

红酸汤半成品辣椒酱原料辣椒筛选 及发酵品质评价

陈艳琳^{1,2} 王修俊^{1,2,3} 许九红^{1,2} 胡荣念^{1,2} 张 露^{1,2}

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省发酵工程与生物制药重点实验室,
贵州 贵阳 550025; 3. 贵州大学辣椒产业技术研究院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: [目的] 筛选适宜制备红酸汤半成品辣椒酱的原料辣椒品种。[方法] 以贵州 10 种优质辣椒为研究对象, 研究不同品种成熟的新鲜辣椒在发酵过程中色泽、总酸、亚硝酸盐、氨基酸态氮、可溶性固形物等品质指标的变化特点以及发酵结束时的辣椒碱和有机酸含量, 并对辣椒酱半成品进行感官评价。[结果] 贵州二荆条、羊角椒、红杭椒、螺丝椒在发酵过程中具有较好的产酸能力、较低的亚硝酸盐含量、较高的氨基酸态氮含量和有机酸含量, 且色泽保持较好, 整体品质较为优良。小米辣、辣妹子在发酵过程中能保持明亮鲜艳的色泽, 但产酸能力、亚硝酸盐含量等指标相对较弱, 辣椒碱含量较高, 风味协调性不足, 感官接受度较低。采用牛角椒制备的辣椒酱半成品辣椒碱含量最低, 仅为 1.12 $\mu\text{g/g}$, 但在发酵过程中产酸能力较弱, 亚硝酸盐含量较高, 峰值可达 16.49 mg/kg 。美人椒、草莓红椒色泽鲜艳, 辣度适中, 但亚硝酸盐含量较高。对发酵辣椒酱半成品进行主成分分析发现辣椒酱半成品中的发酵品质指标之间存在关联性, 进一步构建适用于原料辣椒品种影响红酸汤半成品辣椒酱发酵品质的综合评价模型为 $Y=0.525Y_1+0.286Y_2+0.113Y_3$ 。[结论] 红杭椒、贵州二荆条、羊角椒、螺丝椒辣椒酱半成品色泽鲜红明亮, 具有典型乳酸发酵香味且品质综合得分较高, 适宜用作红酸汤半成品辣椒酱发酵的原料。

关键词: 辣椒酱; 品种筛选; 红酸汤半成品; 综合评价

Selection and fermentation quality evaluation of raw peppers for semi-finished chili sauce in red sour soup

CHEN Yanlin^{1,2} WANG Xiujun^{1,2,3} XU Jiuhong^{1,2} HU Rongnian^{1,2} ZHANG Lu^{1,2}

(1. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2. Guizhou Provincial
Key Laboratory of Fermentation Engineering and Biological Pharmacy, Guiyang, Guizhou 550025, China;
3. Pepper Industry Technology Research Institute, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: [Objective] To screen the raw pepper varieties suitable for semi-finished chili sauce in red sour soup. [Methods] Ten different varieties of high-quality peppers from Guizhou Province are taken as research objects. The aspects below are studied among different varieties of mature fresh peppers during fermentation: the changes of color, total acid, nitrite, amino acid nitrogen, soluble solids, and other quality indicators, as well as the content of capsaicin and organic acids at the end of fermentation. Then, sensory evaluation is conducted on the semi-finished chili sauces. [Results] The results show that Guizhou Erjingtiao pepper, sheep-horn pepper, Honghang pepper, and screw pepper produce lower nitrite, higher acid, amino acid nitrogen, and organic acid during fermentation, while maintaining ideal color and excellent overall quality. Millet spicy and hot girl can maintain bright and vivid color during fermentation, but they are relatively weak in the

基金项目: 贵州省科技计划重点项目 (编号: 黔科合支撑[2022]重点 010 号); 贵州省科技计划项目 (编号: 黔科合成果[2020]1Y025 号); 贵州省朝天椒产业集群建设项目 (编号: 黔农财[2022]89 号)

通信作者: 王修俊 (1965—), 男, 贵州大学教授, 学士。E-mail: 775298123@qq.com

收稿日期: 2024-12-20 **改回日期:** 2025-08-07

引用格式: 陈艳琳, 王修俊, 许九红, 等. 红酸汤半成品辣椒酱原料辣椒筛选及发酵品质评价[J]. 食品与机械, 2025, 41(10): 157-166.

Citation: CHEN Yanlin, WANG Xiujun, XU Jiuhong, et al. Selection and fermentation quality evaluation of raw peppers for semi-finished chili sauce in red sour soup[J]. Food & Machinery, 2025, 41(10): 157-166.

acid production capacity, nitrite content, and other indicators, with high capsaicin content. Due to insufficient flavor coordination, their sensory acceptance is low. The capsaicin content in the semi-finished chili sauce prepared with cayenne pepper is the lowest, only 1.12 $\mu\text{g/g}$, but the acid production capacity is weak and the nitrite content is high, reaching a peak of 16.49 mg/kg. Beauty peppers and strawberry red peppers are brightly colored and moderately spicy, but they are high in nitrites. Through the principal component analysis of the semi-finished fermented chili sauce, a correlation is found between the fermentation quality indexes in the semi-finished chili sauces. Then, a comprehensive evaluation model is constructed for the effect of raw pepper varieties on the fermentation quality of semi-finished chili sauce in red sour soup. The model is $Y=0.525Y_1+0.286Y_2+0.113Y_3$. [Conclusion] Semi-finished chili sauces made of Honghang pepper, Guizhou Erjingtiao pepper, sheep-horn pepper, and screw pepper are bright and red, with a typical lactic acid fermentation aroma and a high comprehensive quality score, suitable for raw materials to ferment semi-finished chili sauce in red sour soup.

Keywords: chili sauce; variety selection; semi-finished red sour soup; comprehensive evaluation

红酸汤是贵州地区的一种民族特色发酵食品^[1],最常见的传统发酵工艺是将新鲜的红辣椒和番茄分别与糯米、白酒、盐、大蒜等一起发酵制成半成品“辣椒酱”和“番茄浆”,再将初级发酵的“辣椒酱”和“番茄浆”半成品按一定比例混合二次发酵制成红酸汤^[2-3]。红酸汤的发酵过程采用冷加工技术,这样可以最大程度保留辣椒和番茄中原有的营养成分^[4]。辣椒中富含维生素C、矿物质、蛋白质、膳食纤维、辣椒碱以及类胡萝卜素等,营养价值较高,此外辣椒中的多种物质均具有较强的抗氧化能力^[5-6],因此适当食用辣椒,能够提高人体抗氧化能力、促进脂肪分解、降低心血管疾病风险,而且还能预防风湿性关节炎等^[7-8],辣椒还可用于生产治疗各种疾病的药物,如哮喘、咳嗽、抑郁和疲劳等^[9],用途广泛,开发潜力大,发展前景良好。

