

管庆林, 周笑犁, 覃志成, 等. 香菇酸辣酱配方优化及其品质分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(10): 185–194. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070211

GUAN Qinglin, ZHOU Xiaoli, QIN Zhicheng, et al. Recip Optimization and Quality Analysis of *Lentinus edodes* Chutney[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(10): 185–194. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070211

· 工艺技术 ·

香菇酸辣酱配方优化及其品质分析

管庆林^{1,2}, 周笑犁^{1,*}, 覃志成¹, 王艳丽¹, 秦宇蒙¹, 钟定江³

(1. 贵阳学院食品与制药工程学院, 贵州贵阳 550005;

2. 威宁县农产品质量安全检测中心, 贵州毕节 553100;

3. 麻江县明洋食品有限公司, 贵州凯里 556000)

摘要: 为丰富贵州地方特色调味品和提高香菇的综合利用价值, 研发具有民族风味的香菇调味酱。本研究以黔产等外级香菇、糟辣椒为主料, 采用模糊数学综合评价法和正交试验优化其配方, 并对其感官品质、理化及微生物指标进行分析。结果表明, 香菇酸辣酱在基础配方 (15.1% 糍粑辣椒、7.5% 番茄酱、3.8% 豆瓣酱、0.7% 味精、1.4% 芝麻、1.4% 料酒和 90 g 食用油) 下, 添加 53% 香菇丁、15.1% 糟辣椒、0.7% 食盐和 0.7% 白砂糖后酱体感官评分为 86.7±2.36, 产品亮度值 (L^*)、红度值 (a^*)、黄度值 (b^*) 分别为 33.62、14.76、13.01, 香菇丁的硬度、咀嚼性、弹性、挤压恢复力达到 969.04、636.87、0.87、0.32 g。该产品水分和微生物指标均符合该类产品的安全限值, 且氨基酸态氮、蛋白质和碳水化合物分别为 7.95、5.21 g/100 g 和 346.61 mg/g; 气相色谱-质谱分析结果表明香菇酸辣酱中的主效风味物质是糟辣椒在炒制过程中形成的醇类、烯类、酮类等物质。本研究为香菇及其他食用菌与地方风味特色调味品有机结合的精深加工提供理论依据。

关键词: 香菇, 糟辣椒, 工艺优化, 品质分析

中图分类号: TS255.53

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2023)10-0185-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070211

本文网刊:



Recip Optimization and Quality Analysis of *Lentinus edodes* Chutney

GUAN Qinglin^{1,2}, ZHOU Xiaoli^{1,*}, QIN Zhicheng¹, WANG Yanli¹, QIN Yumeng¹, ZHONG Dingjiang³

(1. College of Food and Pharmacy Engineering, Guiyang University, Guiyang 550005, China;

2. Weining County Agricultural Product Quality and Safety Testing Center, Bijie 553100, China;

3. Majiang Mingyang, Food Co., Ltd., Kaili 556000, China)

Abstract: In order to enrich the local flavor condiments of Guizhou and improve the comprehensive utilization value of *Lentinus edodes*, the *L. edodes* chutney with national flavor was developed. In this study, the formula of *L. edodes* and pickling pepper produced in Guizhou Province was optimized by using fuzzy comprehensive evaluation method and orthogonal test. The sensory quality, physicochemical and microbial indicators were analyzed. The results showed that 53% *L. edodes*, 15.1% pickling pepper, 0.7% salt and 0.7% white sugar under the basic formula (15.1% Ciba chili, 7.5% tomato paste, 3.8% broad bean paste, 0.7% monosodium glutamate, 1.4% sesame, 1.4% cooking wine and 90 g edible oil), the sensory score of the product was 86.7±2.36. The product brightness value (L^*), redness value (a^*) and yellowness value (b^*) were 33.62, 14.76 and 13.01, respectively. And the hardness, chewiness, elasticity of the extrusion restoring force reached 969.04, 636.87, 0.87, 0.32 g. The moisture and microbial indicators of this product meet the safety limits of this product, and the amino acid nitrogen, protein and carbohydrates were 7.95, 5.21 g/100 g and 346.61 mg/g, respectively. The results of gas chromatography-mass spectrometry analysis showed that the main flavor substances in the *L. edodes* chutney were alcohols, alkenes and ketones formed during the frying process of pickling pepper. This study would provide a theoretical

收稿日期: 2022-07-19

基金项目: 贵州省科技计划项目 (黔科合支撑 [2020]1Y161 号); 贵州省大学生创新创业训练计划项目 (S202110976062); 贵阳学院硕士研究生科研基金项目 (GYU-YJS[2020]-04)。

作者简介: 管庆林 (1996-), 男, 硕士研究生, 主要从事食品工程方面的研究, E-mail: 421855866@qq.com。

* 通信作者: 周笑犁 (1985-), 女, 博士, 教授, 主要从事食品营养学方面的研究, E-mail: lizi008009@126.com。

basis for the deep processing of *L.edodes* and other edible mushrooms combined with local flavor condiments.

Key words: *L.edodes*; pickling pepper; formula optimization; quality analysis

糟辣椒是以鲜红辣椒为主要原料,以姜、蒜、食盐为辅料,经剁碎、搅拌、罐装密封后乳酸菌发酵而成的调味制品^[1-2],其色泽鲜红、风味酸香,是西南人群最具特色的辣椒制品之一。辣椒在乳酸菌发酵过程中不仅能保留鲜辣椒的色泽、脆度、辣味和形态,还能产生乳酸、柠檬酸等非挥发性风味物质及酯类、醛类和萜烯类等挥发性风味物质^[3-4],其相互作用赋予了糟辣椒独特的风味。目前,国内外关于糟辣椒的研究多集中在工艺优化、发酵菌种筛选及发酵过程中菌群多样性和风味物质分析等方面^[3-6],但对其精深加工及相关产品研发报道较少。贵州传统调味品产品形式和风味单一,亟需有新的突破,倘若结合相关产品对糟辣椒进行精深加工,不仅能丰富产品的滋味和风味,还能突出产品的地方特色,促进民族风味食品的多元化发展。

近年来,我国调味品由单一向复合调味品快速发展,正以 20% 的年均速度增长^[7],其中以食用菌调味品发展最为迅速。香菇中不仅含有谷氨酸、天冬氨酸及核苷酸等多种增鲜物质,还含有丰富的蛋白质、糖类等营养物质,且具有降血脂、抗肿瘤等生物活性作用^[8-9],可作为制备天然调味品的理想原料之一^[10]。如刘晓梅等^[11]以黄豆酱、小米辣、香菇研制出符合西南地区人群口味的香菇调味品;我们前期也基于贵州特色油辣椒,结合香菇研制出具有贵州风味的香菇油辣椒酱^[7];刘义等^[12]以贵州传统调味品糟辣椒和香菇、海鲜菇研制出具有贵州特色的食用菌酱。但随着贵州香菇产量的逐年增加,在生产过程中产生了大量的等外级香菇(GB/T 38581-2020),往往都被加工成饲料或丢弃处理,造成了资源浪费。在此基础上,若将糟辣椒和等外级香菇结合,研发具有香菇营养成分和糟辣椒风味的调味品,为丰富贵州特色风味产品和提升等外级香菇的综合利用率提供理论依据。

