

发酵酸鱼工艺条件的优化及品质分析

张大为, 张洁, 田永航

(海南热带海洋学院海南省海洋食品工程技术研究中心, 海南三亚 572022)

摘要: 以金鲳鱼为原料, 采用自然固态发酵方式制备酸鱼。通过单因素和响应面实验优化发酵酸鱼的工艺条件, 以总酸结合感官评分为指标, 得到最佳发酵条件为: 食盐添加量 4%、玉米粉添加量 55%、发酵温度 38.9 °C、发酵时间 21.8 d。在此条件下, 测得发酵后的酸鱼总酸为 4.19%, 感官评分为 92 分。金鲳鱼发酵后, pH 值、水分含量、水分活度、脂肪含量和蛋白质含量均降低。产品经质构分析, 硬度由 24.70 N 降低至 24.40 N, 粘附性由 0.57 升高至 0.89, 弹性由 1.43 mm 降低至 1.41 mm, 胶粘性由 5.60 N 升高至 6.20 N, 咀嚼性由 7.42 升高至 7.58。经过电子鼻分析比较, 发现发酵前后风味有明显变化, 金鲳鱼发酵后产生大量的香气成分, 为后续发酵酸鱼香气成分分析和香气形成机理的研究奠定基础。

关键词: 发酵; 酸鱼; 工艺; 品质; 优化

文章编号: 1673-9078(2019)010-139-147

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.10.020

Optimization of Technological Conditions of Fermented Suanyu and Their Quality Analysis

ZHANG Da-wei, ZHANG Jie, TIAN Yong-hang

(Hainan Tropical Ocean University, Hainan Engineering Research Center of Seafood, Sanya 572022, China)

Abstract: Suanyu using golden pomfret as raw material was prepared by natural solid-state fermentation. The fermentation conditions of Suanyu were optimized by single factor and response surface experiments. The optimum fermentation conditions were obtained by using total acid and sensory score as the indice. The optimum fermentation conditions were as follows: salt addition of 4%, cornmeal addition of 55%, fermentation temperature of 38.9 °C, fermentation time of 21.8 days. Under these conditions, the total acid and the sensory score of fermented golden Pomfret were 4.19% and 92, respectively. The pH, water content, water activity, fat and protein content were all decreased after fermentation. The protein content decreased from 19.43% to 17.76%. The hardness of the product decreased from 24.70 N to 24.40 N. The adhesion, elasticity and stickiness of the product increased from 0.57 mj to 0.89 mj, from 1.43 mm to 1.41 mm, from 5.60 N to 6.20 N, respectively. The chewiness increased from 7.42 mj to 7.58 mj. The electronic nose analysis indicated that the flavor of the fermented golden Pomfret changed obviously compared with fresh material. A large number of aroma compounds were produced after fermentation, which could provide a foundation for the analysis of aroma compounds and aroma formation mechanism of the fermented Suanyu.

Key words: fermentation; suanyu; process; quality; optimization

金鲳鱼, 学名卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*), 地方名称金鲳、鲳鲹、红三黄腊鲳, 属鲈形目, 鲹科, 鲳鲹属, 暖水性, 生活于热带及温带沿海。肉质细嫩, 味道鲜美, 鱼肉富含不饱和脂肪酸和微量元素硒和镁, 有降低胆固醇、预防心血管疾病的作用, 是名贵的食用鱼类^[1]。金鲳鱼主要产地在中国南方沿海地区, 近年来产量逐渐增大。仅以海南为例, 截止 2016 年金鲳

收稿日期: 2019-06-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0311205); 海南热带海洋学院校级青年专项基金项目(RHDQN201831); 海南热带海洋学院科研项目(RHDXB201709)

作者简介: 张大为(1977-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 应用微生物

通讯作者: 田永航(1979-), 男, 讲师, 研究方向: 应用微生物

鱼养殖备案基地面积近 7000 亩。目前主要以活鲜、冰鲜和冷冻三种方式进行生产和销售, 附加值不高, 市场销售竞争十分激烈, 贸易收购商和加工厂大打价格战, 不利于产业的发展^[2]。如果将金鲳鱼进行深加工, 会提高产品附加值, 解决上述问题。采用微生物发酵技术来对金鲳鱼进行深加工是一种行之有效的方式, 具有较好的前景。