原料的不同特性对红酸汤的品质有极大影响^[10-11]。研究^[12-14]证实,辣椒的颜色、产地和品种不同,辣椒及其加工产品的品质特性均有着明显的差异。辣椒作为红酸汤半成品辣椒酱发酵的重要原料,其理化成分、加工特性、品种类型等与红酸汤半成品辣椒酱的品质好坏有着直接关联性,但是由于辣椒的品种众多,造成对红酸汤半成品辣椒酱发酵原料品种的筛选大多凭经验或感官筛选,而不同品种之间品质差异性大,容易造成红酸汤半成品辣椒酱品质不一、稳定性差等问题进而直接影响到红酸汤的品质风味。

研究拟选取贵州地区优质辣椒品种为原料,沿用红酸汤最具代表性的传统自然发酵工艺,通过分析不同品种辣椒在发酵为辣椒酱半成品过程中各品质指标的变化,进一步对发酵辣椒酱半成品进行主成分分析,构建适用于辣椒原料品种对红酸汤半成品辣椒酱品质影响的综合评价模型,根据模型计算品质综合得分,结合感官品质优选出适宜红酸汤半成品辣椒酱发酵的辣椒品种。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

羊角椒、牛角椒、贵州二荆条、美人椒、草莓红椒、小

米辣、螺丝椒、四川二荆条、红杭椒、辣妹子 10 种新鲜成熟的辣椒原料:市售;

食盐:食品级,四川久大制盐有限公司;

对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺、硼酸、酒石酸钾钠:分析纯,成都金山化学试剂有限公司;

酚酞、基准邻苯二甲酸氢钾:分析纯,天津市瑞金特化学品有限公司;

氢氧化钠、甲醛(36%~38%):分析纯,天津科密欧化学试剂有限公司;

3,5-二硝基水杨酸、苯酚、亚硫酸钠、亚硝酸钠标准品:分析纯,罗德生物科技有限公司;

葡萄糖标品:分析纯,北京索莱宝生物科技有限公司;

有机酸标准品、辣椒碱标准品:色谱级,北京坛墨质检科技股份有限公司;

电热恒温水浴:HH-1 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

电子恒温鼓风干燥箱:GZX-GF101-3-BS-II 型,上海贺德试验设备有限公司;

高速多功能粉碎机:HC-300T2 型,永康市天祺盛世工贸有限公司;

分光光度计:722 型,上海佑科仪器仪表有限公司;

pH 计:PHS-3C 型,上海鸿盖仪器有限公司;

手持式折光仪:ATC 型,广州市爱宕科学仪器有限公司;

便携式色差仪:HP-2136 型,上海临嘉科教仪器有限公司;

高效液相色谱仪:1260 型,美国安捷伦公司。

1.2 试验方法

1.2.1 试样准备

(1) 工艺流程:

新鲜红辣椒→去蒂→清洗、晾干→加入配料→破碎→装坛→自然发酵→辣椒酱→取样检测

(2) 工艺要点:将新鲜红辣椒清洗干净、去蒂晾干,加入适量配料(姜、蒜等)后进行破碎,再添加质量比 6% 的

食盐,混匀后密封发酵,发酵温度为25~30℃,发酵时间为30 d,每隔5 d取样检测,各取3个平行。

1.2.2 色泽测定 使用便携式色差仪测定样品 L^* 、 a^* 、 b^* 值,平行测定10次后取平均值,按式(1)计算总色差。

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}, \quad (1)$$

式中:

ΔE ——总色差;

ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* ——样品不同发酵时间段 L^* 、 a^* 、 b^* 的变化值。

1.2.3 总酸含量测定 按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执行。

1.2.4 亚硝酸盐含量测定 参照张二康等^[15]的方法,绘制的亚硝酸盐含量标准曲线: $y=0.041x+0.011$ ($R^2=0.9925$),其中 x 为吸光度, y 为亚硝酸盐含量(mg/kg)。

1.2.5 氨基酸态氮含量测定 按GB 5009.235—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸态氮的测定》中酸度计法执行。

1.2.6 可溶性固形物测定 按NY/T 2637—2014《水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法》执行。

1.2.7 辣椒碱含量测定 参照王雪梅等^[16]的方法提取辣椒碱并配制标准液,采用高效液相色谱法结合单标定量进行测定。

色谱柱: C_{18} 柱(200 mm×4.6 mm,5 mm);检测器:PDA二极管阵列检测器;检测波长280 nm,流量1.0 mL/min;柱温35℃;自动进样,进样量10 μ L;流动相:甲醇(A)和纯水(B),梯度洗脱:0~20 min,70% A;20.0~20.5 min,70%~90% A;20.5~26.5 min,90% A;26.5~27.0 min,90%~70% A;27.0~32.0 min,70% A。

样品前处理:准确称取研磨后的样品1.000 0 g,加5 mL甲醇,35℃超声30 min,微滤,续滤液为待测样品。以辣椒碱质量浓度为横坐标 x ,色谱峰面积为纵坐标 y ,绘制辣椒碱标线方程: $y=13\ 171x-1\ 144.9$, $R^2=0.999$ 。

1.2.8 有机酸含量测定

(1) 色谱条件: C_{18} 色谱柱(250 mm×4.6 mm,5 μ m);PDA二极管阵列检测器;检测波长210 nm,流量0.8 mL/min;柱温30℃;自动进样,进样量10 μ L;流动相:甲醇—0.05 mol/L pH 2.4 磷酸二氢钾水溶液($V_{\text{甲醇}}:V_{\text{磷酸二氢钾水溶液}}=0.8:99.2$)。

(2) 标准曲线的绘制:参照吴凯等^[17]的方法绘制有机酸标准曲线,以有机酸质量浓度为横坐标 x ,色谱峰面积为纵坐标 y 绘制标准曲线,见表1。

(3) 样品处理:精密称取1.0 g样品,加2 mL水,密封,摇匀,超声(25℃、40 kHz、270 W)提取30 min,10 000 r/min,4℃离心10 min,取出0.45 μ m滤膜过滤,得

表1 有机酸标准曲线方程

Table 1 Standard curve equation for organic acids

有机酸种类	标线方程	相关性系数
草酸	$y=5\ 023x+2.070$	0.999
酒石酸	$y=684.9x-4.162$	0.999
苹果酸	$y=651x+0.239$	0.999
乳酸	$y=231.8x+1.693$	0.999
乙酸	$y=197x+3.228$	0.999
柠檬酸	$y=419.7x-0.388$	0.999
琥珀酸	$y=200.2x+2.252$	0.999

到待测样品。

1.2.9 感官评价 参照张东亚^[18]的方法并加以改进,组织10名食品相关专业的品评人员从辣椒酱的色泽、质地、香气、滋味4个方面进行评价,满分100分,评价标准见表2。

表2 辣椒酱感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation criteria of chili sauce

