

三麦辣椒酱发酵工艺优化及品质分析

王宇豪¹,赵江林^{1*},刘雪莲¹,黄显¹,姜良珍¹,钟灵允¹,张一凡²,赵钢¹

(1. 成都大学 四川省杂粮产业化工程技术研究中心,四川 成都 610106;2. 环太生物科技股份有限公司,四川 成都 610213)

摘要: 为提高辣椒酱营养价值、丰富产品类型,该研究以美人椒、苦荞米、甜荞米和藜麦米为主要原料,以植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*) L7 为发酵剂进行三麦辣椒酱的制作。在单因素试验基础上,通过响应面法优化辣椒酱的发酵工艺,确定最佳发酵条件为接种量 0.22%、发酵温度 30 °C、发酵时间 5 d。在该工艺条件下制得的辣椒酱香气浓郁,酸辣适口,营养及功能成分丰富,总黄酮含量 1.48 mg/g,总酚含量 2.11 mg/g,其对 DPPH 自由基清除率和 ABTS⁺ 自由基清除率的 V_c 当量分别为 2.21 mg/g 和 2.11 mg/g,具有较好的抗氧化活性。

关键词: 辣椒酱;发酵;杂粮;工艺优化;品质分析

Fermentation Process Optimization and Quality Analysis of Sanmai Chili Sauce

WANG Yuhao¹, ZHAO Jianglin^{1*}, LIU Xuelian¹, HUANG Xian¹, JIANG Liangzhen¹, ZHONG Lingyun¹, ZHANG Yifan², ZHAO Gang¹

(1. Sichuan Engineering and Technology Research Center of Coarse Cereal Industrialization, Chengdu University, Chengdu 610106, Sichuan, China; 2. Huantai Biotechnology Co., Ltd., Chengdu 610213, Sichuan, China)

Abstract: *Capsicum frutescens*, *Fagopyrum tataricum*, *Fagopyrum esculentum*, and *Chenopodium quinoa* were fermented with *Lactobacillus plantarum* L7 to prepare a novel kind of Sanmai chili sauce, with the aim of improving the nutritional value and enriching the products of chili sauce. The fermentation process of chili sauce was optimized by response surface method on the basis of single factor tests. The optimal fermentation conditions were determined as the inoculation amount of 0.22% and fermentation at 30 °C for 5 d. The chili sauce produced under these conditions had a rich aroma, a palatable hot and sour taste, and abundant nutrients and functional components. The total flavonoids and total phenols in this chili sauce product were determined as 1.48 mg/g and 2.11 mg/g, respectively. Correspondingly, the vitamin C equivalent of DPPH and ABTS⁺ free radical scavenging rates was calculated as 2.21 mg/g and 2.11 mg/g, respectively, which suggested strong antioxidant activity.

Key words: chili sauce; fermentation; coarse cereals; process optimization; quality analysis

引文格式:

王宇豪,赵江林,刘雪莲,等. 三麦辣椒酱发酵工艺优化及品质分析[J]. 食品研究与开发,2025,46(3):116-124.

WANG Yuhao, ZHAO Jianglin, LIU Xuelian, et al. Fermentation Process Optimization and Quality Analysis of Sanmai Chili Sauce[J]. Food Research and Development, 2025, 46(3): 116-124.

辣椒酱是一种以辣椒为主要原料,经破碎、调味、发酵或非发酵等工艺制得的代表性调味品^[1]。辣椒酱因其香气浓郁、营养美味、储存便利等特点深受消费者喜爱。辣椒酱制作过程中常加入其他原料来提升产品

的风味口感和营养功能,开发多元化、健康化、特色化的辣椒酱产品成为当前的研究热点。朱苗等^[2]以芋荷为原料,辅以辣椒研发出一款酸芋荷辣椒酱,不仅营养丰富、独具特色,还提高了芋荷的附加值。任艳等^[3]以

基金项目:四川省科技计划项目(2023ZHCG0085、2023NSFSC1177);国家现代农业产业技术体系四川创新团队项目(SCCXTD-2020-11)

作者简介:王宇豪(2000—),男(汉),硕士研究生,研究方向:食品加工技术。

*通信作者:赵江林(1983—),男(汉),教授,博士,研究方向:食品加工与安全控制。

植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)P8为发酵剂,开发出一款组织细腻、酸辣适口的发酵番茄辣椒酱。王荣兰等^[4]将小米辣与白玉菇、鸡脯肉结合,研制出口感丰富,鲜辣爽口的白玉菇鸡肉辣椒酱。

杂粮通常是指除稻米、小麦、大豆、玉米和薯类之外的多种粮豆类作物,如荞麦、藜麦、黑麦、红豆、黑豆等^[5]。杂粮含有丰富的营养与生理活性成分,经常食用杂粮对人体健康十分有益。苦荞(*Fagopyrum tataricum*)又名鞑靼荞麦,含有丰富的芦丁、槲皮素等酚类物质^[6],具有降血压、降血糖、抗氧化等功效^[7]。甜荞(*Fagopyrum esculentum*)通常是指普通荞麦,不仅蛋白质含量高,且氨基酸组成均衡,可作为优质蛋白质与氨基酸的来源^[8]。藜麦(*Chenopodium quinoa* Willd)是一种全营养谷物,脂肪酸、维生素、矿物质和膳食纤维含量丰富,具有预防肥胖便秘、抗氧化、抗衰老等作用^[9]。随着人们健康意识的增强,杂粮在广大消费者的日常食谱中占比逐渐增大,使得杂粮食品具有广阔的市场前景。

本研究选用优质苦荞米、甜荞米和藜麦米搭配美人椒,通过接种植物乳杆菌L7发酵,进行三麦辣椒酱的制作。利用单因素试验和响应面试验优化三麦辣椒酱的发酵工艺,同时对三麦辣椒酱的品质及抗氧化性进行分析,以期杂粮在调味酱制品加工中的应用提供参考。