因此,本文以黔产等外级香菇、糟辣椒为主要原料,以糍粑辣椒、豆瓣酱、番茄酱为辅,采用模糊数学综合评价法和正交试验优化其配方,并对其感官品质、理化指标和微生物指标进行分析,旨在为糟辣椒的精深加工和等外级香菇的综合利用提供理论依据,同时也可具有民族风味特色的调味品开发奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

0912 号等外级干香菇 黔西食用菌种植基地;糟辣椒 麻江县明洋食品有限公司;糍粑辣椒、豆瓣酱、番茄酱、食用油、食盐、香辛料等、招牌香菇酱(市售 A)、贵州食用菌糟辣酱(市售 B) 沃尔玛超

市;马铃薯葡萄糖琼脂培养基、结晶紫中性红胆盐琼脂、平板计数琼脂 上海博微生物科技有限公司;硫酸、硫酸钾、硫酸铜 分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;酚酞 分析纯,天津市致远化学试剂有限公司。

YXQ-LS-50SII 立式高压灭菌锅 上海博讯实业有限公司医疗设备厂;SW-CJ-1G 单人超净工作台

上海力辰邦西仪器科技有限公司;UV2700 紫外分光光度计 日本岛津仪器有限公司;SH420F 石墨消解仪 海能仪器股份有限公司;TA.XT.Plus 质构仪

英国 SMS 公司;CR400-色差仪 日本柯尼卡美能达;7890A/5975C GC-MS 联用仪 美国 Agilent 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 香菇酸辣酱的工艺流程 工艺流程图如图 1 所示。

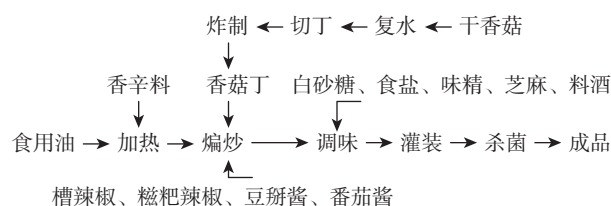


图 1 香菇酸辣酱的工艺流程图

Fig.1 Process flow diagram of *Lentinus edodes* chutney

1.2.2 操作要点

1.2.2.1 食用油预热及香菇丁制备 取 90 g 食用油加热至 150 ℃,将香辛料(0.6 g 八角、0.4 g 桂皮、0.6 g 香叶、0.8 g 砂仁、10 g 大葱)炸制 20~40 s,捞出,再将复水切丁(1×1×0.5 cm)的香菇于油温为 160 ℃ 下炸制 2~3 min,置于捞出备用。

1.2.2.2 煸炒 将制备好的糍粑辣椒^[7]、糟辣椒置于锅中小火熬制出红油,然后加入番茄酱、豆瓣酱炒拌均匀,再加入炸制好的香菇丁搅拌入味。

1.2.2.3 调味 将白芝麻、白砂糖、味精、食盐、料酒倒入锅中搅拌炒制 1~2 min。

1.2.2.4 灌装、灭菌 采用玻璃瓶趁热灌装,每瓶净重 220 g,红油封口后在沸水下煮制 20 min,倒置冷却。

1.2.3 单因素实验 在预试验的基础上,确定了基础配方为 15.1% 糍粑辣椒、7.5% 番茄酱、3.8% 豆瓣酱、0.7% 味精、1.4% 芝麻、1.4% 料酒和 90 g 食用油。

1.2.3.1 香菇丁添加量对产品感官评分的影响 以感官评分为评价指标,固定添加 15.1% 糟辣椒、1.4% 白砂糖、1.4% 食盐,香菇丁添加量分别为 40%、45%、50%、55%、60%。

1.2.3.2 糟辣椒添加量对产品感官评分的影响 以感官评分为评价指标, 固定添加 53% 香菇丁、1.4% 白砂糖、1.4% 食盐, 糟辣椒添加量分别为 7.2%、10.8%、14.5%、18.1%、21.7%。

1.2.3.3 食盐添加量对产品感官评分的影响 以感官评分为评价指标, 固定添加 53% 香菇丁、15.1% 糟辣椒、1.4% 白砂糖, 食盐添加量分别为 0%、0.7%、1.4%、2.1%、2.8%。

1.2.3.4 白砂糖添加量对产品感官评分的影响 以感官评分为评价指标, 固定添加 53% 香菇丁、15.1% 糟辣椒、1.4% 食盐, 白砂糖添加量分别为 0%、0.7%、1.4%、2.1%、2.8%。

1.2.4 正交试验 在上述实验的基础上, 对主要影响产品感官评分的香菇丁、糟辣椒、白砂糖、食盐进行正交实验, 采用 $L_9(3^4)$ 优化产品的最佳配方, 因素水平见表 1。

表 1 正交试验因素水平表
Table 1 Factor level of orthogonal experiment

水平	因素			
	A香菇丁添加量 (%)	B糟辣椒添加量 (%)	C食盐添加量 (%)	D白砂糖添加量 (%)
1	48	11.3	0.7	0.7
2	53	15.1	1.4	1.4
3	58	18.9	2.1	2.1

1.2.5 香菇酸辣酱感官评价模糊数学模型的建立 香菇酸辣酱因素集、评语集、模糊综合评定集的建立参考薛山等^[13]的试验方法, 以色泽, 香味, 滋味, 组织状态为评价因素集 U , 其权重 Y 采用强制决定法, 分别为 $Y=[Y_1, Y_2, Y_3, Y_4]=[$ 色泽 0.20, 香味 0.25, 滋味 0.35, 组织状态 0.20], 以优((90~100))、良((80~90))、中((60~80))、差([0~60])为评语集, 最后建立香菇酸辣酱综合评定集(隶属度) $Y=A \times R$, 式中, A 为评价因素的权重集, R 为感官评定人员对样品进行感官评价后的模糊矩阵。

1.2.6 感官评分标准 以 10 名(男女各 5 名)身体健

康、感知良好且经培训后的食品专业学生组成评定小组, 评定 2 h 前不抽烟、不喝酒、不接触带刺激性物品, 具体感官评分标准见表 2。

1.2.7 理化及微生物指标检测 理化指标: 蛋白质测定参考 GB 5009.5-2016^[14]; 水分测定参考 GB 5009.3-2010^[15]; 氨基酸态氮测定参考 GB 5009.235-2016^[16]。微生物指标: 菌落总数测定参考 GB 4789.2-2016^[17]; 霉菌测定参考 GB 4789.15-2016^[18]; 大肠菌群测定参考 GB 4789.3-2016^[19]。

1.2.8 产品色泽及质构特性分析 选用同类产品和销售量靠前的两种市售产品为对照, 将其测试值定义为消费者喜欢区间, 对优化后的产品进行质构特性、色泽分析^[7]。质构分析: 挑取产品中的香菇丁以“二次压缩”模式进行质构剖面分析(TPA), 测定条件: 探头 P36R, 测前速率 2.0 mm/s, 测中速率 2.0 mm/s, 测后速率 2.0 mm/s, 压缩比 40%, 两次压缩间隔 5 s, 触发类型自动, 触发力 4.00 g。色泽分析: 将酱体装入 50 mm×50 mm 比色皿中, 压实、抹平, 用色差仪测定样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 。