项目	评分标准	分值
色泽 (25分)	自然红色,色泽鲜亮,有光泽	18~25
	呈红橙色,色泽较鲜亮,有光泽	10~17
	颜色呈橙色,表面出现褐变,无光泽	5~10
	呈红褐色,褐变现象较严重,无光泽	0~5
质地 (20分)	汁液少,稍可流动,酱体细腻,组织较均匀,无分层	15~20
	汁液多,流动性强,酱体较细腻,组织较均匀,出现分层	10~15
	酱体组织较粗糙,黏度一般,稍有流散和汁液分离现象	5~10
	酱体组织粗糙,黏度较差,流散和汁液分离现象明显	0~5
香气 (25分)	浓郁的发酵香味,风味协调	18~25
	较浓郁的发酵香味,风味较协调	10~17
	发酵香味较淡,风味协调性较差	5~10
	发酵香味淡,风味不协调	0~5
滋味 (30分)	辣味适中,回味浓,无异味	20~30
	辣味适中,回味淡,无异味	10~20
	辣味一般,无回味,轻微异味	5~10
	辣味失调,有明显异味	0~5

1.3 数据处理

利用Excel 2010、SPSS 26.0软件对数据进行分析,Origin 2021对图形进行绘制,在一致的试验条件下,每个指标需重复测定至少3次,结果以平均值±标准差表示,小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 不同品种辣椒发酵过程中总酸含量变化

总酸是影响红酸汤半成品辣椒酱发酵风味和口感的重要因素^[19]。由图 1 可知,不同品种辣椒发酵过程中总酸含量在前期迅速增加,发酵中后期含量趋于稳定,总酸含量均存在明显差异($P<0.05$)。小米辣辣椒酱中产酸总量较少,而羊角椒、贵州二荆条、红杭椒、螺丝椒辣椒酱的产酸速率和产酸总量明显优于其他品种,总酸含量最先达到其发酵阶段的最高水平,实现了快速产酸的目的。

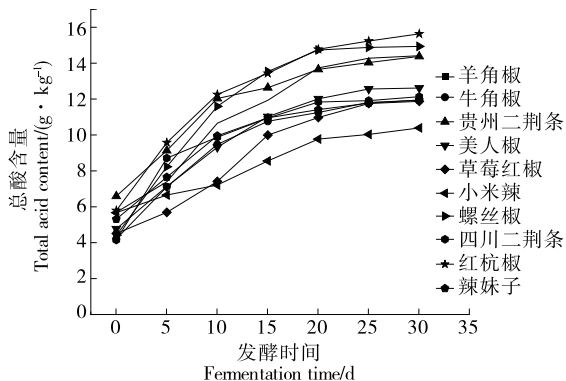


图 1 不同品种辣椒发酵过程中总酸含量变化

Figure 1 Total acid content changes in different varieties of peppers during fermentation

2.2 不同品种辣椒发酵过程中色泽变化

色泽是评价红酸汤半成品辣椒酱品质和筛选优良原料品种的重要指标^[20],不同品种辣椒在发酵过程中 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值均呈逐渐降低趋势。由表 3 可知,羊角椒、贵州二荆条、美人椒、小米辣、四川二荆条、红杭椒的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值在发酵过程中均保持在较高水平,说明其发酵辣椒酱的明亮度、红度、黄度均较大,辣椒酱呈现明亮有光泽的红色。发酵 30 d 时,牛角椒、美人椒、草莓红椒的 ΔE 值均高于 9.00,表明该辣椒酱在发酵过程中色泽变暗,出现较明显的褐变现象,相比之下羊角椒、贵州二荆条、小米辣、辣妹子的 ΔE 值较小,其颜色损失较少,有利于辣椒酱保持明亮鲜红的色泽,减少了辣椒酱发生褐变的程度。

2.3 不同品种辣椒发酵过程中亚硝酸盐含量变化

亚硝酸盐含量是评估发酵蔬菜产品安全性的重要标准之一,控制其含量对于提升发酵产品的安全性具有重要意义^[21-22]。不同品种辣椒中亚硝酸盐生成速率和生成总量在发酵过程中均存在显著差异($P<0.05$)。由表 4 可知,小米辣、红杭椒中亚硝酸盐峰值最快出现在第 5 天,羊角椒、牛角椒亚硝酸盐峰值出现在第 10 天,最高可达 16.19, 16.49 mg/kg,可能是由于其总酸含量高,可快速抑制发酵液中有害微生物产生亚硝酸盐,所以亚硝酸盐含

量变化速率最快。发酵 30 d 时,贵州二荆条、羊角椒、红杭椒中亚硝酸盐含量较低。原料不同,亚硝酸盐含量有区别,同样发酵模式亚硝峰出现时间不一样。

2.4 不同品种辣椒发酵过程中氨基酸态氮含量变化

氨基酸态氮能够一定程度上指示原料中蛋白质的降解程度,反映了氨基酸和小分子肽的总体含量,是衡量鲜味物质的重要指标^[16]。由表 5 可知,不同品种辣椒在发酵过程中氨基酸态氮含量具有显著差异($P<0.05$),发酵初期由于微生物生长代谢不旺盛,水解酶的水解反应程度较弱^[17],使得辣椒酱中氨基酸态氮含量较低,为 0.23~0.40 g/100 g。随着发酵时间延长,氨基酸态氮含量逐渐增加,其中羊角椒、牛角椒、贵州二荆条、红杭椒氨基酸态氮含量在发酵过程中明显高于其他样品,发酵 30 d 时,红杭椒的含量最高可达到 0.55 g/100 g,羊角椒、美人椒中含量次之。

2.5 不同品种辣椒发酵过程中可溶性固形物含量变化

果蔬中可溶性固形物含量与含糖量成正比,会直接影响发酵作用的进行以及酸的生成量,决定了发酵产品的口感与风味^[23]。由图 2 可知,发酵时间与不同品种辣椒酱中可溶性固形物含量成反比。草莓红椒、牛角椒辣椒酱中可溶性固形物含量较低,而小米辣、贵州二荆条、辣妹子辣椒酱中可溶性固形物含量降低幅度较小,始终保持在较高水平。

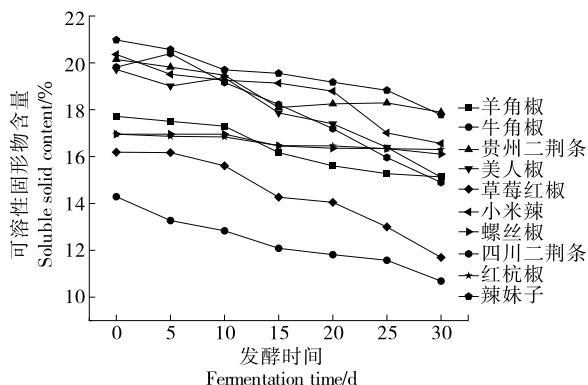


图 2 不同品种辣椒发酵过程中可溶性固形物含量变化

Figure 2 Soluble solid content changes in different varieties of peppers during fermentation

2.6 不同品种辣椒酱中辣椒碱含量

如图 3 所示,辣椒碱含量受辣椒品种影响较大,不同品种的辣椒酱中其辣椒碱含量表现出显著性差异($P<0.05$),其中牛角椒中辣椒碱含量最低仅为 1.12 $\mu\text{g/g}$,螺丝椒、草莓红椒、四川二荆条中辣椒碱含量较为接近,红杭椒、羊角椒、贵州二荆条中辣椒碱含量较高,分别为 219.94, 125.32, 121.70 $\mu\text{g/g}$,而辣妹子、小米辣辣椒酱中辣