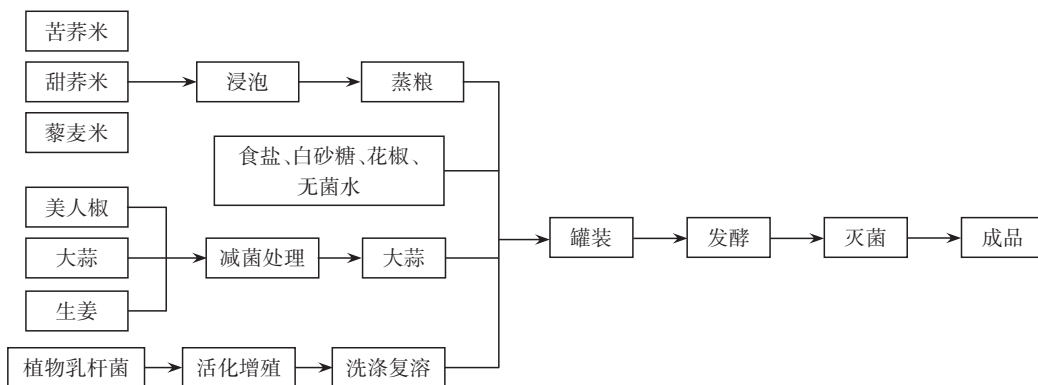


图1 三麦辣椒酱制作工艺流程

Fig.1 Flow chart of the production process of Sanmai chili sauce

1.4 操作要点

1)活化增殖:将植物乳杆菌L7接种于MRS固体培养基上,30~33℃活化培养2~3d,挑选单个菌落,接入MRS液体培养基,30~33℃振荡培养24~28h得到菌液。

2)洗涤复溶:将菌液分装至离心管中,2500~3000 r/min离心10~15 min,弃除上清液,用生理盐水复溶,使菌体均匀分散在生理盐水中,重复离心操作两次后,用无菌水复溶至菌体浓度 1×10^8 CFU/mL,得到植物乳杆菌菌悬液。

3)蒸粮:苦荞米、藜麦米蒸粮时间为15 min,甜荞

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

苦荞米、甜荞米:成都大学杂粮加工重点实验室;藜麦米:青海瑞恒堂生态农业有限公司;食盐、白砂糖、美人椒、花椒、大蒜、生姜:市售;植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)L7:成都大学杂粮加工重点实验室菌种保藏中心。

MRS培养基:广东环凯微生物科技有限公司;BCA总蛋白定量试剂盒:南京建成生物工程研究所有限公司;酚酞:国药集团化学试剂有限公司;芦丁标准品:苏州美仑生物科技有限公司;福林酚、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH):福州飞净生物科技有限公司;2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate acid), ABTS]:上海麦克林生化科技有限公司。以上化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

电磁炉(SDHCB8E45-210):苏泊尔仪器有限公司;多功能酶标仪(Synergy HTX):美国佰腾仪器有限公司;超声波清洗机(KQ5200DW):广东固特超声股份有限公司;台式高速离心机(SF-TGL-16M):上海菲拾尔分析仪器公司;电子恒温水浴锅(HH-6):上海力辰仪器科技有限公司。

1.3 工艺流程

三麦辣椒酱的工艺流程如图1所示。

米蒸粮时间为10 min,晾凉后按质量比1:1:1混合均匀,备用。

4)减菌处理:新鲜美人椒洗净,80℃热水烫漂处理30 s,快速沥干水分,去蒂;大蒜、生姜洗净去皮,90℃热水烫漂处理30 s,快速沥干水分。

5)破碎:美人椒用破碎机破碎至匀浆状态,大蒜、生姜破碎至无大块颗粒,备用。

6)罐装:将上述原料按一定比例充分混合均匀后,罐装,接入一定比例的植物乳杆菌菌悬液。

7)灭菌:达到预设发酵时间后,进行巴氏杀菌,80℃、20 min,得到成品辣椒酱。

1.5 试验设计

1.5.1 单因素试验

1.5.1.1 接种量对辣椒酱品质的影响

发酵温度为 30℃, 发酵时间为 5 d, 接种量选择 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%, 以辣椒酱的感官评分为指标, 结合总酸含量与 pH 值, 考察接种量对辣椒酱品质的影响。

1.5.1.2 发酵温度对辣椒酱品质的影响

发酵时间为 5 d, 接种量为 0.3%, 发酵温度选择 24、27、30、33、36℃, 以辣椒酱的感官评分为指标, 结合总酸含量与 pH 值, 研究发酵温度对辣椒酱品质的影响。

1.5.1.3 发酵时间对辣椒酱品质的影响

发酵温度为 30℃, 接种量为 0.3%, 发酵时间选择 3、4、5、6、7 d, 以辣椒酱的感官评分为指标, 结合总酸含量与 pH 值, 探究发酵时间对辣椒酱品质的影响。

1.5.2 响应面试验

在单因素试验的基础上, 以三麦辣椒酱感官评分为响应值 Y , 以发酵温度、发酵时间和接种量作为因素, 采用 Box-Behnken 试验方法对辣椒酱发酵条件进行优化, 响应面试验因素与水平见表 1。

表 1 响应面试验因素和水平

Table 1 Factors and levels of response surface design

水平	因素		
	A 发酵温度/℃	B 发酵时间/d	C 接种量/%
-1	27	4	0.1
0	30	5	0.2
1	33	6	0.3

1.6 感官评价方法

邀请 10 位具有食品专业背景的人员对三麦辣椒酱的色泽、形态、气味和口感 4 个方面进行感官评分, 满分为 100, 取 10 人平均分, 具体感官评价标准见表 2。