1.2.9 挥发性风味物质分析 参考谭沙等^[20]的实验方法并稍作修改, 将香菇酸辣酱或炸制后香菇丁称取 2 g 左右置于 20 mL 顶空瓶中, 然后将 2 cm-50/30 μ m DVB/CAR/PDMS StableFlex 纤维头插入气相进样口(250 $^{\circ}$ C)老化 30 min 后插入顶空瓶, 在 60 $^{\circ}$ C 恒温水浴锅中萃取 30 min, 取出萃取头立即插入气相进样口解析 15 min。

色谱条件: 3DB-624 Ultra Inert 色谱柱(30 m×250 μ m×1.4 μ m), 升温程序: 起始温度: 38 $^{\circ}$ C, 保持 5 min; 然后以 6 $^{\circ}$ C/min 升至 140 $^{\circ}$ C, 保持 22 min, 在以 10 $^{\circ}$ C/min 升至 240 $^{\circ}$ C, 保持 10 min, 最后在 220 $^{\circ}$ C 下保留 2 min。载气: He, 1.0 mL/min 分流进样(分流比 1:10)。

质谱条件: 离子源为 EI 源, 温度 230 $^{\circ}$ C, 四级杆 150 $^{\circ}$ C, 质量扫描范围: 25~500 u。

数据经质谱计算机系统检索及核对 Nist 2017

表 2 香菇酸辣酱感官评分标准表
Table 2 Sensory evaluation standard of *Lentinus edodes* chutney

因素	等级			
	优	良	中	差
色泽(20分)	酱体颜色油亮, 有光泽, 香菇丁颜色均一((18~20)分)	酱体颜色稍暗, 有光泽, 香菇丁颜色均一((16~18)分)	酱体颜色暗淡, 香菇丁颜色较差((12~16)分)	酱体颜色暗淡、无光泽且香菇丁颜色焦黑([0~12]分)
香味(25分)	酱体香气浓郁且协调, 有香菇的香味和糟辣椒发酵的酸味, 无异味((22~25)分)	酱体香气协调, 有香菇的香味和糟辣椒发酵的酸味, 无异味((20~22)分)	酱体香气较协调, 香菇味和糟辣椒发酵的酸味较淡, 无异味((15~20)分)	酱体香气不协调, 无香菇味和糟辣椒发酵的酸味, 有异味([0~15]分)
滋味(35分)	酱体味道爽口, 酸、咸、辣度适宜, 香菇丁咀嚼性好, 无焦糊及其他异味((32~35)分)	酱体味道爽口, 酸、咸、辣度一般, 香菇丁咀嚼性较好, 无焦糊及其他异味((28~32)分)	酱体酸、咸、辣度不一般, 香菇丁咀嚼性较差, 稍有糊味、苦涩及其他异味((21~28)分)	酱体酸、咸、辣度过重, 香菇丁无咀嚼性, 有异味([0~21]分)
组织状态(20分)	香菇丁大小均匀, 酱体流动性好, 无分层, 无异物((18~20)分)	香菇丁大小较均匀, 菇粒与糟辣椒混合度一般, 组织流动性较好, 无分层、无异物((16~18)分)	香菇丁大小均匀, 酱体过稠或过稀, 组织流动性差, 稍有分层, 无杂质((12~16)分)	香菇丁大小不均匀, 酱体过稠或过稀, 油料分布不均, 有分层且有肉眼可见杂质([0~12]分)

注: 表中(表示大于; [表示小于等于。

和 Wiley275 标准质谱图,对挥发性化学成分进行鉴定,用峰面积归一化法对各化学成分进行定性和相对定量。

1.3 数据处理

以上试验色泽、质构特性平行 5 次,理化、微生物指标平行 3 次,数据用平均值 $\pm$ 标准差表示。采用 IBM SPSS 22.0 进行统计分析和方差分析,以 $P<0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

由预实验可知,香菇、糟辣椒、食盐、白砂糖添加量是影响酱体感官评分的主要因素,对其添加量进行单因素实验,如图 2 所示,随着物料添加量的增加酱体感官评分呈现先增加后降低的趋势,且各物料添加量对酱体感官评分影响显著($P<0.05$)。

香菇丁作为本产品主要原料,其添加量对酱体的色泽、滋味、组织状态有重要影响,如图 2A 所示,当香菇丁添加量为 50% 时,感官评分有最大值,但与添加量为 55% 时的感官评分无显著差异($P>0.05$);赵瑞华等^[21]在实验中发现添加 35% 的蟹味菇酱体感官评分最高,而本实验香菇添加量在 45%~55%,继续增加其添加量,酱体感官评分又降低,这可能是较高的香菇添加量会使酱体的色泽变暗、组织流动性变差,进而降低了产品的感官评分。较高剂量的香菇不仅能缓解市场等外级菇的产能过剩,还能提升产品的营养品质及滋味;因此,香菇丁添加量选择 45%~55% 进行正交试验。

糟辣椒是黔菜的主要基料之一,风味独特,酸辣醇香^[4]。如图 2B 所示,糟辣椒添加量在 14.5% 时酱体感官评分最高($P<0.05$),产品流动性较好,但低于或高于该添加量时,酱体滋味不足或过酸。刘义等^[12]在研究中认为,糟辣椒适宜添加范围在 7.31%~10.98% 之间,本实验糟辣椒添加量略高,这可能会使本产品的糟辣椒风味、滋味更加突出;此外,糟辣椒中的有机酸也是良好的鲜味辅助剂,能和香菇中的呈味氨基酸、核苷酸共同作用丰富产品鲜味^[8,22]。因此,糟辣椒添加量选择 10.8~18.1% 进行正交试验。

如图 2C~图 2D 所示,食盐在 1.4% 时感官评分有最大值,但与 0.7%、2.1% 下的评分无显著差异($P>0.05$),同样添加 1.4% 的白砂糖酱体评分有最大值,但与 0.7% 下的评分无显著差异($P>0.05$)。当继续增加食盐、白砂糖添加量后,酱体的感官评分又下降,这可能是较高的食盐、白砂糖添加量使酱体的滋味过咸或过甜,而随着健康饮食观念的转变,低盐、低糖的产品更受欢迎。因此,食盐、白砂糖添加量选择 0.7%~2.1% 进行正交试验。

2.2 模糊数学模型的建立

2.2.1 模糊数学感官评价统计结果 将评定小组成员在对产品色泽、香味、滋味、组织状态的等级评定进行统计,见表 3。

2.2.2 模糊矩阵的建立 通过模糊数学综合评价法,对因素集(色泽、香味、滋味、组织状态)中的评语集(优、良、中、差)进行统计,得到 $r_1 \sim r_9$ 关系矩阵:

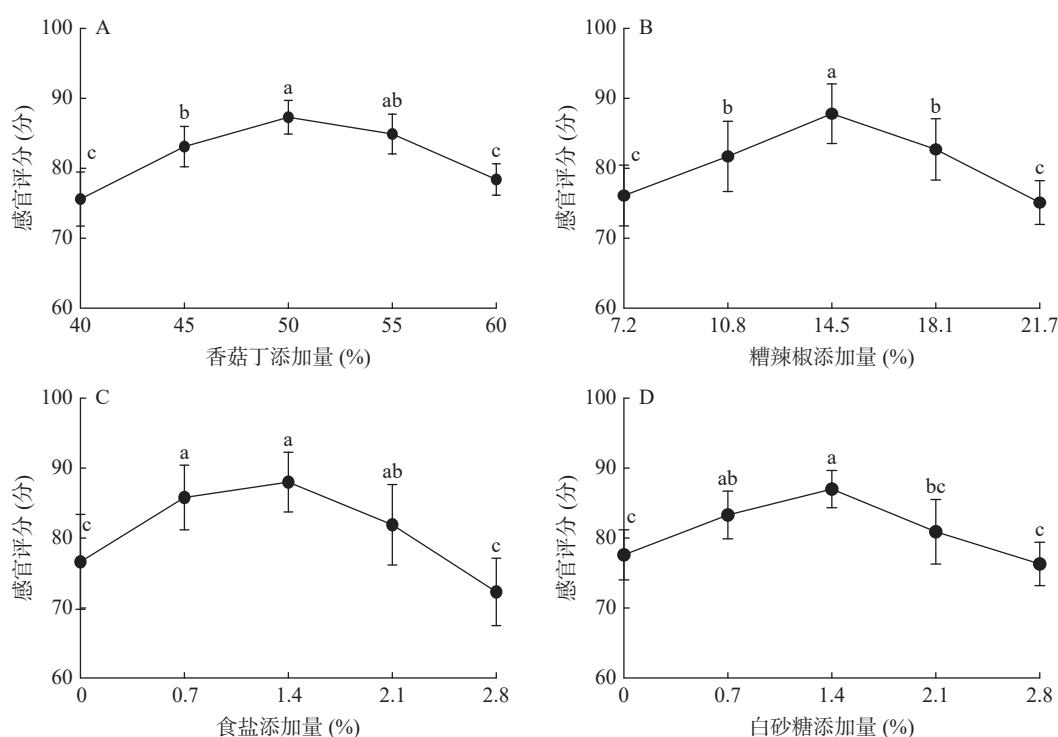


图 2 香菇酸辣酱配料添加量对感官评分影响的单因素实验结果

Fig.2 Single-factor experimental results of the effect of the amount of ingredients in *Lentinus edodes* chutney on sensory score

注: 图中小写字母表示显著性差异, $P<0.05$ 。

表 3 模糊数学感官评价统计结果
Table 3 Statistics results of sensory evaluation of fuzzy mathematics

实验号	色泽				香味				滋味				组织状态			
	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差
1	6	3	1	0	4	4	2	0	1	3	6	0	3	4	2	1
2	6	4	0	0	3	6	1	0	4	3	3	0	4	4	1	1
3	5	5	0	0	1	5	4	0	2	1	2	5	5	3	2	0
4	6	2	2	0	3	4	3	0	1	3	3	3	4	6	0	0
5	6	4	0	0	5	4	1	0	5	5	0	4	5	4	1	0
6	6	4	0	0	2	7	1	0	1	6	3	0	4	4	2	0
7	6	3	1	0	4	4	2	0	1	4	3	2	3	4	3	0
8	6	4	0	0	5	4	1	0	5	4	1	0	5	3	2	0
9	4	5	1	0	1	6	3	0	0	2	3	5	4	5	1	0

$$r_1 = \begin{bmatrix} 6, 3, 1, 0 \\ 4, 4, 2, 0 \\ 1, 3, 6, 0 \\ 3, 4, 2, 1 \end{bmatrix} r_2 = \begin{bmatrix} 6, 4, 0, 0 \\ 3, 6, 1, 0 \\ 1, 3, 6, 0 \\ 3, 4, 2, 1 \end{bmatrix} r_3 = \begin{bmatrix} 5, 5, 0, 0 \\ 1, 5, 4, 0 \\ 2, 1, 2, 5 \\ 5, 3, 2, 0 \end{bmatrix}$$

$$r_4 = \begin{bmatrix} 6, 2, 2, 0 \\ 3, 4, 3, 0 \\ 1, 3, 3, 3 \\ 4, 6, 0, 0 \end{bmatrix} r_5 = \begin{bmatrix} 6, 4, 0, 0 \\ 5, 4, 1, 0 \\ 5, 5, 0, 0 \\ 5, 4, 1, 0 \end{bmatrix} r_6 = \begin{bmatrix} 6, 4, 0, 0 \\ 2, 7, 1, 0 \\ 7, 6, 3, 0 \\ 4, 4, 2, 0 \end{bmatrix}$$

$$r_7 = \begin{bmatrix} 6, 3, 1, 0 \\ 4, 4, 2, 0 \\ 1, 4, 3, 2 \\ 3, 4, 3, 0 \end{bmatrix} r_8 = \begin{bmatrix} 6, 4, 0, 0 \\ 5, 4, 1, 0 \\ 5, 4, 1, 0 \\ 5, 3, 2, 0 \end{bmatrix} r_9 = \begin{bmatrix} 4, 5, 1, 0 \\ 1, 6, 3, 0 \\ 0, 2, 3, 5 \\ 4, 5, 1, 0 \end{bmatrix}$$

将 $r_1 \sim r_9$ 关系矩阵归一化处理后得到 $R_1 \sim R_9$ 模糊数学矩阵, 如下:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.6, 0.3, 0.1, 0.0 \\ 0.4, 0.4, 0.2, 0.0 \\ 0.1, 0.3, 0.6, 0.0 \\ 0.3, 0.4, 0.2, 0.1 \end{bmatrix} R_2 = \begin{bmatrix} 0.6, 0.4, 0.0, 0.0 \\ 0.3, 0.6, 0.1, 0.0 \\ 0.1, 0.3, 0.6, 0.0 \\ 0.3, 0.4, 0.2, 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.5, 0.5, 0.0, 0.0 \\ 0.1, 0.5, 0.4, 0.0 \\ 0.2, 0.1, 0.2, 0.5 \\ 0.5, 0.3, 0.2, 0.0 \end{bmatrix} R_4 = \begin{bmatrix} 0.6, 0.2, 0.2, 0.0 \\ 0.3, 0.4, 0.3, 0.0 \\ 0.1, 0.3, 0.3, 0.3 \\ 0.4, 0.6, 0.0, 0.0 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.6, 0.4, 0.0, 0.0 \\ 0.5, 0.4, 0.1, 0.0 \\ 0.5, 0.5, 0.0, 0.0 \\ 0.5, 0.4, 0.1, 0.0 \end{bmatrix} R_6 = \begin{bmatrix} 0.6, 0.4, 0.0, 0.0 \\ 0.2, 0.7, 0.1, 0.0 \\ 0.1, 0.6, 0.3, 0.0 \\ 0.4, 0.4, 0.2, 0.0 \end{bmatrix}$$

$$R_7 = \begin{bmatrix} 0.6, 0.3, 0.1, 0.0 \\ 0.4, 0.4, 0.2, 0.0 \\ 0.1, 0.4, 0.3, 0.2 \\ 0.3, 0.4, 0.3, 0.0 \end{bmatrix} R_8 = \begin{bmatrix} 0.6, 0.4, 0.0, 0.0 \\ 0.5, 0.4, 0.1, 0.0 \\ 0.5, 0.4, 0.1, 0.0 \\ 0.5, 0.3, 0.2, 0.0 \end{bmatrix}$$

$$R_9 = \begin{bmatrix} 0.4, 0.5, 0.1, 0.0 \\ 0.1, 0.6, 0.3, 0.0 \\ 0.0, 0.2, 0.3, 0.5 \\ 0.4, 0.5, 0.1, 0.0 \end{bmatrix}$$