发酵鱼是指在新鲜鱼中添加盐、糖、醋、酒糟等辅料, 在微生物的作用下经过一系列微生物代谢作用后, 得到的一种风味独特、质感特殊、具有良好贮藏性的鱼制品。目前, 传统的发酵鱼及其制品众多, 如中国湖南湖北的腊鱼、广东梅香鱼、韩国的发酵淡水鱼块 changran-jeot、Gajami sikhae、菲律宾的 Burong

isda 和 Balaobalao、泰国的 Som-fug、Plae-raa、老挝的 Padec、柬埔寨的 Mam-ca-sat、日本的 Sada-naresushi 和 Funa-sushi 等。这些发酵鱼制品均是采用传统的发酵方法,即选择合适的季节并依靠自然界中微生物在鱼体上富集,并在一定的温度和湿度下生长繁殖,进而长期发酵而得^[3-6]。传统发酵鱼大多是作坊式生产,规模较小,是一种季节性加工产品,一年只能发酵一次而多次食用,使得产品易于二次污染或多次污染,从而降低产品安全性及产品品质^[7-10]。另外,发酵鱼是一种利用环境或自身携带的微生物在自然条件下发酵,产品生产周期长,难免在鱼体发酵期间会有产毒微生物生长,降低了产品的食用安全性,同时,传统制作方法往往含盐量不均,高浓度的食盐会损害人体健康^[11-13]。而采用在发酵过程中加入纯种微生物发酵剂的方法可有效改进传统发酵的不足,但得到的产品风味却不如传统的自然发酵,因为自然发酵过程中,微生物的组成复杂多样,对发酵后产品的风味物质、质构、色泽等有重要影响^[14-16]。近年来,很多学者应用微生物发酵技术对传统发酵鱼及其制品进行了广泛研究,如 Matilda Asiedu 和 Abiodun I. Sanni 研究了西非的鱼米发酵制品 *Enam Ne-Setaakye*,对采用自然发酵和接种发酵各自的化学成分和微生物消长变化情况进行了分析;薛长湖、徐伟等研究了采用三种不同工艺加工墨鱼下脚料制成的低盐鱼酱在快速发酵过程中的生化变化^[17-21]。

海南黎族以海鱼或淡水鱼为原料,经过自然发酵得到一种酸香可口的酸鱼,极具民族特色,但是质量差别比较大,将该酸鱼进行进一步研究,使其标准化、规模化,对于开发民族特色食品具有重大意义。本研究选用金鲳鱼作为原料,通过海南黎族发酵酸鱼的方法进行自然发酵,通过单因素和响应面设计方法对发酵酸鱼的工艺条件进行精准优化,得到最佳发酵工艺条件。既保证了传统发酵的优良口感和滋味,又能对发酵过程进行精确控制,有利于进行大规模标准化生产。在此基础上,对最终发酵产品的 pH、水分活度、水分含量、脂肪含量、蛋白质含量、质构、滋味和风味等指标进行分析,得到了一种质地优良的一种发酵酸鱼,为标准化生产奠定了一定的理论基础和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与主要试剂

金鲳鱼,购于三亚市旺豪超市。

MRS 培养基、结晶紫中性红胆盐葡萄糖琼脂培养

基、PCA 培养基均购于广州环凯微生物科技有限公司;硫酸钾、硫酸铜、乙醇、酚酞等分析检测试剂均为分析纯,购于天津市百世化工有限公司。

1.2 主要仪器与设备

恒温培养箱 (DPX-9082B-1),金坛市盛蓝仪器制造有限公司;电热鼓风干燥箱 (Heratherm OMH400),赛默飞世尔科技公司;电热食品烤炉 (YXE-6),广东创明遮阳科技有限公司;水分测定仪 (MA35),赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司;水分活度测定仪,瑞士 NOVASINA 公司;质构仪 (TMS-PRO),美国 FTC 公司;电子鼻 (PEN3.5),德国 AIRSENSE 公司。

1.3 方法

1.3.1 感官评价

参考《食品安全国家标准 熟肉制品:GB 2726-2016》中对感官要求并加以改进^[22],制成感官评分标准见表 1,选取 15 名有感官评价经验且经过培训的人员组成评价小组,取适量样品,在自然光下观察其色泽,组织状态,并闻其气味,用温开水漱口后品尝滋味,按照感官评分标准打分,总分取各项之和的平均值。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria

项目	特征描述	评分标准
色泽 (20 分)	色泽红润	15~20
	呈浅红色,稍暗淡	7~14
	色泽暗淡	0~6
气味 (35 分)	发酵香气浓郁	30~35
	发酵香气一般	19~29
	发酵香气淡	0~18
滋味 (35 分)	酸香可口,无异味	30~35
	酸香味一般	19~29
	酸香味淡	0~18
质地 (10 分)	肉质紧密	8~10
	肉质较紧密	4~7
	肉质疏松	1~3

1.3.2 理化指标测定方法

总酸测定,参照 GB/T 12456-2008《食品中总酸的测定》中的酸碱滴定法进行测定^[23]。取样为烤制后的鱼;pH 值测定,参照 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准食品 pH 值的测定中肉与肉制品》的 pH 值的测定方法进行测定^[24];水分含量测定,采用水分测定仪测定,平行测定 3 次,取平均值;水分活度测定,采用水分活度仪测定,平行测定 3 次,取平均值;脂

肪测定, 参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法中肉与肉制品的测定方法进行测定^[25]; 蛋白质含量测定, 参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法进行测定^[26]。

1.3.3 发酵酸鱼工艺流程

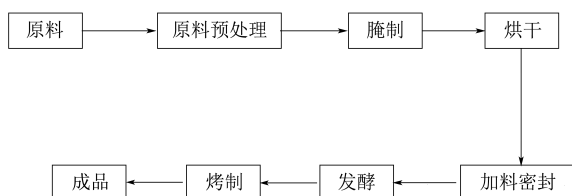


图1 发酵酸鱼工艺流程

Fig.1 Technological process of fermented Suanyu

注: 金鲳鱼原料采用 1000 g 左右的整鱼, 清洗、去鳞、去内脏后去骨取肉, 切成 3 cm×6 cm×1 cm 小块, 用于后续实验。

1.3.4 单因素实验初步优化主要工艺参数

酸鱼发酵初始参数为: 食盐加量为鱼质量的 9%; 生姜、大蒜、小尖椒、大葱的添加量为鱼质量 2%; 料酒添加量为鱼质量 1%; 腌制条件为 10 ℃, 90 min; 烘干条件为 45 ℃, 2 h; 玉米粉添加量为 50%; 发酵条件为 35 ℃, 15 d, 烘烤条件为 100 ℃, 20 min。单因素实验确定工艺参数时, 每次控制一个参数变量, 其余因素不变, 成品采用总酸结合感官评分进行评价。

1.3.4.1 食盐添加量的单因素实验

食盐添加量分别为 3%、6%、9%、12%、15% 五个水平, 其余参数采用发酵初始参数, 分为 5 组进行单因素实验。每个实验进行三次平行, 结果取平均值±标准差。

1.3.4.2 玉米粉添加量的单因素实验

玉米粉添加量分别为鱼重量的 35%、40%、45%、50%、55% 五个水平, 其余参数采用发酵初始参数, 分为 5 组进行单因素实验。每个实验进行三次平行, 结果取平均值±标准差。

1.3.4.3 发酵温度的单因素实验

发酵温度分别为选取 25 ℃、30 ℃、35 ℃、40 ℃、45 ℃ 五个水平, 其余参数采用发酵初始参数, 分为 5 组进行单因素实验。每个实验进行三次平行, 结果取平均值±标准差。

1.3.4.4 发酵时间的单因素实验

发酵时间分别为选取 5 d、10 d、15 d、20 d、25 d 五个水平, 其余参数采用发酵初始参数, 分为 5 组进行单因素实验。每个实验进行三次平行, 结果取平均值±标准差。

1.3.5 响应面实验优化发酵工艺参数

采用 Design-expert 10.0.3 软件的 BBD 设计, 在单因素实验的基础上选取影响最大的四个因素及这些因素的合适水平, 以总酸为响应值, -1、0、+1 分别代表低中高三个水平, 进行四因素三水平的实验。再根据这实验结果, 用软件分析得到最佳发酵条件及该条件下的预测总酸, 并验证模型可靠性。