表 2 三麦辣椒酱感官评分标准

Table 2 Sensory scoring criteria for Sanmai chili sauce

项目 (100)	评价标准	分值
色泽	整体鲜红色, 有光泽, 有杂粮、辅料颗粒	14~20
(20)	整体红色, 有光泽, 些许发褐, 有少量杂粮、辅料颗粒	8~<14
	整体暗红色, 无光泽, 有褐变, 无杂粮、辅料颗粒	0~<8
形态	汁液适中, 组织均匀, 无分层, 无大块辣椒物质	14~20
(20)	汁液较多, 组织较均匀, 有略微分层, 无大块辣椒物质	8~<14
	汁液较少, 组织均匀, 无大块辣椒物质	0~<8
气味	有典型发酵香气, 浓郁协调, 香味层次丰富	14~20
(20)	有典型发酵香气, 较浓郁协调, 香味层次较丰富	8~<14
	发酵香气不突出, 香气不协调, 香味单一	0~<8
口感	口感细腻, 酸辣度适中, 味道柔和, 无杂味	27~40
(40)	口感较细腻, 酸辣度适中, 味道较柔和, 无杂味	14~<27
	口感较粗糙, 酸味或辣味过重或过轻, 无杂味	0~<14

1.7 品质分析

1.7.1 基本理化指标测定

pH 值: 参考 GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》中罐头食品的检测方法^[10]; 水分含量: 参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中直接干燥法^[11]; 蛋白质含量: 利用 BCA 总蛋白定量试剂盒测定; 粗脂肪含量: 参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中索氏抽提法^[12]; 总酸含量: 参照 GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》中酸碱指示剂滴定法^[13]; 亚硝酸盐含量: 参照 GB 5009.33—2016《食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》中分光光度法^[14]; 大肠菌群: 参照 GB 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》中的方法进行检验^[15]; 致病菌: 参照 GB 29921—2021《食品安全国家标准 预包装食品中致病菌限量》中即食果蔬制品(含酱腌菜)中致病菌的检测方法^[16]。

1.7.2 氨基酸含量测定

氨基酸含量参考 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》进行测定^[17]。

1.7.3 抗氧化活性分析

样品前处理: 将成品辣椒酱用研磨钵研磨至细腻、无颗粒的糊状, 准确称取 1 g(精确到 0.001 g)样品于离心管中, 加入 9 mL 70% 甲醇溶液。放置于超声清洗机中进行超声处理, 设置温度 35℃、时间 30 min, 功率 80 W。超声完成后放入台式高速离心机中离心(8 000 r/min、15 min)。将上清液用 0.22 μm 无菌滤膜过滤, 待测。

1.7.3.1 主要抗氧化成分含量测定

总黄酮含量: 参考赵愉涵等^[18]的 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3$ 法, 略有改动, 取 0.25 mL 待测液、4.75 mL 70% 的甲醇溶液、2 mL 0.1 mol/L 的 AlCl_3 溶液、3 mL 1 mol/L 的乙酸钾溶液于试管中, 避光静置 30 min 后测定吸光度。以芦丁标准溶液浓度(mg/mL)为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线, 标准曲线方程为 $Y=17.432X+0.0498$, 线性系数 $R^2=0.9996$ 。依照标准曲线计算样品总黄酮含量。

总酚含量: 参考朱晓雪等^[19]的 Folin-Ciocalteu 法, 略有改动, 取 0.5 mL 待测液、2.5 mL 福林酚溶液于试管中, 避光静置 5 min 后, 加入 2 mL 7.5% 的 Na_2CO_3 溶液, 避光静置 30 min 后测定吸光度。以没食子酸标准溶液浓度(mg/mL)为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线, 标准曲线方程为 $Y=7.1533X+0.0809$, 线性系数 $R^2=0.9992$ 。依照标准曲线计算样品总酚含量。

1.7.3.2 抗氧化能力测定

1) DPPH 自由基清除能力测定

参照王珺儒等^[20]的方法, 测定样液的 DPPH 自由

基清除率。以 V_c 浓度 ($\mu\text{g/mL}$) 为横坐标, DPPH 自由基清除率为纵坐标, 绘制标准曲线。 V_c 浓度与 DPPH 自由基清除率关系曲线的回归方程为 $Y=7.4764X+0.1777$, 线性系数 $R^2=0.9991$, 依照标准曲线计算样品的 DPPH 自由基清除率, 结果以 V_c 当量 (mg/g) 表示。

2) ABTS⁺ 自由基清除能力测定

参照汤焘^[21]的方法, 测定样液的 ABTS⁺ 自由基清除率。以 V_c 浓度 ($\mu\text{g/mL}$) 为横坐标, ABTS⁺ 自由基清除率为纵坐标, 绘制标准曲线。 V_c 浓度与 ABTS⁺ 自由基清除率关系曲线的回归方程为 $Y=4.1391X+7.0055$, 线性系数 $R^2=0.9998$, 依照标准曲线计算样品的 ABTS⁺ 自由基清除率, 结果以 V_c 当量 (mg/g) 表示。

1.8 数据处理

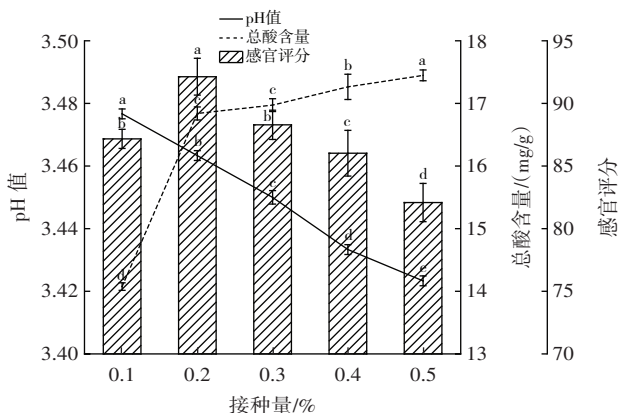
采用 IBM SPSS Statistics 27 软件对试验数据进行分析处理; 采用 Origin 2018 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 接种量对辣椒酱品质的影响