隶属度(Y)是权重向量 A 与模糊矩阵 R 的乘积, 即 $Y_j = A_j \times R_j$, 以正交试验结果 1 为例: $Y_1 =$

$$(0.20, 0.25, 0.35, 0.20) \times \begin{bmatrix} 0.6, 0.3, 0.1, 0.0 \\ 0.4, 0.4, 0.2, 0.0 \\ 0.1, 0.3, 0.6, 0.0 \\ 0.3, 0.4, 0.2, 0.1 \end{bmatrix} = (0.315, 0.345,$$

$$0.320, 0.020), Y_1 \sim Y_9 \text{ 的隶属综合评定集见表 4。}$$

2.3 正交试验结果

在模糊数学统计结果后, 将表 4 中的隶属度与

表 4 香菇酸辣酱隶属度结果统计表

Table 4 Results of comprehensive evaluation set of *Lentinus edodes* chutney

Y_j	评价结果集
Y_1	(0.315, 0.345, 0.320, 0.020)
Y_2	(0.290, 0.415, 0.275, 0.020)
Y_3	(0.295, 0.320, 0.210, 0.175)
Y_4	(0.310, 0.365, 0.220, 0.105)
Y_5	(0.520, 0.435, 0.045, 0.000)
Y_6	(0.285, 0.545, 0.170, 0.000)
Y_7	(0.315, 0.380, 0.235, 0.007)
Y_8	(0.520, 0.380, 0.100, 0.000)
Y_9	(0.185, 0.420, 0.220, 0.175)

评语集相乘, 并赋予评语集优、良、中、差分值 90、80、70、60, 得到正交试验各组的感官评分, 将分值填入正交实验表格进行直观分析和方差分析, 结果见表 5、表 6。

如表 5、表 6 可知, 影响产品感官评分因素的主次顺序为 $B > C > A > D$, 即糟辣椒添加量 > 食盐添加量 > 香菇丁添加量 > 白砂糖添加量, 其中香菇丁、糟辣椒和食盐添加量显著影响酱体的感官评分($P < 0.05$), 且以糟辣椒为主, 其添加量的高低显著影响酱体的滋

表 5 正交试验结果表

Table 5 Results of orthogonal experiment

实验号	因素				感官评分(分)
	A香菇丁添加量	B糟辣椒添加量	C食盐添加量	D白砂糖添加量	
1	1(48.00)	1(11.30)	1(0.70)	1(0.70)	79.55
2	1	2(15.10)	2(1.40)	2(1.40)	79.75
3	1	3(18.90)	3(2.10)	3(2.10)	77.35
4	2(53.00)	1	2	3	77.90
5	2	2	3	1	84.75
6	2	3	1	2	81.15
7	3(58.00)	1	3	2	79.40
8	3	2	1	3	84.20
9	3	3	2	1	75.26
k_1	78.88	78.95	81.63	80.15	
k_2	81.27	82.90	77.93	80.10	
k_3	79.92	78.22	80.50	79.82	
R	2.38	4.68	3.70	0.33	

表 6 方差分析表
Table 6 Variance analysis

因素	偏差平方和	自由度	F比	F临界值	显著性
A	8.57	2	44.18	19.00	*
B	38.07	2	196.26	19.00	*
C	21.56	2	111.14	19.00	*
D	0.19	2	1.00	19.00	
误差	0.19	2			

注: 表中*表示显著性差异, $P<0.05$ 。

味、香气。最后在基础配方下, 香菇酸辣酱的最优配方为, $A_2B_2C_1D_1$, 即 53% 香菇丁、15.1% 糟辣椒、0.7% 食盐和 0.7% 白砂糖。

2.4 验证实验

对最优配方 $A_2B_2C_1D_1$ 进行验证, 产品最终感官评分为 86.7 ± 2.36 分, 高于正交试验中配方 $A_2B_2C_3D_1$ 的评分; 因此, 确定香菇酸辣酱最优配方为 $A_2B_2C_1D_1$, 在该配方下产品色泽红润, 组织流动性好, 香气协调, 酸香爽口, 有糟辣椒独特的香味。此外, 本产品的香菇添加量较高, 使得产品具备香菇丰富的营养成分的同时还能大大促进黔产等外级香菇的食用率。

2.5 香菇酸辣酱品质评价

2.5.1 理化及微生物指标 对在最优配方下炒制的产品并分析其理化及微生物指标, 结果见表 7, 产品中含有一定量的氨基酸态氮、蛋白质和碳水化合物, 说明香菇酸辣酱具备人体生命活动所需的营养成分, 而水分含量在 20% 左右, 在同类产品《香菇酱》标准的安全限值内, 各微生物指标均符合商业无菌的要求; 此外, 糟辣椒中富含乳酸、柠檬酸等多种有机酸^[3], 能有效抑制微生物的生长繁殖, 在一定程度上起到延长贮藏期的作用。综上所述, 以等外级香菇和

表 7 香菇酸辣酱理化及微生物分析结果

Table 7 Physicochemical and microbiological analysis results of *Lentinus edodes* chutney

检测指标	测定值	限定值 ^[23]
氨基酸态氮(g/100 g)	7.95±0.13	—
蛋白质(g/100 g)	5.21±0.87	—
碳水化合物(mg/g)	346.61±4.67	—
水分(g/100 g)	19.60±1.50	<30
菌落总数(CFU/g)	≤30	≤5×10 ³
霉菌总数(CFU/g)	未检出	≤1×10 ³
大肠菌群(MPN/g)	未检出	≤10

表 8 产品质构特性、色泽分析结果

Table 8 Texture and color properties results of samples

产品	质构特性				色泽		
	硬度(g)	弹性(g)	咀嚼性(g)	挤压恢复力(g)	L^*	a^*	b^*
市售A(招牌香菇酱)	921.83±84.00 ^a	0.86±0.08 ^a	621.59±68.30 ^a	0.26±0.03 ^b	30.94±0.90 ^b	12.04±0.95 ^{ab}	10.43±1.38 ^b
市售B(贵州糟辣酱)	827.00±44.99 ^b	0.69±0.04 ^b	383.21±25.26 ^b	0.20±0.04 ^c	30.27±1.92 ^b	10.17±1.17 ^b	10.90±1.61 ^{ab}
优化后的产品	969.04±71.64 ^a	0.87±0.09 ^a	636.87±13.51 ^a	0.32±0.05 ^a	33.62±2.43 ^a	14.76±3.61 ^a	13.01±2.62 ^a