1.3.6 质构分析

将样品切成大小厚薄均匀的方块, 室温下放上质构仪测试其硬度、粘附性、弹性、胶粘性、咀嚼性。测试条件: 探头为 TPA P/50, 量程为 800 N, 回到样品表面高度为 15 mm, 压缩速率及返回速率皆为 60 mm/min, 弹性形变百分比为 60%, 压缩间隔时间为 6 s。每个样本测 3 次, 取平均值。

1.3.7 电子鼻分析

将样品放入一个小烧杯中, 用保鲜膜封口, 保证其密封性, 放置 5 min 以收集气味。每个样品测定三次, 清洗时间为 500 s, 零点调整时间为 10 s, 预采样时间为 10 s, 检测时间为 400 s, 进样速率为 350 mL/min, 载气速率 350 mL/min。每个样品检测 5 次, 检测后选取传感器响应值达到稳定状态时的值进行分析。所用传感器性能描述见表 2。

表2 传感器性能描述

Table 2 Sensor performance description		
阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对苯类、芳香成分灵敏
2	W5S	灵敏度大, 对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	对氨类、芳香成分灵敏
4	W6S	主要对氢化物有选择性
5	W5C	对短链烷烃芳香成分灵敏
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	对有机硫化物、芳香成分灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

1.3.8 数据处理

使用 Origin 9.1 对单因素实验结果作图分析, 使用 design-expert 10.0.3 进行响应面设计, 使用 SPSS 对电子鼻数据进行主成分分析 (PCA) 及负荷加载分析 (Loadings)。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

从图 2a 可知, 随着食盐添加量的增加, 感官评分先增加后减少, 总酸逐渐减少, 食盐添加量为 3% 时,

鱼发酵程度较高, 色泽红润, 发酵香气浓郁, 酸味明显, 但肉质松软, 此时鱼总酸最高, 为 4.03‰, 感官评分为 81 分。食盐添加量为 6% 时, 鱼发酵情况较好, 质地较食盐添加量为 3% 时紧密, 总酸为 3.59‰, 感官评分最高, 为 86 分。此后随着食盐添加量的增加, 总酸和感官评分同时降低, 在食盐添加量为 15% 时, 总酸和感官评分同时达到最低, 鱼发酵程度不高, 呈浅红色, 发酵香气一般, 咸味重, 酸味淡, 肉质紧密, 此时, 总酸为 2.91‰, 与最高值相差 1.12‰, 感官评分为 77 分, 与最高值相差 9 分。从发酵状态来看, 食盐加量 6% 时是最优。说明在发酵过程中, 食盐对微生物具有明显的抑制作用。

由图 2b 可知, 随米粉添加量的增加, 总酸先增加后小幅下降, 感官评分先增加后不变, 二者变化趋势大致相同。米粉添加量为 55% 时, 鱼发酵状况较好, 色泽红润, 发酵香气浓郁, 酸味明显, 肉质较紧密, 此时总酸和感官评分都达到最高, 总酸为 3.37‰, 感官评分为 83 分, 与最低值相比, 总酸相差 0.85‰, 感官评分相差 8 分。故最适米粉添加量为 55%。

由图 2c 可知, 两种米粉感官评分一样为 82 分, 而糯米粉总酸为 3.22‰, 玉米粉总酸为 3.29‰, 仅相差 0.07‰。说明玉米粉从营养方面更适合于有益微生物的发酵。由图 2H 可知, 随着发酵温度升高, 感官评分和总酸都先增加后减少, 二者变化趋势大致相同, 发酵温度为 25℃ 时, 鱼发酵程度较低, 呈浅红色, 发酵香气和酸味较淡, 肉质不够紧密, 此时总酸为 2.42‰, 感官评分为 73 分。在发酵温度为 40℃ 时, 感官评分和总酸都达到最高, 鱼发酵程度较高, 色泽红润, 发酵香气浓郁, 酸味较浓, 此时, 鱼总酸为 3.54‰, 感官评分为 83 分, 与最低值相比, 总酸相差 1.12‰, 感官评分相差 10 分。

由图 2d 可知, 随着发酵时间的增加, 感官评分先增加后减少, 总酸逐渐增加。在发酵时间为 5 d 时, 总酸和感官评分都最低, 鱼发酵程度较低, 呈浅红色, 发酵香气和酸味较淡, 肉质不够紧密, 此时总酸为 2.41‰, 感官评分为 71 分。发酵时间为 20 d 时, 感官评分和总酸都达到最高, 此时鱼发酵程度较高, 色泽红润, 发酵香气浓郁, 酸味较浓, 肉质紧密。总酸和感官评分分别相差 1.16‰ 和 15 分, 故选择发酵