接种量对辣椒酱感官评分、总酸含量和 pH 值的影响见图 2。



同一指标不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

图 2 接种量对辣椒酱感官评分、总酸含量和 pH 值的影响

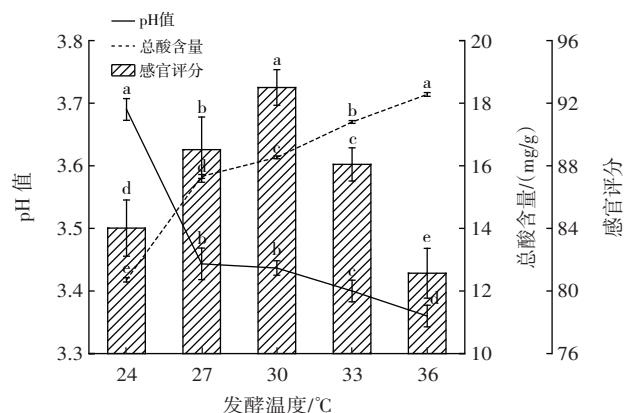
Fig.2 Effects of inoculation amount on the sensory score, total acids, and pH of chili sauce

由图 2 可知, 接种量对辣椒酱的感官评分影响显著 ($P<0.05$)。植物乳杆菌 L7 接种量为 0.2% 时, 三麦辣椒酱的感官评分最高。当接种量低于 0.2% 时, 辣椒酱中的乳酸菌总数较低, 辣椒酱发酵程度不足, 酸味过轻, 发酵香气不突出, 香味层次单一。当接种量高于 0.2% 时, 乳酸菌大量繁殖, 产酸过多, 辣椒酱酸味过重, 有较多汁液析出, 口感变差。接种量对辣椒酱的总酸含量和 pH 值影响显著 ($P<0.05$)。总酸含量随着接种量的增加总体呈上升趋势, 在接种量超过 0.2% 后增幅减小, 逐渐趋于稳定, 最终在 0.5% 时达到 17.45 mg/g。辣椒酱的 pH 值随着接种量的增加而不断下降, 在

0.5% 时达到最低, 为 3.42。结合感官评分, 选择接种量 0.2% 作为响应面试验中心点。

2.1.2 发酵温度对辣椒酱品质的影响

发酵温度对辣椒酱感官评分、总酸含量和 pH 值的影响见图 3。



同一指标不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

图 3 发酵温度对辣椒酱感官评分、总酸含量和 pH 值的影响

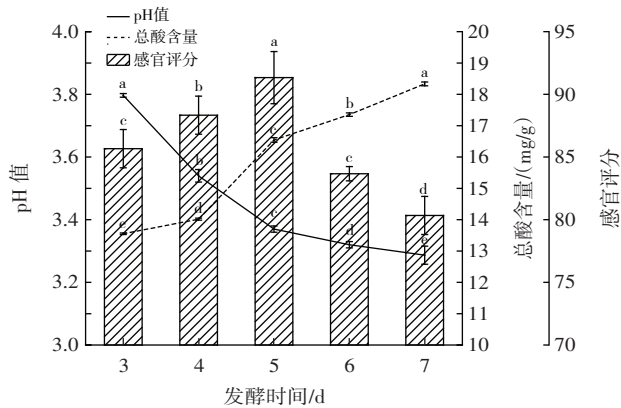
Fig.3 Effects of fermentation temperature on the sensory score, total acids, and pH of chili sauce

由图 3 可知, 发酵温度为 30 °C 时, 三麦辣椒酱的感官评分最高。发酵温度主要影响辣椒酱中乳酸菌的生长与代谢产物的形成, 发酵温度低于 30 °C 时, 乳酸菌在辣椒酱中的生长繁殖受到抑制, 使得发酵不充分, 辣椒酱产酸不足, 风味物质形成较少, 香气层次较单一。发酵温度高于 30 °C 时, 乳杆菌生长繁殖速度加快, 在发酵时间内大量产酸, 辣椒酱质地变得软烂, 汁液增多, 颜色变暗, 口感与风味变差, 感官品质下降。发酵温度对辣椒酱的总酸含量和 pH 值影响明显。随着发酵温度的升高, 辣椒酱总酸含量呈上升趋势, 在 36 °C 时达到最大, 为 18.28 mg/g。pH 值在 24 °C 升至 27 °C 的过程中显著下降 ($P<0.05$), 之后变化趋于稳定, 保持在 3.36~3.44。结合感官评分, 选择发酵温度 30 °C 作为响应面试验中心点。

2.1.3 发酵时间对辣椒酱品质的影响

发酵时间对辣椒酱感官评分、总酸含量和 pH 值的影响见图 4。

由图 4 可知, 发酵时间为 5 d 时, 三麦辣椒酱的感官评分最高。发酵时间小于 5 d, 辣椒酱发酵不完全, 风味成分形成较少, 发酵香气不足, 口感粗糙, 酸味过轻。发酵时间大于 5 d, 辣椒酱发酵过度, 酸味过重, 杂粮与辣椒的风味被掩盖, 辣椒酱汁液过多, 咀嚼性差, 感官接受度降低。发酵时间对辣椒酱的总酸含量和 pH 值影响显著。随着发酵时间的延长, 辣椒酱总酸含量增加, 在 7 d 时达到最高, 为 18.33 mg/g。pH 值在发酵期内总体呈下降趋势。辣椒酱在 3~5 d 时处于发酵初期, 乳酸菌大量生长繁殖, 辣椒酱 pH 值迅速下降,



同一指标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图4 发酵时间对辣椒酱感官评分、总酸含量和pH值的影响

Fig.4 Effects of fermentation period on the sensory score, total acids, and pH of chili sauce

而在发酵时间超过5d后,辣椒酱中的有机物在不断消耗,乳酸菌总数达到较高水平,pH值下降速率减缓,稳定在3.29~3.37。结合感官评分,选择发酵时间5d作为响应面试验中心点。