注: 同列小写英文字母表示数据差异显著, $P<0.05$ 。

具有民族风味特色的糟辣椒研制的产品具有一定的营养价值, 在提高等外级香菇利用效率的同时还能丰富贵州的特色调味品。

2.5.2 色泽、质构分析 以同类食用菌酱产品和市售销量靠前的香菇酱为对照, 并将其测试结果定义为消费者喜欢的区间, 采用质构仪、色差仪分析优化产品的质构、色泽, 结果见表 8, 香菇酸辣酱中香菇丁的质构特性与同类产品 B 差异显著($P<0.05$), 其中硬度、弹性、咀嚼性显著高于同类产品 B($P<0.05$), 但与 A 无差异($P>0.05$), 而挤压恢复力显著于产品 A、B($P<0.05$), 说明香菇酸辣酱的香菇丁软硬适中, 咀嚼性较好, 这可能是糟辣椒中的有机酸能保持香菇丁的脆度, 并在贮藏期间使香菇丁具有良好的质构特性; 而在对产品色泽的测定中, 优化后产品色泽的亮度值 L^* 均显著高于($P<0.05$)市售产品, 而红度值 a^* 与产品 A、黄度值 b^* 与产品 B 均无显著差异($P>0.05$), 这可能是香菇酸辣酱在加工过程中添加了糟辣椒、糍粑辣椒和番茄酱引起的, 提升了产品的色泽。综上所述, 香菇酸辣酱中香菇丁的质构特性和产品的感官特性均在消费者喜欢区间, 同时也表明黔产等外级香菇具备后续加工的特性。

2.5.3 风味成分分析 挥发性风味物质是组成产品香气的主要成分, 其形成和变化规律极为复杂, 跟产品原料及加工条件紧密相连^[24]。香菇酸辣酱(A)和香菇丁(B)各挥发性物质的总离子图见图 3, 挥发性物质的种类及含量如图 4、表 9 所示, 从香菇酸辣酱和炸制后香菇丁中均检测出 8 类挥发性物质, 其中从香菇酸辣酱中检出 10 种烯类、5 种醇类, 从炸制后香菇丁中检测出 4 种含硫化合物、4 种醛类和 4 种酮类; 就各类挥发性化合物的含量占比而言, 两样品间的主效挥发性物质有所差异, 其中含硫化合物、烯类、醛类是炸制香菇丁的主要挥发性风味物质, 而香菇酸辣酱则以醇类、烯类、酮类为主。Rodriguez 等^[25]在实验中发现干辣椒经炒制后烯类、酯类和醛类是主要风味物质, 而张东亚等^[26]从糟辣椒检测到的主要风味物质是烯类和醇类, 由此可见, 在以香菇、辣椒及其他辅料为原料炒制成酱类产品时, 糟辣椒是主要构成产品风味的主要原料。研究发现, 烯类化合物气味阈值较低, 赋予香气能力较强, 可能来源于辣椒或香辛料受热后释放出来的游离萜类^[25], 这可能是产品中烯类检出种类数较多的主要原

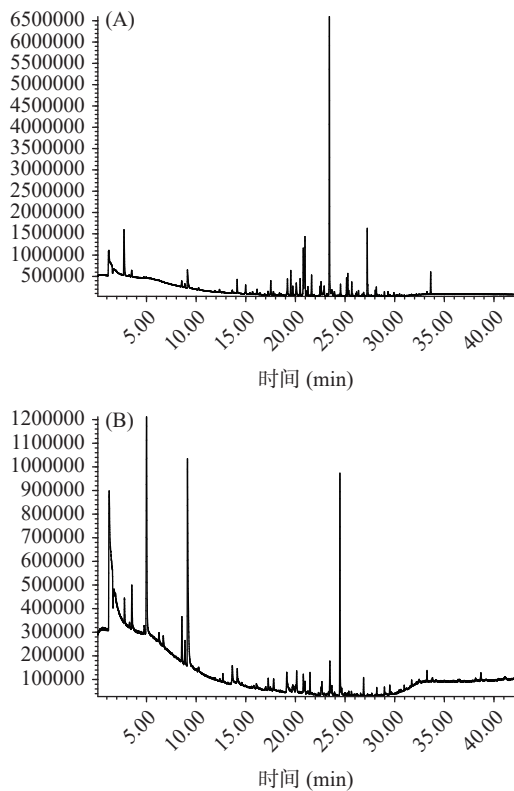


图 3 样品挥发性物质总离子图

Fig.3 Total ion diagram of volatile substances in the sample
注: (A)香菇酸辣酱; (B)香菇丁。

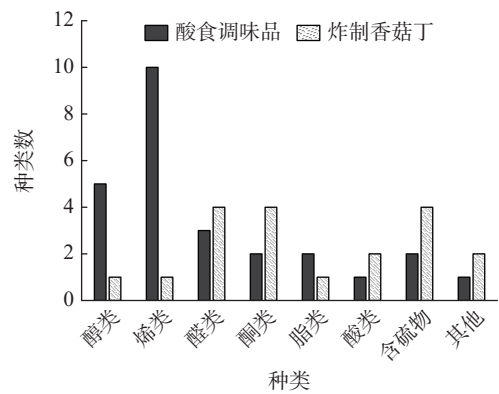


图 4 各样品中挥发性物质种类统计图

Fig.4 Statistical chart of volatile substances in each sample

因,在烯类中茴香烯含量最高,该类物质具有促进骨髓细胞的成熟、提升白细胞的活性的作用,具有一定的保健作用^[26]。醛类物质可能是来源于香菇丁过程中的美拉德反应和 Strecker 降解反应,苯乙醛有浓郁的玉簪花香气,2,4-癸二烯醛具有橙田香气^[27]。醇类、酮类化合物可能是由脂肪酸受热分解、羰基化合物还原、氨基酸降解或微生物发酵产生的,如芳樟醇和萜醇且具有铃兰香、花香等香味^[28],从炸制香菇丁中只检出一种醇类,表明产品中的醇类物质更多的是来源于糟辣椒发酵或加工时产生的^[26];而酮类物质具有奶油味或果香味,大多是形成其他风味成分的中间

表 9 挥发性物质 GC-MS 统计分析表

Table 9 GC-MS statistical analysis of volatile substances

种类	化合物名称	保留时间(min)	分子式	相对含量(%)	
				香菇酸辣酱	香菇丁
醇类	乙醇	2.752	C ₂ H ₆ O	0.02±0.00	0.10±0.00
	芳樟醇	23.425	C ₁₀ H ₁₈ O	5.71±0.00	—
	苯乙醇	24.545	C ₈ H ₁₀ O	2.12±0.00	—
	4-萜烯醇	25.281	C ₁₀ H ₁₈ O	5.72±0.00	—
	2-(4-甲基-3-环己烯基)-2-丙醇	25.678	C ₁₀ H ₁₈ O	5.72±0.00	—
	总计(%)			20.08	0.11
烯类	3-崖柏烯	17.519	C ₁₀ H ₁₆	3.40±0.00	—
	月桂烯	19.537	C ₁₀ H ₁₆	3.36±0.00	—
	α-水芹烯	20.092	C ₁₀ H ₁₆	3.36±0.00	—
	α-萜品烯	20.480	C ₁₀ H ₁₆	3.39±0.00	—
	右旋萜二烯	20.795	C ₁₀ H ₁₆	3.35±0.00	16.99±0.00
	3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯	20.966	C ₁₀ H ₁₆	3.36±0.00	—
	罗勒烯	21.263	C ₁₀ H ₁₆	3.36±0.00	—
	萜品油烯	22.479	C ₁₀ H ₁₆	3.39±0.00	—
	茴香烯	27.286	C ₁₀ H ₁₂ O	4.85±0.00	—
	松油烯	28.156	C ₁₀ H ₁₆	3.37±0.00	—
	总计(%)			36.63	18.18
醛类	己醛	14.133	C ₆ H ₁₂ O	0.25±0.00	4.07±0.00
	苯乙醛	22.568	C ₈ H ₈ O	2.00±0.00	10.13±0.00
	异丁醛	4.775	C ₅ H ₁₀ O	—	0.75±0.00
	2,4-癸二烯醛	28.048	C ₁₀ H ₁₆ O	5.38±0.00	—
	2-甲基丁醛	8.878	C ₅ H ₁₀ O	—	1.88±0.00
	总计(%)			7.94	18.00