表 3 不同品种辣椒发酵过程中色泽的变化[†]

Table 3 Color changes in different varieties of peppers during fermentation

发酵时间/d	指标	羊角椒	牛角椒	贵州二荆条	美人椒	草莓红椒	小米辣	螺丝椒	四川二荆条	红杭椒	辣妹子
0	<i>L</i> [*]	30.82±0.54 ^e	27.69±1.35 ^d	32.42±0.28 ^b	29.56±0.54 ^d	29.40±0.37 ^d	34.28±1.61 ^a	32.69±0.32 ^b	32.74±0.42 ^b	30.78±0.66 ^c	28.26±0.37 ^d
	<i>a</i> [*]	33.61±0.73 ^b	30.92±0.22 ^d	35.04±0.51 ^a	34.23±0.46 ^{ab}	32.49±0.60 ^c	32.94±1.80 ^c	31.27±0.22 ^d	33.46±0.56 ^b	32.96±0.94 ^b	35.56±0.95 ^a
	<i>b</i> [*]	24.40±0.93 ^c	16.90±2.97 ^c	28.85±0.72 ^b	23.82±1.57 ^c	24.18±1.56 ^c	29.12±4.95 ^b	31.26±0.44 ^a	29.82±1.03 ^b	27.61±2.94 ^b	20.71±0.96 ^d
5	<i>L</i> [*]	30.61±0.56 ^c	25.48±0.44 ^c	32.67±0.58 ^b	29.15±1.03 ^c	28.64±0.47 ^d	34.02±1.67 ^a	32.26±0.45 ^b	32.29±0.18 ^b	31.28±0.35 ^b	27.88±0.62 ^d
	<i>a</i> [*]	35.19±0.19 ^a	32.27±0.81 ^b	36.06±0.30 ^a	32.12±1.38 ^b	31.96±0.94 ^c	34.13±1.20 ^a	31.17±1.03 ^c	32.76±0.18 ^b	31.87±0.07 ^c	34.13±0.48 ^a
	<i>b</i> [*]	22.89±1.32 ^c	11.06±1.39 ^c	28.64±0.45 ^b	22.72±1.81 ^c	19.23±0.82 ^d	30.98±1.66 ^c	30.25±1.83 ^a	28.24±0.49 ^b	26.41±0.41 ^b	17.47±1.05 ^d
10	ΔE	2.20	6.03	1.40	2.21	5.07	2.25	1.25	1.60	1.35	3.31
	<i>L</i> [*]	30.36±0.22 ^b	24.7±0.68 ^d	31.58±0.22 ^b	28.94±1.48 ^c	28.49±0.93 ^c	34.32±0.48 ^a	30.7±0.62 ^b	32.29±0.37 ^b	30.98±0.58 ^b	27.27±0.49 ^c
	<i>a</i> [*]	34.67±0.31 ^a	29.74±1.09 ^c	35.83±0.40 ^a	33.17±2.05 ^b	29.57±2.08 ^c	31.97±1.72 ^b	32.58±0.32 ^b	32.31±0.64 ^b	31.93±1.05 ^b	34.39±1.33 ^a
15	<i>b</i> [*]	22.41±0.49 ^c	10.50±1.01 ^c	27.38±0.45 ^b	18.31±0.48 ^d	18.48±1.27 ^d	31.20±1.34 ^a	31.32±0.68 ^a	27.71±0.50 ^b	26.32±2.48 ^b	17.35±1.87 ^d
	ΔE	2.21	6.80	1.79	5.70	4.56	3.23	2.01	2.23	1.65	3.51
	<i>L</i> [*]	29.57±0.47 ^c	24.52±0.42 ^d	31.01±0.76 ^b	28.58±0.18 ^c	28.60±0.73 ^c	33.93±0.89 ^a	30.45±0.60 ^b	31.19±0.08 ^b	30.9±0.66 ^b	27.02±0.64 ^c
20	<i>a</i> [*]	34.85±0.65 ^a	28.12±0.23 ^c	35.58±1.50 ^a	30.67±0.22 ^b	32.50±1.19 ^b	31.96±0.18 ^b	31.36±0.86 ^b	31.16±0.41 ^b	30.08±1.47 ^b	34.29±0.62 ^a
	<i>b</i> [*]	24.12±1.25 ^b	9.17±1.64 ^d	27.17±0.62 ^a	17.82±0.66 ^c	17.64±1.73 ^c	29.37±1.54 ^a	28.80±0.88 ^a	26.62±0.86 ^b	25.59±0.76 ^b	17.09±1.29 ^c
	ΔE	2.43	7.97	1.93	6.06	6.58	3.17	2.56	3.25	2.34	3.65
25	<i>L</i> [*]	29.54±0.23 ^b	23.94±0.71 ^d	30.78±0.33 ^b	28.87±0.47 ^c	27.99±0.40 ^c	33.93±1.22 ^a	30.45±0.41 ^b	29.83±0.08 ^b	29.27±0.37 ^b	26.58±0.23 ^c
	<i>a</i> [*]	33.08±0.14 ^a	27.19±1.24 ^c	31.88±0.25 ^b	28.83±0.69 ^c	30.03±0.63 ^b	32.91±0.48 ^a	30.30±0.74 ^b	30.99±0.66 ^b	29.83±0.57 ^b	31.53±0.35 ^a
	<i>b</i> [*]	22.38±0.48 ^c	9.14±0.09 ^c	27.41±0.86 ^b	17.66±0.63 ^d	16.77±1.33 ^d	28.19±1.74 ^a	26.60±0.42 ^b	24.40±1.32 ^b	23.46±1.08 ^c	15.39±0.24 ^d
30	ΔE	2.41	8.84	2.11	6.30	7.49	3.13	4.66	5.58	4.29	5.33
	<i>L</i> [*]	29.14±0.36 ^b	23.72±0.28 ^d	30.58±0.12 ^b	28.94±0.57 ^b	27.85±0.44 ^c	33.63±0.32 ^a	30.60±0.37 ^b	29.48±0.75 ^b	29.38±0.89 ^b	27.18±0.17 ^c
	<i>a</i> [*]	32.10±0.65 ^a	26.59±0.15 ^c	31.60±0.83 ^a	28.74±0.56 ^b	27.72±0.58 ^b	30.88±0.56 ^c	30.29±0.97 ^b	30.09±1.03 ^a	30.47±1.04 ^a	30.72±0.71 ^a
30	<i>b</i> [*]	21.67±1.25 ^c	8.52±0.72 ^c	26.65±0.29 ^a	17.39±0.63 ^d	16.05±0.43 ^d	27.32±1.29 ^a	24.43±1.56 ^b	23.57±1.16 ^b	24.26±3.69 ^b	16.88±0.73 ^d
	ΔE	3.25	9.06	2.49	6.45	8.24	4.13	6.85	6.30	4.39	5.12
	<i>L</i> [*]	29.24±0.34 ^b	23.70±0.51 ^d	30.47±0.13 ^b	28.90±0.35 ^c	27.56±0.39 ^c	32.57±0.46 ^a	29.58±0.49 ^c	30.59±0.40 ^b	29.40±0.41 ^b	27.97±0.43 ^c
30	<i>a</i> [*]	31.27±0.36 ^a	26.53±0.37 ^c	31.46±0.65 ^a	27.67±0.85 ^d	27.56±0.49 ^d	29.49±0.48 ^{bc}	30.12±0.32 ^b	29.53±0.30 ^b	29.37±0.73 ^c	28.16±1.54 ^d
	<i>b</i> [*]	21.38±0.83 ^b	8.43±0.57 ^c	24.67±0.41 ^a	17.31±0.25 ^c	12.99±0.27 ^d	25.99±1.03 ^a	23.18±0.57 ^a	23.25±1.42 ^a	22.30±0.88 ^b	19.53±0.46 ^c
	ΔE	4.13	10.34	5.84	9.27	12.37	4.96	8.73	7.95	6.56	7.50