2.2 响应面试验结果与分析

2.2.1 试验结果

响应面试验设计与结果见表3。

表3 响应面试验设计与结果

Table 3 Response surface test design and results

试验组别	因素			Y 感官评分
	A 发酵温度/℃	B 发酵时间/d	C 接种量/%	
1	33	6	0.2	74.30
2	33	4	0.2	78.80
3	33	5	0.1	77.70
4	30	4	0.1	88.50
5	27	5	0.3	83.70
6	30	6	0.3	87.50
7	30	5	0.2	92.30
8	33	5	0.3	76.60
9	27	6	0.2	82.20
10	27	4	0.2	81.60
11	30	5	0.2	92.50
12	30	5	0.2	91.80
13	27	5	0.1	81.20
14	30	6	0.1	88.60
15	30	5	0.2	92.00
16	30	5	0.2	91.50
17	30	4	0.3	90.10

对表3数据进行多元回归拟合分析,得到发酵温度、发酵时间、接种量与感官评分之间的多元回归方程为 $Y=92.02-2.66A-0.80B+0.24C-1.27AB-0.90AC-0.67BC-10.83A^2-1.96B^2-1.39C^2$ 。

2.2.2 数学模型建立与方差分析

对响应面试验结果进行分析,回归模型的方差分析见表4。

表4 回归模型方差分析

Table 4 Analysis of variance of the regression model

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	613.79	9	68.20	489.38	<0.000 1	**
A	56.71	1	56.71	406.95	<0.000 1	**
B	5.12	1	5.12	36.74	0.000 5	**
C	0.45	1	0.45	3.24	0.115 0	
AB	6.50	1	6.50	46.66	0.000 2	**
AC	3.24	1	3.24	23.25	0.001 9	**
BC	1.82	1	1.82	13.08	0.008 6	**
A ²	494.30	1	494.30	3 547.03	<0.000 1	**
B ²	16.18	1	16.18	116.07	<0.000 1	**
C ²	8.08	1	8.08	57.96	<0.000 1	**
残差	0.98	7	0.14			
失拟项	0.35	3	0.12	0.74	0.582 1	
误差项	0.63	4	0.16			
总离差	614.76	16				

注:**表示影响极显著($P < 0.01$)。

由表4可知,该响应面回归模型极显著($P < 0.01$),失拟项不显著($P > 0.05$),表明试验误差小,结果可靠性高。决定系数 R^2 为0.998 4,调整决定系数 R^2_{Adj} 为0.996 4,说明该模型的拟合程度较好。模型中,除了一次项接种量C影响不显著($P > 0.05$),其他项对结果影响极显著($P < 0.01$)。由F值可知,3个因素对三麦辣椒酱感官品质影响顺序为发酵温度(A)>发酵时间(B)>接种量(C)。

2.2.3 交互作用分析

响应曲面的坡度越平滑,等高线越接近圆形,表明两种因素的交互作用越弱^[22]。图5~图7为各因素交互作用对三麦辣椒酱感官评分的影响。

由图5~图7可知,发酵时间(B)和发酵温度(A)、发酵温度(A)和接种量(C)、发酵时间(B)和接种量(C)的交互作用均具有显著性。运用Design-Expert 8.0软件进行分析,预测三麦辣椒酱的最佳发酵工艺条件为发酵温度29.64℃、发酵时间4.81d、接种量0.22%,在此条件下,所得辣椒酱的感官评分为92.28。为便于实际操作,将最佳发酵工艺条件调整为发酵温度30℃、发酵时间5d、接种量0.22%。

2.3 验证试验结果

进一步用响应面试验所得的理论最佳发酵条件进行3次验证试验,得到的三麦辣椒酱平均感官评分为91.80,与预测值偏差仅为0.52%,说明该模型准确性与可靠度较高,可用于三麦辣椒酱最佳发酵条件的预测。

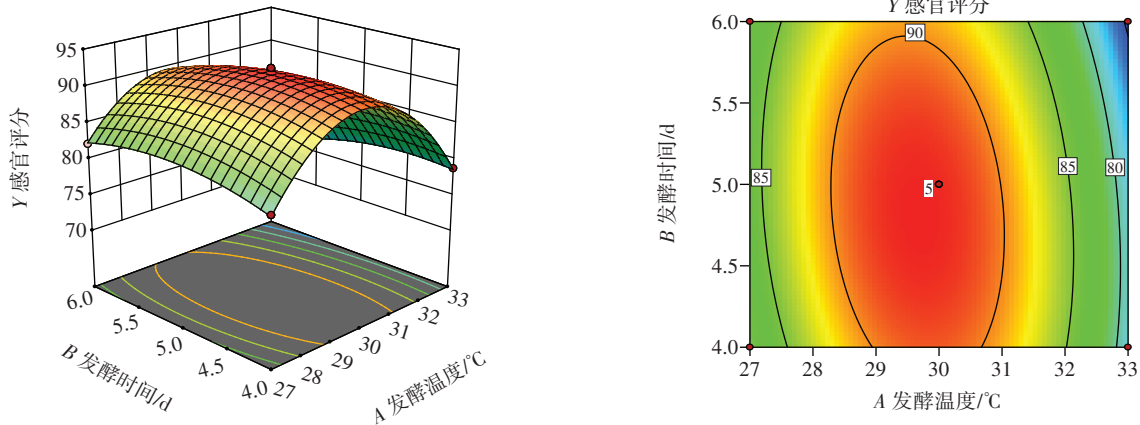


图5 发酵时间和发酵温度对三麦辣椒酱感官品质的影响

Fig.5 Effects of fermentation period and temperature on the sensory quality of Sanmai chili sauce