续表 9

种类	化合物名称	保留时间(min)	分子式	相对含量(%)	
				香菇酸辣酱	香菇丁
酮类	胡椒酮	27.236	C ₁₀ H ₁₆ O	5.42±0.00	—
	2,3-丁二酮	6.260	C ₄ H ₆ O ₂	—	1.79±0.00
	5,6-二氢-2H-吡喃-2-酮	22.669	C ₅ H ₆ O ₂	—	3.36±0.00
	2-吡咯烷酮	24.485	C ₄ H ₇ NO	—	1.67±0.00
	2-羟基-4,6-二甲氧基苯乙酮	33.629	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	12.75±0.00	—
	2(5H)-呋喃酮	20.128	C ₄ H ₄ O ₂	—	1.46±0.00
	总计(%)			18.91	8.86
脂类	乳酸乙酯	14.968	C ₅ H ₁₀ O ₃	1.86±0.00	—
	乙酸乙酯	6.689	C ₄ H ₈ O ₂	—	2.18±0.00
	苯甲酸乙酯	25.156	C ₉ H ₁₀ O ₂	5.24±0.00	—
	总计(%)			7.10	2.33
含硫化合物	二硫化碳	3.509	CS ₂	0.21±0.00	1.08±0.0
	二烯丙基二硫	22.903	C ₆ H ₁₀ S ₂	4.68±0.00	—
	二甲基砷	20.968	C ₂ H ₆ O ₂ S	—	2.73±0.00
	甲基乙烯砷	21.471	C ₃ H ₆ O ₂ S	—	5.36±0.00
	1,2,4,6-四硫烷	28.972	C ₃ H ₆ S ₄	—	31.03±1.67
	总计(%)			4.89	43.00
酸类	乙酸	9.125	C ₂ H ₄ O ₂	0.06±0.00	0.29±0.03
	丙酸	12.691	C ₃ H ₆ O ₂	—	0.90±0.00
	总计(%)			0.06	1.27
	2,6-二甲基吡嗪	18.806	C ₆ H ₈ N ₂	—	5.75±0.01
	2-正戊基呋喃	19.739	C ₉ H ₁₄ O	3.75±0.02	—
	总计(%)			3.75	8.25

注:表中“—”表示未检出。

体^[29],从香菇丁中检出 4 种酮类,但产品中检出少,表明炸制香菇产生的酮类物质在煸炒、调味步骤进一步形成其他的化合物。含硫化合物是香菇中主要的挥发性物质,1,2,4,6-四硫烷、甲基乙烯砷等物质气味阈值低,风味活度值较高,但该类物质对热不稳定易降解生产其他的化合物^[30],这可能是含硫化合物在产品中检出少的主要原因。脂类、酸类和其他化合物在原料香菇及其产品中检出较少,表明该类物质不是香菇及其产品主要风味物质,但对产品最终风味具有协调、修饰和促进作用^[31-32]。

综上所述,在以等外级香菇为主要原料研制的香菇产品中,产品风味物质由香菇丁中的含硫化合物、醛类变为烯类、醇类等物质,大多风味物质来源于糟辣椒,可见糟辣椒是影响产品滋味及风味形成的主要物质。

3 结论

采用模糊数学综合评价法和正交试验优化香菇酸辣酱的制备工艺,可以减少人在感官评价时的主观误差,使评价结果具有一定的科学性。后对优化产品的质构、色泽、风味物质等感官指标和理化、卫生指标进行测定,为突出产品特色和迈入市场提供依据。结果发现,在基础配方下,正交实验优化后的产品最优配方为:53%香菇丁、15.1%糟辣椒、0.7%食盐和 0.7%白砂糖,感官评分达 86.7±2.36 分。其中香菇丁、糟辣椒、食盐添加量显著影响产品的感官评

分,且产品的氨基酸态氮、蛋白质、碳水化合物分别为 7.95 g/100 g、5.21 g/100 g、346.61 mg/g,水分含量和微生物指标符合相关标准要求。此外,产品的 L^* 、 a^* 、 b^* 分别为 33.62、14.76、13.01,香菇丁硬度、咀嚼性、弹性、挤压恢复力分别为 969.04、636.87、0.87、0.32 g,均高于市售产品,符合消费者需求。最后对其挥发性风味物质进行分析发现,从产品中共检测出 26 种挥发性化合物,其整体风味由主料香菇丁中的含硫化合物、烯类、醛类变为烯类、醇类、酮类等物质,且大多来源于糟辣椒,可见糟辣椒是影响酱体风味的主要因素。本研究可为糟辣椒、香菇及其他食用菌的精深加工提供理论依据,也可为丰富贵州特色调味品奠定基础。

参考文献

- [1] 王雪雅,陆宽,殷勇,等.贵州不同地区“生花”糟辣椒中微生物多样性研究[J].中国酿造,2021,40(8):46-53. [WANG X Y, LU K, YIN Y, et al. Microbial diversity of "Shenghua" fermented pepper in different areas of Guizhou[J]. China Brewing, 2021, 40(8): 46-53.]
- [2] 陈明珍,谭书明.糟辣椒复合防腐剂配方的优化[J].食品与发酵工业,2014,40(1):107-112, 118. [CHEN M Z, TAN S M. Optimization of composite preservative on pickling pepper products[J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(1): 107-112, 118.]
- [3] 宋煜婷,王晓芸,丁筑红,等.外源菌种和辅助碳源发酵糟辣椒条件优化与品质分析评价[J].食品与发酵工业,2020,46(3):