[†] 同行小写字母不同表示具有显著性差异 ($P<0.05$)。

表 4 不同品种辣椒发酵过程中亚硝酸盐含量的变化[†]

Table 4 Nitrite content changes in different varieties of peppers during fermentation

发酵时 间/d	亚硝酸盐含量/(mg·kg ⁻¹)									
	羊角椒	牛角椒	贵州二荆条	美人椒	草莓红椒	小米辣	螺丝椒	四川二荆条	红杭椒	辣妹子
0	9.27±0.18 ^b	8.89±0.17 ^b	4.70±0.42 ^c	2.76±0.07 ^d	4.05±0.40 ^c	7.22±0.28 ^b	5.33±0.56 ^c	9.28±0.74 ^b	12.77±0.78 ^a	7.55±0.26 ^b
5	11.10±0.26 ^b	12.90±0.12 ^{ab}	7.55±0.26 ^c	3.47±0.13 ^d	4.62±0.16 ^d	9.52±0.12 ^b	5.55±0.22 ^d	10.58±0.17 ^b	14.33±0.13 ^a	8.34±0.06 ^c
10	16.19±0.36 ^a	16.19±0.36 ^a	8.91±0.58 ^b	4.41±0.17 ^d	4.82±0.49 ^{cd}	5.55±0.32 ^c	5.91±0.09 ^c	10.69±0.29 ^b	7.12±0.10 ^{bc}	8.49±0.27 ^b
15	10.77±0.04 ^a	10.77±0.04 ^a	9.28±0.08 ^{ab}	9.82±0.45 ^a	5.96±0.11 ^c	6.79±0.09 ^b	7.34±0.09 ^b	10.48±0.08 ^a	5.67±0.27 ^c	9.79±0.06 ^a
20	6.87±0.24 ^b	6.87±0.24 ^b	7.09±0.47 ^b	7.43±0.58 ^b	7.09±0.56 ^b	6.16±0.57 ^{bc}	8.98±0.90 ^a	6.12±0.59 ^c	5.63±0.40 ^c	6.30±0.10 ^b
25	4.28±0.14 ^c	4.28±0.14 ^c	5.72±0.58 ^a	6.08±0.06 ^a	5.78±0.14 ^a	5.24±0.16 ^b	6.13±0.09 ^a	5.96±0.18 ^a	5.42±0.38 ^{ab}	5.73±0.18 ^a
30	3.86±0.41 ^c	3.86±0.41 ^c	4.21±0.67 ^c	5.43±0.26 ^a	5.24±0.42 ^a	4.96±0.32 ^{ab}	4.89±0.15 ^b	4.69±0.29 ^b	4.51±0.28 ^b	5.46±0.09 ^a

[†] 同行小写字母不同表示具有显著性差异($P<0.05$)。

表 5 不同品种辣椒发酵过程中氨基酸态氮含量变化[†]

Table 5 Amino acid nitrogen content changes in different peppers during fermentation

发酵时 间/d	氨基酸态氮含量/(10 ⁻² g·g ⁻¹)									
	羊角椒	牛角椒	贵州二荆条	美人椒	草莓红椒	小米辣	螺丝椒	四川二荆条	红杭椒	辣妹子
0	0.29±0.01 ^b	0.31±0.02 ^b	0.29±0.01 ^b	0.28±0.02 ^b	0.23±0.02 ^d	0.31±0.03 ^b	0.27±0.02 ^{bc}	0.26±0.01 ^c	0.31±0.02 ^b	0.40±0.01 ^a
5	0.31±0.03 ^c	0.32±0.01 ^c	0.31±0.03	0.30±0.01 ^c	0.26±0.02 ^d	0.39±0.01 ^b	0.31±0.02 ^c	0.39±0.02 ^b	0.43±0.01 ^b	0.50±0.02 ^a
10	0.39±0.04 ^c	0.48±0.01 ^b	0.32±0.02 ^d	0.33±0.03 ^d	0.40±0.01 ^c	0.61±0.02 ^a	0.32±0.01 ^d	0.21±0.03 ^c	0.47±0.01 ^b	0.46±0.03 ^b
15	0.47±0.01 ^b	0.58±0.01 ^a	0.32±0.03 ^c	0.36±0.01 ^c	0.57±0.01 ^a	0.45±0.03 ^b	0.39±0.02 ^c	0.27±0.01 ^d	0.47±0.03 ^b	0.59±0.01 ^a
20	0.56±0.02 ^a	0.56±0.01 ^a	0.49±0.02 ^b	0.44±0.01 ^b	0.48±0.02 ^b	0.48±0.01 ^b	0.54±0.02 ^a	0.33±0.03 ^c	0.59±0.02 ^a	0.48±0.02 ^b
25	0.53±0.01 ^b	0.51±0.02 ^b	0.51±0.02 ^b	0.48±0.02 ^{bc}	0.46±0.01 ^c	0.51±0.02 ^b	0.56±0.04 ^a	0.36±0.02 ^d	0.56±0.02 ^a	0.52±0.02 ^b
30	0.52±0.01 ^b	0.47±0.01 ^c	0.50±0.02 ^b	0.51±0.03 ^b	0.42±0.04 ^c	0.40±0.02 ^b	0.49±0.02 ^d	0.38±0.03 ^d	0.55±0.03 ^a	0.47±0.02 ^c

[†] 同行小写字母不同表示具有显著性差异($P<0.05$)。

椒碱含量在发酵结束时仍高达 559.65, 507.65 μg/g, 辛辣度较高易造成感官接受度不高。

2.7 不同品种辣椒酱中有机酸含量

有机酸是辣椒酱发酵过程中最重要的代谢产物, 发

酵辣椒酱中有机酸以乳酸、乙酸为主^[24], 含量十分丰富, 且不同样品中有机酸含量具有显著性差异($P<0.05$)。如图 4 所示, 辣椒酱的酸味由酸味柔和、酸感强的乳酸为主的多种有机酸共同构成^[25], 红杭椒、贵州二荆条、螺丝椒、