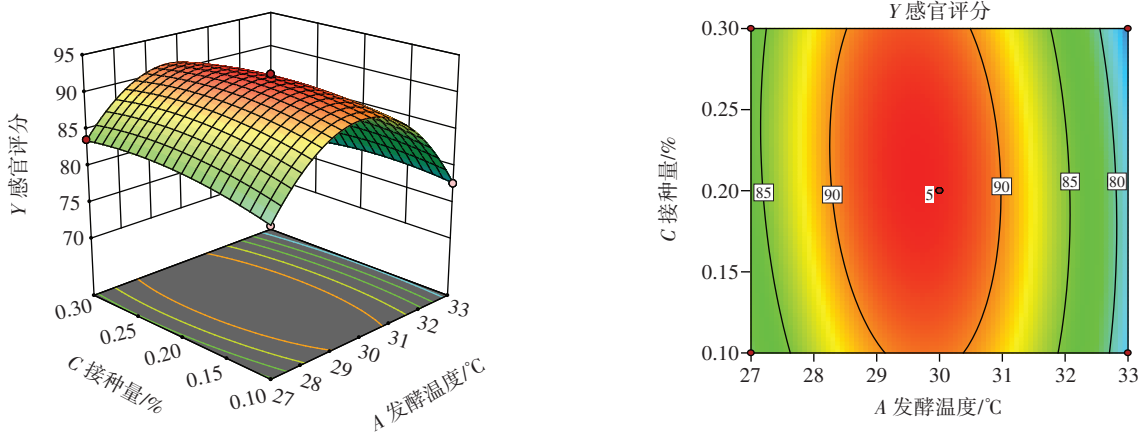


图6 发酵温度和接种量对三麦辣椒酱感官品质的影响

Fig.6 Effects of fermentation temperature and inoculation amount on the sensory quality of Sanmai chili sauce

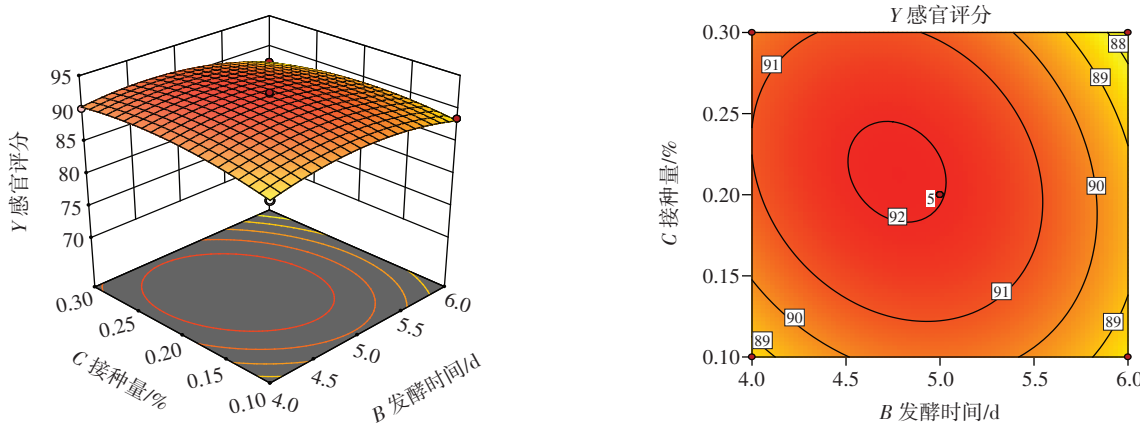


图7 发酵时间和接种量对三麦辣椒酱感官品质的影响

Fig.7 Effects of fermentation period and inoculation amount on the sensory quality of Sanmai chili sauce

2.4 品质分析

2.4.1 基本理化指标测定

以最佳发酵条件制得的 L7 发酵型三麦辣椒酱与自然发酵所得的三麦辣椒酱(未接种植物乳杆菌 L7)的基本理化指标测定结果如表 5 所示。

由表 5 可知,L7 发酵型三麦辣椒酱中蛋白质含量

为 5.55%,粗脂肪含量为 1.23%,pH 值为 3.37,水分含量、总酸含量、大肠菌群和致病菌的检测结果均符合农业标准 NY/T 1070—2006《辣椒酱》的规定,亚硝酸盐含量远低于 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中酱腌菜的限量标准。此外,与自然发酵型辣椒酱相比,本产品总酸含量更高,pH 值更低,表

表5 两种辣椒酱的基本理化指标

Table 5 Basic physicochemical indexes of two chili sauce products

样品	水分含量/%	粗脂肪含量/%	蛋白质含量/%	pH 值	总酸含量/ (mg/g)	亚硝酸盐含量/ ($\mu\text{g/g}$)	大肠菌群/ (MPN/100 g)	致病菌/ (CFU/g)
限量	≤ 80	-	-	-	≤ 20	≤ 20	≤ 30	不得检出
L7 发酵型三麦辣椒酱	72.64	1.23	5.55	3.37	16.14	6.92	未检出	未检出
自然发酵型三麦辣椒酱	70.22	1.20	5.48	3.73	12.57	7.00	未检出	未检出

注:-表示目前标准未规定或未提及限量值。

明该辣椒酱中有机酸含量丰富,具有很好的发酵香气和酸爽口感,是一款兼具营养和风味的新型辣椒酱制品。

2.4.2 氨基酸含量分析

L7 发酵型三麦辣椒酱和自然发酵型三麦辣椒酱的氨基酸含量及味觉活性值(taste activity value, TAV)见表6。

由表6可知,L7 发酵型三麦辣椒酱与自然发酵型三麦辣椒酱中均检测出18种氨基酸(10种非必需氨基酸和8种必需氨基酸),其总量分别为3 297.77 $\mu\text{g/g}$ 和4 344.77 $\mu\text{g/g}$ 。L7 发酵型三麦辣椒酱除丝氨酸、精氨酸、半胱氨酸和酪氨酸外,其余氨基酸含量均低于自然发酵型辣椒酱,可能原因是L7 发酵型三麦辣椒酱发