- 131-137. [SONG Y T, WANG X Y, DING Z H, et al. Optimization of fermentation conditions for chili using exogenous strains and auxiliary carbon source and its quality evaluation[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(3): 131-137.]
- [4] 唐鑫, 张艺馨, 刘卫红, 等. 外源接菌对发酵辣椒微生物群落和挥发性风味化合物的影响[J/OL]. *食品科学*: 1-21 [2022-09-24]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220729.0946.038>. [TANG X, ZHANG Y X, LIU W H, et al. Effects of exogenous inoculation on microbial community and volatile flavor compounds of fermented pepper[J/OL]. *Food Science*, 1-21 [2022-09-24]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220729.0946.038>.]
- [5] XU X, WU B, ZHAO W, et al. Shifts in autochthonous microbial diversity and volatile metabolites during the fermentation of chili pepper (*Capsicum frutescens* L.)[J]. *Food Chemistry*, 2020, 335: 127512.
- [6] NOR S M, YUSOF N, DING P. Volatile organic compound modification by lactic acid bacteria in fermented chilli mash using GC-MS headspace extraction[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 765(1): 012043.
- [7] 管庆林, 周笑犁, 王瑞, 等. 基于模糊数学综合评价法优化香菇油辣椒酱的制作配方[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(21): 173-181. [GUAN Q L, ZHOU X L, WANG R, et al. Optimization of production Recipe of *Lentinus edodes* oil chili sauce based on fuzzy mathematics comprehensive evaluation method[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(21): 173-181.]
- [8] WANG C Y. A review on the potential reuse of functional polysaccharides extracted from the by-products of mushroom processing[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2020, 13(2): 217-228.
- [9] SUN M, BU R, ZHANG B, et al. *Lentinan* inhibits tumor progression by immunomodulation in a mouse model of bladder cancer[J]. *Integrative Cancer Therapies*, 2020, 19: 1-7.
- [10] 俞铮, 葛小通, 张佳汇, 等. 食品中鲜味的来源及其评价方法[J/OL]. *食品科学*: 1-14 [2022-09-23]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20211202.1818.016>. [YU Z, GE X T, ZHANG J H, et al. The producer and evaluation method of umami taste in food[J/OL]. *Food Science*: 1-14 [2022-09-23]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20211202.1818.016>.]
- [11] 刘晓梅, 刘娟汝, 刘雨诗, 等. 香辣香菇风味酱的研制与质量检查[J]. *中国调味品*, 2018, 43(12): 116-120, 125. [LIU X M, LIU J R, LIU Y S, et al. Study on the production process and quality inspection of spicy *Lentinus edodes* sauce[J]. *China Condiment*, 2018, 43(12): 116-120, 125.]
- [12] 刘义, 韦云路, 胡文森, 等. 糟辣食用菌酱的研制[J]. *中国调味品*, 2021, 46(5): 119-123, 132. [LIU Y, WEI Y L, HU W S, et al. Preparation of fermented chili edible fungi sauce[J]. *China Condiment*, 2021, 46(5): 119-123, 132.]
- [13] 薛山, 李昆仑. 模糊数学结合响应面法优化免汤的高压炖煮工艺[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(3): 195-202. [XUE S, LI K L. Optimization of high pressure stewing process of rabbit soup by fuzzy mathematics combined with response surface methodology[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(3): 195-202.]
- [14] 国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 5009.5-2016 食品中蛋白质的测定[S]. [State Administration of Market Regulation, National Health Commission of the People's Republic of China. GB 5009.5-2016 Determination of protein content in foods[S].]
- [15] 国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 5009.3-2016 食品中水分的测定[S]. [State Administration of Market Regulation, National Health Commission of the People's Republic of China. GB 5009.3-2016 Determination of water content in foods[S].]
- [16] 国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 5009.235-2016 食品中氨基酸态氮的测定[S]. [State Administration of Market Regulation, National Health Commission of the People's Republic of China. GB 5009.235-2016 Determination of amino acid nitrogen content in foods[S].]
- [17] 国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 4789.2-2016 食品微生物学检验菌落总数测定[S]. [State Administration of Market Regulation, National Health Commission of the People's Republic of China. GB 4789.2-2016 Determination of aerobic plate count in foods[S].]
- [18] 国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 4789.15-2016 食品微生物学检验霉菌和酵母计数[S]. [State Administration of Market Regulation, National Health Commission of the People's Republic of China. GB 4789.15-2016 Determination of moulds and yeasts in foods[S].]
- [19] 国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 4789.3-2016 食品微生物学检验大肠菌群计数[S]. [State Administration of Market Regulation, National Health Commission of the People's Republic of China. GB 4789.3-2016 Determination of coliforms in foods[S].]
- [20] 谭沙, 宋珊珊, 谢勇, 等. 铜仁糟辣椒挥发性风味成分分析[J]. *中国酿造*, 2015, 34(10): 125-128. [TAN S, SONG S S, XIE Y, et al. Volatile compounds analysis of pickling pepper of Tongren[J]. *China Brewing*, 2015, 34(10): 125-128.]
- [21] 赵瑞华, 贺晓龙, 吉志洁. 蟹味菇辣椒酱的研制[J]. *中国调味品*, 2020, 45(6): 116-119, 126. [ZHAO R H, HE X L, JI Z J. Preparation of *hypsizygus marmoreus* chili sauce[J]. *China Condiment*, 2020, 45(6): 116-119, 126.]
- [22] 于海燕, 刘新广, 李永, 等. 调味品减盐增鲜的研究进展[J/OL]. *食品科学*: 1-12 [2022-09-23]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220622.1056.039>. [YU H Y, LIU X G, LI Y, et al. Research progress of condiment reducing salt and increasing umami[J/OL]. *Food Science*, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220622.1056.039>.]
- [23] 随州市质量协会团体标准. T/SZZL 002-2021 香菇酱[S]. [Suizhou quality association group standard. T/SZZL 002-2021 Mushroom sauce[S].]
- [24] TIAN Y T, ZHAO, et al. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms[J]. *Food Chem*, 2016, 2016, 197: 714-722.
- [25] RODRIGUEZ B A, KOLLMANNSEBERGER H, GONZALEZ M M, et al. HS-SPME comparative analysis of genotypic diversity in the volatile fraction and aroma-contributing compounds of *Capsicum* fruits from the *annuum-chinense-frutescens* complex[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(7): 4388-4400.
- [26] 张东亚, 胡伯凯, 李伟岸, 等. 两种加工方法对糟辣椒风味及产品质量的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(3): 168-175.

- [ZHANG D Y, HU B K, LI W A, et al. Effects of two processing methods on flavor and product quality of Zao-peppres[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(3): 168–175.]
- [27] 王海帆, 郭梦嫣, 王玉洁, 等. 辣椒、花椒等辛辣香辛料对肉制品风味影响的研究进展[J]. *食品科学*, 2022, 43(15): 389–395.
- [WANG H F, GUO M Y, WANG Y J, et al. Research on effects of pungent spices including chili and prickly ash on flavors of meat products[J]. *Food Science*, 2022, 43(15): 389–395.]
- [28] 唐鑫, 夏延斌, 吴灿. 辣椒汁发酵过程中挥发性成分的变化[J]. *食品科学*, 2014, 35(16): 197–201. [TANG X, XIA Y B, WU C. Analysis of volatile components in Hot pepper Juice during fermentation[J]. *Food Science*, 2014, 35(16): 197–201.]
- [29] RODE H R, FEHRMAN C E, BLAIR A D, et al. Evaluation of the significance of the maillard browning reaction caramelization and flavor development in beef steaks[J]. *Meat Science*, 2016, 112: 152–156.
- [30] CHANVORIEAK P, BOKYUNG M, CHAN L. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system[J]. *Food Chemistry*, 2016, 192: 1068–1077.
- [31] ZHANG J, ZHANG Y, WANG Y, et al. Influences of ultrasonic- assisted stir fry on the flavor characteristics of fried methods[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2020, 62: 102365.
- [32] CHANG K A, KOW H N, TAN T, et al. Effect of domestic cooking methods on total phenolic content, antioxidant activity and sensory characteristics of *Hericium erinaceus*[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2021, 56(11): 5639–5646.