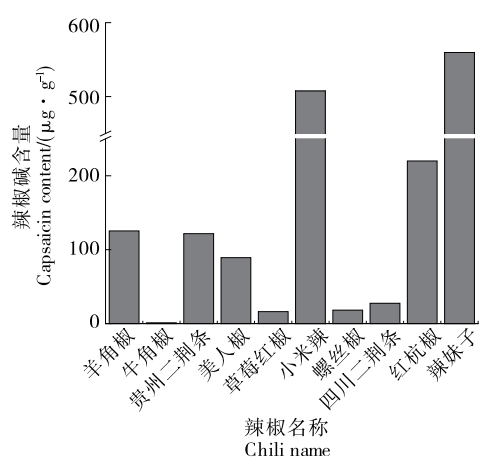


图 3 发酵 30 d 时不同品种辣椒酱中辣椒碱含量

Figure 3 Capsaicin content in different chili sauces at 30 days of fermentation

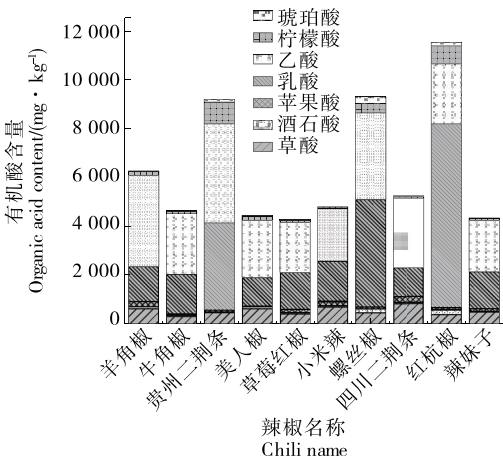


图 4 发酵 30 d 时不同品种发酵辣椒酱中有机酸含量

Figure 4 Organic acid content in different fermented chili sauces at 30 days of fermentation

羊角椒、四川二荆条中有机酸含量较高,牛角椒、美人椒、草莓红椒、小米辣、辣妹子中有机酸含量差异不明显。其中红杭椒中乳酸、酒石酸含量最高分别为 7 520.43, 200.37 mg/kg,而草酸、苹果酸以四川二荆条中含量最高为 840.16,231.80 mg/kg,贵州二荆条中乙酸、柠檬酸中含量最高分别为 4 070.23,890.94 mg/kg,螺丝椒中琥珀酸含量最高为 270.21 mg/kg。

2.8 不同品种辣椒酱的感官评价

由表 6 可知,不同品种辣椒酱中感官评分具有显著差异($P<0.05$),感官评分较高的是羊角椒、贵州二荆条、螺丝椒、红杭椒发酵辣椒酱,产品光泽度高且颜色鲜艳,酱体质地光滑细腻,富含浓郁的发酵香气,风味平衡恰当,酸辣咸鲜适中;其次是牛角椒、美人椒、草莓红辣椒酱色泽鲜艳,质地细腻且均匀,无明显的分层现象,发酵香味较浓郁,辣度适中,品质较好;而小米辣、辣妹子的综合感官评分较低,主要是辛辣味过重,风味协调性不足,导致滋味评分较低,使得产品感官整体接受度不高。

不同品种辣椒酱的感官评分与发酵过程中各品质指标含量相符合,不同的辣椒品种本身成分差异较大,发酵过程中的各品质指标含量与变化趋势也不尽相同。色泽

与可溶性固形物含量分别反映了红酸汤半成品辣椒酱的光泽度和颜色以及酱体的细腻程度。红酸汤半成品辣椒酱的风味与滋味差异又与发酵过程中的总酸、有机酸、氨基酸态氮和辣椒碱含量息息相关。

2.9 不同品种发酵辣椒酱发酵品质的综合分析

根据上述研究,总酸、色泽(L^* 值、 a^* 值、 b^* 值)、氨基酸态氮、亚硝酸盐、可溶性固形物、辣椒碱、有机酸、感官评分等品质指标对发酵辣椒酱的品质均有重要影响,因此对上述指标的原始数据进行标准化处理,然后通过 Kaiser-Meyer-Olkin 测度(KMO 值应 ≥ 0.6)和巴特利球形检验法(Bartlett 中 Sig 值应 ≤ 0.05)对主成分分析的适用性进行检验。研究发现,辣椒酱品质指标主成分分析中 KMO 值为 0.622, Sig 值为 0.000,符合适用要求,说明选取的品质指标之间是相关联的,两项结果检验都表明了主成分分析适用于构建原料品种影响红酸汤半成品辣椒酱发酵品质的综合评价模型。

2.9.1 主成分分析 对 10 个品种发酵辣椒酱的 9 个品质指标进行主成分分析时,将相关变量作为自变量,计算出主成分因子的特征值、方差贡献率及累计贡献率,以确定对辣椒酱品质有显著影响的主要指标,具体结果见表 7。

表 6 发酵 30 d 时不同品种发酵辣椒酱的感官评分[†]

Table 6 Sensory scores of different fermented chili sauces at 30 days of fermentation

样品	色泽	质地	香气	滋味	总分
羊角椒	22.46±0.24 ^a	17.34±0.29 ^a	21.85±0.19 ^a	26.29±0.55 ^a	87.94±1.27 ^a
牛角椒	19.68±0.25 ^c	14.79±0.32 ^c	21.75±0.28 ^a	24.26±0.63 ^b	80.48±1.48 ^c
贵州二荆条	22.94±0.16 ^a	17.38±0.29 ^a	21.39±0.23 ^a	27.82±1.31 ^a	89.53±1.99 ^a
美人椒	21.76±0.11 ^b	16.45±0.28 ^b	20.74±0.12 ^b	23.83±0.75 ^c	82.78±1.25 ^b
草莓红椒	19.46±0.31 ^c	17.24±0.23 ^a	20.57±0.32 ^b	24.31±0.29 ^b	81.58±1.10 ^c
小米辣	21.67±0.44 ^b	15.66±0.31 ^c	19.68±0.55 ^c	17.37±0.33 ^d	74.38±1.63 ^d
螺丝椒	21.85±0.48 ^{ab}	17.92±0.27 ^a	21.76±0.45 ^a	26.42±1.19 ^a	87.95±2.39 ^a
四川二荆条	21.25±0.35 ^b	16.37±0.26 ^b	21.28±0.41 ^a	24.92±0.64 ^b	83.82±1.66 ^b
红杭椒	22.73±0.31 ^a	17.51±0.31 ^a	21.48±0.47 ^a	25.65±0.29 ^{ab}	86.97±1.38 ^{ab}
辣妹子	20.97±0.34 ^{bc}	17.53±0.22 ^a	18.67±0.51 ^c	17.45±0.58 ^d	74.62±1.64 ^d

† 同行小写字母不同表示具有显著性差异($P<0.05$)。

表 7 成分特征值、方差贡献率及累计贡献率

Table 7 Component characteristic values, variance contribution rate and cumulative contribution rate

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比/%	累积/%	总计	方差百分比/%	累积/%
1	4.727	52.521	52.521	4.727	52.521	52.521
2	2.575	28.613	81.134	2.575	28.613	81.134
3	1.021	11.348	92.481	1.021	11.348	92.481
4	0.388	4.306	96.787			