表6 两种辣椒酱的氨基酸含量及TAV

Table 6 Amino acid content and TAV of two chili sauce products

呈味分类	氨基酸名称	氨基酸含量/ $(\mu\text{g/g})$		阈值/ ($\mu\text{g/g}$)	TAV	
		L7 发酵型三麦辣椒酱	自然发酵型三麦辣椒酱		L7 发酵型三麦辣椒酱	自然发酵型三麦辣椒酱
鲜味	谷氨酸	89.32	445.46	300	0.298	1.485
	天冬氨酸	415.83	525.26	1 000	0.416	0.525
	赖氨酸*	102.72	244.09	500	0.205	0.488
	鲜味合计	607.87	1 214.81		0.919	2.498
甜味	丙氨酸	203.92	313.52	600	0.340	0.523
	苏氨酸*	216.67	287.43	2 600	0.083	0.111
	甘氨酸	46.41	164.27	1 300	0.036	0.126
	丝氨酸	482.18	449.69	1 500	0.321	0.300
	脯氨酸	289.87	308.89	3 000	0.097	0.103
	甜味合计	1 239.04	1 523.79		0.877	1.163
	苦味	亮氨酸*	100.60	323.69	1 900	0.053
异亮氨酸*		75.59	171.94	900	0.084	0.191
缬氨酸*		150.85	256.47	400	0.377	0.641
组氨酸		96.57	140.13	200	0.483	0.701
蛋氨酸*		30.40	92.66	300	0.101	0.309
色氨酸*		72.43	77.08	900	0.080	0.086
精氨酸		733.16	265.80	500	1.466	0.532
苦味合计		1 259.61	1 327.76		2.644	3.793
芳香族	半胱氨酸	14.68	3.64	200	0.073	0.018
	酪氨酸	68.31	25.96	2 600	0.026	0.010
	苯丙氨酸*	108.26	248.79	900	0.120	0.276
	芳香族合计	191.24	278.39		0.219	0.304
氨基酸总量		3 297.77	4 344.77			

注:*为人体必需氨基酸。

酵时间较短(自然发酵型辣椒酱发酵时间为27 d),蛋白质降解不充分。L7 发酵型三麦辣椒酱中含量最高的氨基酸为精氨酸,达到733.16 $\mu\text{g/g}$;含量最低的氨基酸是半胱氨酸,仅为14.68 $\mu\text{g/g}$ 。氨基酸不仅能为人体提供营养,还对辣椒酱呈味有重要贡献^[23]。TAV 是呈

味氨基酸含量与其味道阈值的比值,值越大表明该呈味氨基酸对辣椒酱风味的贡献越大,当TAV<1时,表明该氨基酸的呈味作用不显著^[24]。两种辣椒酱的呈味特征均为苦味>鲜味>甜味。L7 发酵型三麦辣椒酱中呈味作用最显著的是精氨酸,而自然发酵辣椒酱中呈味

贡献最大的是谷氨酸,其余各氨基酸的呈味作用不明显。由此可见,两种辣椒酱呈味特征基本一致,但主要呈味氨基酸不同,因此风味相似,但各具特色。

2.4.3 抗氧化活性分析

两种辣椒酱的抗氧化活性测定结果如表7所示。

表7 两种辣椒酱的抗氧化活性

Table 7 Antioxidant activities of two chili sauce products

样品	总黄酮含量/ (mg/g)	总酚含量/ (mg/g)	DPPH 自由 基清除率/ (mg/g)	ABTS ⁺ 自由 基清除率/ (mg/g)
L7 发酵型 三麦辣椒酱	1.48	2.11	2.21	2.11
自然发酵型 三麦辣椒酱	1.10	1.86	1.64	1.86

由表7可知,L7发酵型辣椒酱的总黄酮含量和总酚含量更高,分别为1.48 mg/g和2.11 mg/g,分别较自然发酵型辣椒酱提高了34.55%和13.44%。多酚、黄酮类物质具有较好的抗氧化活性,通过测定DPPH自由基和ABTS⁺自由基清除能力来评价辣椒酱的抗氧化能力。研究结果显示L7发酵型三麦辣椒酱展现出了更好的抗氧化活性,其对DPPH自由基清除率和ABTS⁺自由基清除率的V_c当量分别达到2.21 mg/g和2.11 mg/g。

3 结论

本研究通过单因素试验和响应面试验筛选优化得到了三麦辣椒酱的最佳发酵工艺条件为植物乳杆菌L7接种量0.22%、发酵温度30℃、发酵时间5d。在此优化条件下制得的三麦辣椒酱色泽鲜红、香气浓郁,酸辣咸香,组织均匀,感官评分为91.80,基本理化指标和卫生指标均符合相关标准要求。氨基酸测定结果表明,该辣椒酱中含有18种氨基酸,总量达到3297.77 μg/g。该辣椒酱总黄酮含量为1.48 mg/g,总酚含量为2.11 mg/g,对DPPH自由基清除率和ABTS⁺自由基清除率的V_c当量分别达到2.21 mg/g和2.11 mg/g,具有较好的抗氧化能力。三麦辣椒酱的研制不仅丰富了辣椒酱的种类,也为杂粮应用于发酵酱制品加工提供了参考,将有助于促进杂粮及辣椒酱产业的快速发展。

参考文献:

[1] 张郁松. 接种乳酸菌发酵生产辣椒酱的工艺[J]. 食品工业, 2023, 44(9): 27-30.
ZHANG Yusong. Production of hot pepper paste by inoculating lactic acid bacteria[J]. The Food Industry, 2023, 44(9): 27-30.

[2] 朱苗,程祉豪,肖沙,等. 酸芋荷辣椒酱发酵工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(11): 77-81.
ZHU Miao, CHENG Zhihao, XIAO Sha, et al. Fermentation technology of taro leafstalk chili sauce[J]. Food Research and Develop-

ment, 2021, 42(11): 77-81.