20 d 的鱼产品品质最好。

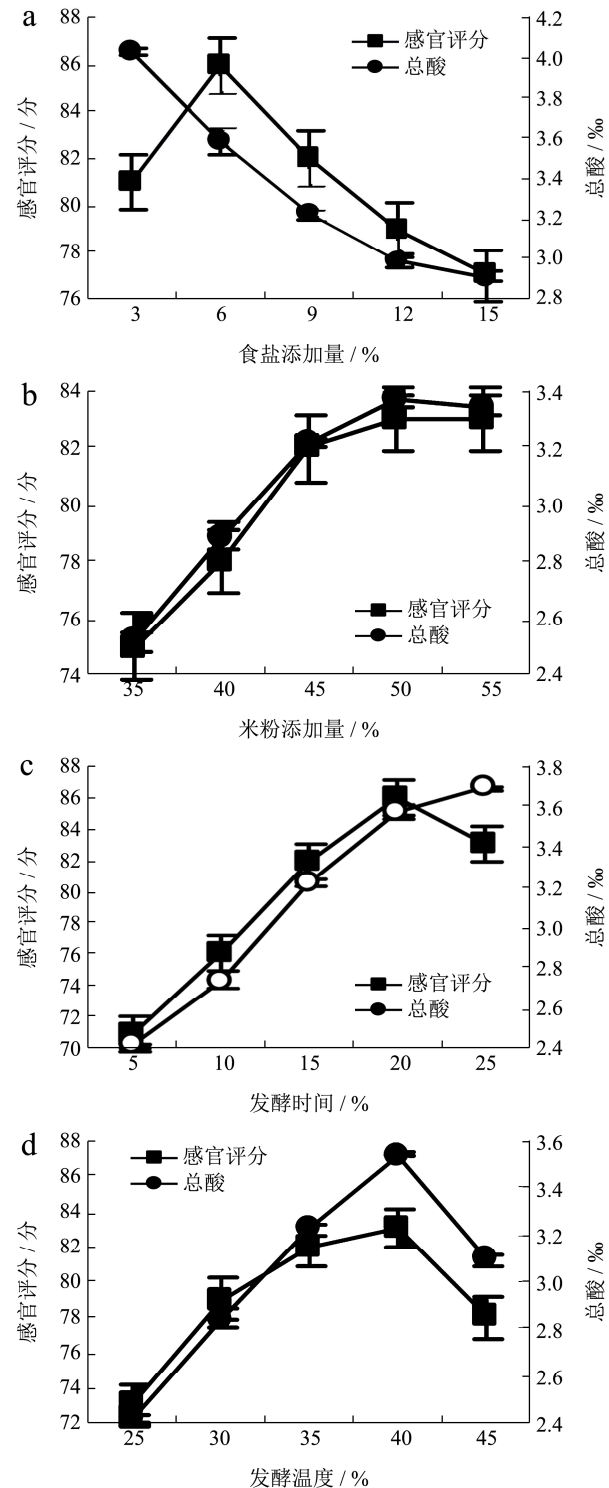


图 2 单因素实验结果

Fig.2 Single factor experimental results

表 3 响应面因素水平

Table 3 Response surface factor and level

水平	A 食盐添加量/%	B 米粉添加量/%	C 发酵温度/℃	D 发酵时间/d
-1	3	3	35	15
0	6	6	40	20
+1	9	9	45	25

由图 2 可知,感官评分与总酸两个指标在考察范围内呈正相关,为更精确优化工艺条件,进行进一步响应面优化工艺条件时采用总酸作为评价指标是可行的。因素水平表见表 3。

