrogenomics [J/OL]. *Food and Fermentation Industries*, 1–12. [2024-07-30]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.039366>
- [27] LU HH, HUANG GJ, YU KN, *et al.* Effects of mixed inoculation of *Leuconostoc citreum* and *Lactobacillus plantarum* on Suansun (sour bamboo shoot) fermentation [J]. *Food Bioscience*, 2022, 1: 47.
- [28] 卢宏皓, 刘昭明, 黄翠姬, 等. 酸笋中高产甘露醇异型发酵乳酸菌的筛选及其发酵性能[J]. *中国调味品*, 2022, 47(4): 32–36.
- LU HH, LIU ZM, HUANG CJ, *et al.* Screening and fermentation performance of heterofermentative lactic acid bacteria with high-yield mannitol from sour bamboo shoots [J]. *China Condiment*, 2022, 47(4): 32–36.
- [29] 刘永逸, 林华, 杨超, 等. 低亚硝酸盐柳州酸笋的研制及品质分析[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(19): 220–224.
- LIU YY, LIN H, YANG C, *et al.* Development and quality analysis of Liuzhou sour bamboo shoots with low nitrite [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(19): 220–224.
- [30] 卢宏皓. 异/同型发酵乳酸菌对酸笋接种发酵的影响[D]. 柳州: 广西科技大学, 2022.
- LU HH. Effects of hetero/homofermentative lactic acid bacteria on inoculation and fermentation of Suansun (sour bamboo shoot) [D]. Liuzhou: Guangxi University of Science and Technology, 2022.
- [31] 郑文迪. 直投式发酵酸笋生产技术研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2021.
- ZHENG WD. The research on the production technology of direct-injection fermented sour bamboo shoots [D]. Nanchang: Nanchang University, 2021.
- [32] QIN XY, XIONG T, KANG XY, *et al.* Comparison of the quality of Suansun product between starter inoculation and natural fermentation [J]. *Food Bioscience*, 2024, 1: 58103782.
- [33] QIN XY, XIONG T, XIONG SJ, *et al.* Metatranscriptomics unravel the formation mechanism of key flavors during the natural fermentation of Suansun, a Chinese traditional fermented bamboo shoot [J]. *Food Bioscience*, 2024, 1: 57103436.
- [34] 吴宇辉, 李昕诺, 唐荣灿, 等. 不同盐水浓度酸笋细菌群落结构及代谢功能的宏基因组学解析[J/OL]. *食品与发酵工业*, 1–12. [2024-07-30]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.039459>
- WU YH, LI XN, TANG RC, *et al.* Metagenomic analysis of bacterial community structure and metabolic function in Suansun with different salt water concentrations [J/OL]. *Food and Fermentation Industries*, 1–12. [2024-07-30]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.039459>
- [35] 黄图英, 班春媛, 吴庆标. 酸笋发酵过程的总酸度和革兰氏阳性菌数量变化研究[J]. *农村科学实验*, 2024(5): 178–180.
- HUANG TY, BAN CY, WU QB. The study of changes in total acidity and the quantity of Gram-positive bacteria during the fermentation process of sour bamboo shoots [J]. *Rural Scientific Experiment*, 2024(5): 178–180.
- [36] GUAN QQ, HUANG T, PENG F, *et al.* The microbial succession and their correlation with the dynamics of flavor compounds involved in the natural fermentation of Suansun, a traditional Chinese fermented bamboo shoots [J]. *Food Research International*, 2022, 157: 111216.
- [37] 张开翼, 黄翠姬, 庞凤萍, 等. 食盐浓度对乳酸菌接种发酵酸笋的影响[J]. *食品与发酵科技*, 2024, 60(1): 53–57.
- ZHANG KJ, HUANG CJ, PANG FP, *et al.* Effect of salt concentrations on the lactic acid bacteria inoculated fermentation of Suansun [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2024, 60(1): 53–57.
- [38] 陈璟, 赵子龙, 林丽华. 酸笋的挥发性成分及其应用研究进展[J]. *中国调味品*, 2024, 49(8): 215–220.
- CHEN J, ZHAO ZL, LIN LH. Research progress on volatile components and application of sour bamboo shoots [J]. *China Condiment*, 2024, 49(8): 215–220.
- [39] 廖安, 杜海平, 程昊, 等. 两种酸笋主要成分、挥发性成分及抗氧化活性对比[J]. *食品与机械*, 2024, 40(1): 145–151.
- LIAO AN, DU HP, CHENG H, *et al.* Comparison of the main components, volatile components, and antioxidant activity of two types of fermented bamboo shoots [J]. *Food & Machinery*, 2024, 40(1): 145–151.
- [40] 覃慧丽, 武源, 韦维, 等. PRiME HLB 固相萃取结合气相色谱-串联质谱法快速测定酸笋、酸豆角中氟虫腈及其代谢物残留量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(24): 9371–9376.
- QIN HL, WU Y, WEI W, *et al.* Rapid determination of fipronil and its metabolites residues in fermented bamboo shoots and pickled cowpeas by PRiME HLB solid phase extraction combined with gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2021, 12(24): 9371–9376.
- [41] 冯浩森, 李湘奎, 冯爱军, 等. 酸笋微生物与风味形成研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(22): 91–99.
- FENG HS, LI XL, FENG AIJ, *et al.* Research progress on microorganisms and flavor formation of sour bamboo shoots [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(22): 91–99.
- [42] 吴锦兰, 付玉麟, 周小玲, 等. 酸笋中高产乳酸菌的筛选、鉴定及发酵条件优化[J]. *中国酿造*, 2021, 40(1): 65–69.
- WU JL, FU YL, ZHOU XL, *et al.* Screening, identification and fermentation conditions optimization of lactic acid bacteria with high yield lactic acid from sour bamboo shoot [J]. *China Brewing*, 2021, 40(1): 65–69.
- [43] QIAO Q, ZHENG PC, KE L, *et al.* Guangxi sour bamboo shoots: A study on microbial diversity and flavor characteristics across regions [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2024, 135: 106641.
- [44] WANG DY, HU MY, TANG X, *et al.* Characterization of physicochemical properties and flavor profiles of fermented Chinese bamboo shoots (Suansun) from Liuzhou and Guilin [J]. *Food Bioscience*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103125>
- [45] LI B, ZHANG RZ, DU FF. Electrochemical monitoring of the fermentation process of sour bamboo shoots [J]. *International Journal of Electrochemical Science*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2023.100124>
- [46] GUAN QQ, KANG XY, QIN XY, *et al.* Metagenomic analysis of microbial-community structure and function during the fermentation of Suansun, a Chinese traditional bamboo shoot [J]. *Food Bioscience*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102908>
- [47] DAI JW, ZHANG Q, LI M, *et al.* Enhanced mass transfer of pulsed vacuum pressure pickling and changes in quality of sour bamboo shoots [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2022, 13: 981807.
- [48] XI S, XIN Z, RAN Y, *et al.* Assessing the physiological properties of baker's yeast based on single-cell Raman spectrum technology [J]. *Synthetic and Systems Biotechnology*, 2025, 10(1): 110–118.
- [49] ROHIT D, BUDDHIMAN T, ISHFAQ NN, *et al.* Probiotic yeast characterization and fungal amplicon metagenomics analysis of fermented bamboo shoot products from Arunachal Pradesh, northeast India [J]. *Heliyon*, 2024, 10(20): e39500.
- [50] ARIBAM I, BABITA J, BANO S, *et al.* Nutritional impact of processing techniques on vitamins and minerals in *Bambusa nutans* shoots [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2024(publish): 1–12.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)