[3] 任艳,陈康,云月英,等. 植物乳杆菌发酵番茄辣椒酱的制作工艺及研究[J]. 中国调味品, 2023, 48(3): 109-113, 129.
REN Yan, CHEN Kang, YUN Yueying, et al. Study on production technology of tomato chili sauce fermented by *Lactobacillus plantarum*[J]. China Condiment, 2023, 48(3): 109-113, 129.

[4] 王荣兰,刘莹莹,胡燕,等. 响应面法优化白玉菇鸡肉辣椒酱加工工艺[J]. 中国调味品, 2023, 48(7): 32-36.
WANG Ronglan, LIU Yingying, HU Yan, et al. Optimization of processing technology of *Hypsizygus marmoreus* chicken chili sauce by response surface methodology[J]. China Condiment, 2023, 48(7): 32-36.

[5] 闵钟煜,王海霞,胡文凯,等. 杂粮食品研究进展[J]. 现代食品, 2023, 29(15): 38-41.
MIN Zhongman, WANG Haixia, HU Wenkai, et al. Research progress of coarse cereals food[J]. Modern Food, 2023, 29(15): 38-41.

[6] 吴姗姗,夏雨,吴俏瑾,等. 五种苦荞的营养成分分析及比较[J]. 食品工业, 2021, 42(9): 334-337.
WU Shanshan, XIA Yu, WU Qiaojin, et al. Analysis of nutritional components of Tartary buckwheat in different varieties and different producing areas[J]. The Food Industry, 2021, 42(9): 334-337.

[7] 沈灵智,盛宇华,鲁清峰,等. 苦荞功能性及食品开发研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(19): 192-199.
SHEN Lingzhi, SHENG Yuhua, LU Qingfeng, et al. Progress in functional research and food development of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*)[J]. Food Research and Development, 2021, 42(19): 192-199.

[8] 李雅馨,孙领航,万晨茜,等. 甜荞与主粮作物蛋白营养功能特性比较研究[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(1): 47-55.
LI Yaxin, SUN Linghang, WAN Chenxi, et al. Comparative study on nutritional functional characteristics of protein between common buckwheat and staple crops[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(1): 47-55.

[9] 陈光,孙咏,王刚,等. 藜麦全植株的综合利用及开发前景[J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40(1): 1-6.
CHEN Guang, SUN Yang, WANG Gang, et al. Comprehensive utilization and development prospect of whole-plant *Chenopodium quinoa*[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2018, 40(1): 1-6.

[10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定: GB 5009.237—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard Determination of food pH value: GB 5009.237—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard Determination of moisture in foods: GB 5009.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, The State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of fat in foods: GB5009.6—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[13] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局

- 局. 食品安全国家标准 食品中总酸的测定: GB 12456—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard Determination of total acid in foods: GB 12456—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定: GB 5009.33—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, The State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of nitrite and nitrate in foods: GB5009.33—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数: GB 4789.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Medical Products Administration. National food safety standard Food microbiological examination coliform group count: GB 4789.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [16] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 预包装食品中致病菌限量: GB 29921—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard Limit of pathogenic bacteria in prepackaged food: GB 29921—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of amino acid in foods: GB 5009.124—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [18] 赵愉涵, 陈庆敏, 岳凤丽, 等. 超微粉碎处理对五谷杂粮粉特性的影响[J]. 中国果菜, 2022, 42(7): 28-35.
ZHAO Yuhuan, CHEN Qingmin, YUE Fengli, et al. Effects of superfine grinding treatment on the properties of mixed powder of grains[J]. China Fruit & Vegetable, 2022, 42(7): 28-35.
- [19] 朱晓雪, 龚绵红, 杨秉坤, 等. 不同种类及加工方式对杂粮酸奶体外抗氧化活性的比较[J]. 农业工程学报, 2023, 39(8): 268-275.
ZHU Xiaoxue, GONG Mianhong, YANG Bingkun, et al. Comparative study on antioxidant activity of multigrain yoghurt by different types and processing methods of coarse cereals[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(8): 268-275.
- [20] 王珺儒, 易倩, 帖青清, 等. 不同光质对苦荞芽黄酮类物质及抗氧化活性的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(5): 213-218.
WANG Junru, YI Qian, TIE Qingqing, et al. Effect on flavonoids and antioxidant activity of the bud of Tartary buckwheat after treatment of different LED light sources[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(5): 213-218.
- [21] 汤焘. 一种苦荞复配白酒的开发研制[D]. 成都: 成都大学, 2021.
TANG Tao. Development on a kind of mixed liquor of Tartary buckwheat[D]. Chengdu: Chengdu University, 2021.
- [22] 舒亚非, 吴仕敏, 李瑞琳, 等. 响应面法优化天麻脯制作工艺及其品质分析[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(12): 71-78.
SHU Yafei, WU Shimin, LI Ruilin, et al. Optimization of production process and quality analysis of preserved *Gastrodia elata* by response surface methodology[J]. Food Research and Development, 2022, 43(12): 71-78.
- [23] 尹小庆, 汤艳燕, 阚建全, 等. 小米辣鲜辣椒发酵过程中风味物质及微生物多样性的变化[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(5): 74-82.
YIN Xiaoqing, TANG Yanyan, KAN Jianquan, et al. Analysis of flavor components and microbial diversity of Xiaomila Zhalajiao during fermentation[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(5): 74-82.
- [24] 许九红, 王修俊, 聂黔丽, 等. 基于两次发酵法遵义特色泡辣椒游离氨基酸组成的主成分分析及综合评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(3): 262-269.
XU Jiuhong, WANG Xiujun, NIE Qianli, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation of free amino acid composition of Zunyi characteristic pickled peppers based on two-fermentation method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(3): 262-269.

加工编辑: 刘艳美
收稿日期: 2024-03-22