由表 7 可知,以特征值>1 为标准,通过主成分分析提取出 3 个主成分,其方差贡献率分别为 52.521%, 28.613%, 11.348%, 累计方差贡献率达到 92.481%,说明前 3 个主成分对辣椒酱综合品质的影响程度最大,故选择前 3 个主成分作为有效成分,并根据其载荷系数反映出辣椒酱具有重要贡献的品质指标,结果见表 8。

表 8 主成分特征向量与载荷矩阵
Table 8 Characteristic vectors and loading matrix of principal components

品质指标	主成分 1		主成分 2		主成分 3	
	特征向量	载荷值	特征向量	载荷值	特征向量	载荷值
总酸	0.393	0.855	-0.282	-0.452	0.189	0.191
L^*	0.237	0.516	0.495	0.794	-0.126	-0.128
a^*	0.406	0.882	0.223	0.357	-0.140	-0.141
b^*	0.313	0.680	0.440	0.706	0.029	0.029
氨基酸态氮	0.247	0.538	-0.336	-0.539	0.574	0.580
亚硝酸盐	-0.407	-0.884	-0.111	-0.178	0.186	0.188
辣椒碱	-0.076	-0.166	0.447	0.718	0.652	0.658
有机酸	0.390	0.848	-0.124	-0.198	0.241	0.243
感官评分	0.377	0.819	-0.303	-0.487	-0.284	-0.287

载荷系数在主成分分析中反映了不同品质指标对主成分的影响程度,正负表示影响的方向^[26]。由表 8 可知,主成分 1 中主要影响因子为总酸、 a^* 值、有机酸、感官评分,其载荷值均>0.8,与品质综合得分呈显著正相关,而与亚硝酸盐的载荷值为-0.884,说明亚硝酸盐含量越高对综合品质的负向影响越大;主成分 2 主要影响因子是 L^* 值、 b^* 值、辣椒碱;主成分 3 主要影响因子是辣椒碱与氨基酸态氮,载荷值较大,说明其对辣椒酱品质综合评价具有正向影响。

2.9.2 辣椒品种对红酸汤半成品辣椒酱发酵品质影响的综合评价模型构建 根据表 8 及其对应的主成分,得到 3 个主成分因子得分:

$$Y_1=-0.393X_1+0.237X_2+0.406X_3+0.313X_4+0.247X_5-0.407X_6-0.076X_7+0.390X_8+0.377X_9, \tag{2}$$

$$Y_2=-0.282X_1+0.495X_2+0.223X_3+0.440X_4-0.336X_5-0.111X_6+0.447X_7-0.124X_8-0.303X_9, \tag{3}$$

$$Y_3=0.189X_1-0.126X_2-0.140X_3+0.029X_4+0.574X_5+0.186X_6+0.652X_7+0.241X_8-0.284X_9, \tag{4}$$

式中:

Y_1 、 Y_2 、 Y_3 ——主成分 1、主成分 2、主成分 3 得分;

$X_1\sim X_9$ ——总酸、 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、氨基酸态氮、亚硝酸盐、辣椒碱、有机酸、感官评分经标准化处理后的数据。

以各主成分特征值比率为权重,构建辣椒品种对红酸汤半成品辣椒酱发酵品质影响的综合评价模型为 $Y=0.525Y_1+0.286Y_2+0.113Y_3$ 。通过计算得到综合得分结果见表 9。

由表 9 可知,在 Y_1 得分中羊角椒、贵州二荆条、螺丝

表 9 辣椒酱发酵品质指标综合得分及综合评估
Table 9 Comprehensive score and comprehensive evaluation of fermentation quality index for chili sauces

样品	Y_1	Y_2	Y_3	Y
羊角椒	2.26	-0.26	-0.23	1.09
牛角椒	-3.01	-2.51	0.03	-2.29
贵州二荆条	2.81	0.14	-0.27	1.49
美人椒	-1.09	-0.76	0.21	-0.77
草莓红椒	-2.03	-0.78	-0.99	-1.40
小米辣	-1.15	3.46	0.17	0.41
螺丝椒	1.84	-0.63	-0.21	0.76
四川二荆条	-0.07	1.09	-1.79	0.07
红杭椒	2.49	-0.89	1.39	1.21
辣妹子	-2.05	1.13	1.68	-0.57

椒、红杭椒得分比较高,均>1,说明这 3 种辣椒酱色泽鲜红、酸含量较高、亚硝酸盐含量较低且感官品质较好; Y_2 得分中小米辣、四川二荆条、辣妹子得分较高,说明 3 种辣椒酱中明黄度偏大、辣椒碱含量较高; Y_3 得分中羊角椒、贵州二荆条、红杭椒得分较高,说明其氨基酸态氮含量较高,辣椒酱中鲜度更高。根据综合得分 Y 可知,不同品种辣椒酱的发酵品质存在明显差异,其中贵州二荆条、红杭椒、羊角椒、螺丝椒的综合得分较高,说明其此时辣椒酱产品综合品质较好。

3 结论

发酵辣椒酱是制作红酸汤必不可少的一个环节,而

辣椒的品种是影响辣椒酱品质的因素之一。通过对不同品种成熟的新鲜辣椒在发酵过程中各个品质指标的变化特点进行研究,在10种辣椒中,羊角椒、贵州二荆条、美人椒、红杭椒、螺丝椒中总酸、氨基酸态氮、可溶性固形物、有机酸含量均维持在较高水平,亚硝酸盐含量较低。采用主成分分析法构建了适用于原料辣椒品种对红酸汤半成品辣椒酱品质影响的综合评价模型为 $Y=0.525Y_1+0.286Y_2+0.113Y_3$,根据模型计算品质综合得分,贵州二荆条得分最高,红杭椒、羊角椒和螺丝椒次之。结合感官品质,优选出贵州二荆条、红杭椒、羊角椒和螺丝椒4个辣椒品种适宜于红酸汤半成品辣椒酱的生产加工。

参考文献

- [1] 袁野,李云成,孟凡冰,等. 贵州红酸汤研究进展[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(6): 19-23.
YUAN Y, LI Y C, MENG F B, et al. Research progress on Guizhou red sour soup[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(6): 19-23.
- [2] LIU N, HU Y, WU M X, et al. The quality characteristics and microbial communities of three components in traditional split-fermented red sour soup[J]. Food Science & Nutrition, 2024, 12(10): 7 287-7 305.
- [3] 石彬,冉曜琦,李咏富,等. 百香果与柠檬对贵州红酸汤发酵品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(5): 237-245.
SHI B, RAN Y Q, LI Y F, et al. Influence of *Passiflora edulis* and *Citrus limon* fruit on the fermentation quality of Guizhou red acid soup[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(5): 237-245.
- [4] 潘季红,秦礼康,文安燕,等. 贵州红酸汤营养品质及呈味特征分析[J]. 中国调味品, 2020, 45(6): 43-48, 53.
PAN J H, QIN L K, WEN A Y, et al. Analysis of nutritional quality and flavor characteristics of red acid soup in Guizhou Province[J]. China Condiment, 2020, 45(6): 43-48, 53.
- [5] 王丽芳. 发酵辣椒的发酵工艺及保藏技术研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2015: 1.
WANG L F. Study on fermentation and preservation technology of fermented chilli[D]. Guiyang: Guizhou University, 2015: 1.
- [6] 赵玲艳,黄嘉欣,杨剑,等. 盐渍辣椒真菌多样性分析[J]. 中国食品学报, 2021, 21(4): 310-317.
ZHAO L Y, HUANG J X, YANG J, et al. Analysis on the diversity of fungi in salted pepper[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(4): 310-317.
- [7] 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: 1.
XU H. Preparation and application of crisp and fresh flavor chopped pepper fermentation agent[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013: 1.
- [8] 朱海霞. 乳酸菌发酵辣椒泡菜的研究及其发酵剂的制备[D]. 天津: 天津科技大学, 2014: 1.
- [9] ZHU H X. Study on pepper pickles fermentation by lactic acid bacteria and its starter culture preparation[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2014: 1.
- [9] LIU Z J, CAI S B, ZHANG S Y, et al. A systematic review on fermented chili pepper products: sensorial quality, health benefits, fermentation microbiomes, and metabolic pathways[J]. Trends in Food Science & Technology, 2023, 141(Suppl C): 104189.
- [10] 邓放明,李罗明,尹华,等. 碎鲜辣椒发酵制品发酵用乳酸菌的选育与接种发酵试验[J]. 食品科学, 2005(3): 106-109.
DENG F M, LI L M, YIN H, et al. Isolation and selection of *Lactobacillus strains* for fermented piece of broken verdure chili and inoculation fermentation experiment[J]. Food Science, 2005(3): 106-109.
- [11] 许九红,王修俊,李佳敏,等. 红酸汤原料番茄品种的筛选及发酵品质的综合评价[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(16): 193-202.
XU J H, WANG X J, LI J M, et al. Screening of tomato varieties and comprehensive evaluation of fermentation quality of red sour soup[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(16): 193-202.
- [12] 彭泽,胡明文,白立伟,等. 不同辣椒品种的农艺性状与品质指标综合评价[J]. 北方园艺, 2023(1): 1-10.
PENG Z, HU M W, BAI L W, et al. Comprehensive evaluation of agronomic characters and quality indexes of different pepper varieties[J]. Northern Horticulture, 2023(1): 1-10.
- [13] 程立坤,胡悦,张亚琨,等. 不同品种辣椒营养品质、辣椒红素含量的差异比较及聚类分析[J]. 中国调味品, 2024, 49(1): 133-140.
CHENG L K, HU Y, ZHANG Y K, et al. Difference comparison and clustering analysis of nutritional quality and capsanthin content among different varieties of peppers[J]. China Condiment, 2024, 49(1): 133-140.
- [14] 杨娅,吴康云,黄冬福,等. 基于主成分分析对不同地区辣椒品质的综合评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(23): 264-271.
YANG Y, WU K Y, HUANG D F, et al. Comprehensive evaluation of peppers quality from different regions based on principal component analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(23): 264-271.
- [15] 张二康,王修俊,王纪辉,等. 发酵萝卜中亚硝酸盐含量影响因素分析[J]. 中国调味品, 2019, 44(9): 33-38.
ZHANG E K, WANG X J, WANG J H, et al. Study on the factors affecting nitrite content in fermented radish[J]. China Condiment, 2019, 44(9): 33-38.
- [16] 王雪梅,孙文佳,李亚隆,等. 不同产地鲜辣椒发酵郫县豆瓣的品质分析[J]. 食品科学, 2020, 41(10): 213-221.
WANG X M, SUN W J, LI Y L, et al. Quality analysis of Pixian broad-bean pastes made with fresh hot peppers from different producing areas[J]. Food Science, 2020, 41(10): 213-221.

- 213-221.
- [17] 吴凯, 覃业优, 蒋立文, 等. 不同质量分数食盐腌渍艳红辣椒的风味物质分析[J]. 食品科学, 2021, 42(24): 175-182.
- WU K, QIN Y Y, JIANG L W, et al. Analysis of flavor substances in pickled peppers (*Capsicum annuum* L. cv. Yanhong) with different salt contents[J]. Food Science, 2021, 42(24): 175-182.
- [18] 张东亚. 红酸汤发酵工艺优化及品质控制研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2018: 18-20.
- ZHANG D Y. Research on the optimization of fermentation process and quality control of red sour soup[D]. Guiyang: Guizhou University, 2018: 18-20.
- [19] 田永峰. 贵州苗族发酵型酸汤中功能性乳酸菌的筛选[D]. 贵阳: 贵州大学, 2008: 29.
- TIAN Y F. Screening of functional lactic acid bacteria in fermented sour soup of Miao nationality in Guizhou[D]. Guiyang: Guizhou University, 2008: 29.
- [20] 张博, 商金颖, 邸一恒, 等. 不同贮藏温度条件下番茄酱品质变化规律研究与货架期预测[J]. 食品科技, 2018, 43(12): 56-60.
- ZHANG B, SHANG J Y, DI Y H, et al. Study on the quality change regularity and prediction of shelf life of ketchup under different storage temperature conditions[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(12): 56-60.
- [21] YANG X, HU W, XIU Z, et al. Effect of salt concentration on microbial communities, physicochemical properties and metabolite profile during spontaneous fermentation of Chinese northeast sauerkraut[J]. Journal of Applied Microbiology, 2020, 129(6): 1 458-1 471.
- [22] 叶子, 商智勋, 李美奇, 等. 不同品种发酵小米辣品质特性比较与综合分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10): 87-95.
- YE Z, SHANG Z X, LI M Q, et al. Comparison and comprehensive analysis of quality characteristics of fermented Xiaomila in different cultivars[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(10): 87-95.
- [23] 牟琴, 徐俐. 不同品种番茄对发酵番茄酱品质的影响[J]. 中国酿造, 2018, 37(10): 130-134.
- MOU Q, XU L. Effects of different tomato varieties on the quality of fermented tomato paste[J]. China Brewing, 2018, 37(10): 130-134.
- [24] 熊怡玲. 不同品种辣椒对糍粑辣椒发酵过程中微生物多样性与品质影响研究[D]. 成都: 成都大学, 2024: 3.
- XIONG Y L. Research on the effects of microbial diversity and quality of different varieties of capsicum during the fermentation of ciba pepper[D]. Chengdu: Chengdu University, 2024: 3.
- [25] 熊瑛, 寻思颖, 孙棣, 等. 高效液相色谱法测定酸汤中的有机酸[J]. 中国调味品, 2012, 37(7): 71-73.
- XIONG Y, XUN S Y, SUN D, et al. Determination of organic acids in sour soup by high performance liquid chromatography [J]. China Condiment, 2012, 37(7): 71-73.
- [26] 葛帅, 王蓉蓉, 王颖瑞, 等. 湖南常见辣椒品种游离氨基酸主成分分析及综合评价[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(2): 91-102.
- GE S, WANG R R, WANG Y R, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation of free amino acids of different peppers in Hunan[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 39(2): 91-102.