2.2 响应面实验优化结果

表 4 响应面设计方案及结果

Table 4 Response surface design scheme and results

序号	A	B	C	D	总酸/%
1	-1	-1	0	0	3.71±0.02
2	1	-1	0	0	3.69±0.01
3	-1	1	0	0	4.18±0.03
4	1	1	0	0	3.61±0.02
5	0	0	-1	-1	3.61±0.04
6	0	0	1	-1	3.57±0.01
7	0	0	-1	1	3.89±0.02
8	0	0	1	1	3.69±0.03
9	-1	0	0	-1	4.05±0.05
10	1	0	0	-1	3.55±0.01
11	-1	0	0	1	3.98±0.02
12	1	0	0	1	3.89±0.01
13	0	-1	-1	0	3.59±0.03
14	0	1	-1	0	3.86±0.04
15	0	-1	1	0	3.52±0.02
16	0	1	1	0	3.72±0.02
17	-1	0	-1	0	4.03±0.01
18	1	0	-1	0	3.56±0.03
19	-1	0	1	0	3.85±0.02
20	1	0	1	0	3.43±0.04
21	0	-1	0	-1	3.61±0.01
22	0	1	0	-1	3.93±0.02
23	0	-1	0	1	3.76±0.01
24	0	1	0	1	4.16±0.03
25	0	0	0	0	4.03±0.03
26	0	0	0	0	4.01±0.02
27	0	0	0	0	3.96±0.01
28	0	0	0	0	4.03±0.02
29	0	0	0	0	4.06±0.01

以食盐添加量(A)、米粉添加量(B)、发酵温度(C)、发酵时间(D)为响应面设计的四因素,Y(总酸)为响应值,用 design expert 10.0.3 设计得到的响应面设计方案及结果见表 4,由此得到的二次多元回归方程为:

$$Y \text{ 总酸} = 27.98133 + 0.34561A + 0.53267B + 0.80880C + 0.10623D - 9.16667AB - 8.3333AC + 6.8333AD - 7.00000B$$

$$C + 8.00000BD - 1.60000CD - 9.56481A^2 - 4.39333B^2 - 9.49333C^2 - 2.64333D^2$$

模型的方差分析见表 5,由表 5 可看出,模型的 P 值小于 0.0001,而失拟项的 p 值为 0.1426,大于 0.05,这表明模型是极显著的,能够有效地预测响应值,且模型的校正决定系数为 0.9249,意味着仅有 7.51%的响应值不能在模型中体现,这表明该模型具有极好的拟和性,此外,模型的离散系数为 1.54%,表明实验精确度高,操作可信。

表 5 模型的方差分析

Table 5 Analysis of variance of the model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
Model	1.23	14			<0.0001 significant
A	0.36	1	0.088	25.63	<0.0001
B	0.21	1	0.36	103.88	<0.0001
C	0.048	1	0.21	60.52	0.0022
D	0.092	1	0.048	14.00	0.0001
AB	0.076	1	0.092	26.73	0.0003
AC	0.00063	1	0.076	22.00	0.6763
AD	0.042	1	0.000625	0.18	0.0036
BC	0.00123	1	0.042	12.23	0.5601
BD	0.0016	1	0.001225	0.36	0.5062
CD	0.0064	1	0.0016	0.47	0.1939
A2	0.048	1	0.0064	1.86	0.0022
B2	0.078	1	0.048	13.98	0.0003
C2	0.37	1	0.078	22.76	<0.0001
D2	0.028	1	0.37	106.30	0.0123
残差	0.048	14	0.028	8.24	
失拟项	0.043	10	0.00344		0.1426 significant
纯误差	0.00548	4	0.00426	3.11	
总和	1.28	28	0.00137		

交互项 AB、AC、AD、BC、BD、CD 的三维响应曲面图见图 3。由图 3 可知,食盐添加量和米粉添加量交互作用对总酸的响应极显著,说明随着米粉添加量的增加食盐对微生物的抑制作用减弱,从发酵鱼品质来看,应该严格控制二者添加比例。食盐添加量和发酵温度交互作用对总酸的响应不显著,食盐添加量和发酵时间交互作用对总酸的响应较显著,米粉添加量和发酵温度交互作用对总酸的响应不显著,米粉添加量和发酵时间交互作用对总酸的响应不显著,发酵温度和发酵时间交互作用对总酸的响应不显著。

由软件分析所得最佳因素组合为食盐添加量

4.0%，米粉添加量 55.0%，发酵温度 38.9℃，发酵时间 21.8 d，此时为总酸 4.2‰。根据此条件进行验证实验，测三次总酸，取平均值，测得结果为 $(4.19 \pm 0.02)\%$ ，与预测值非常接近，对优化后的鱼进行感官评分，分数高达 92 ± 1.17 分，进一步证实了模型的可靠性。

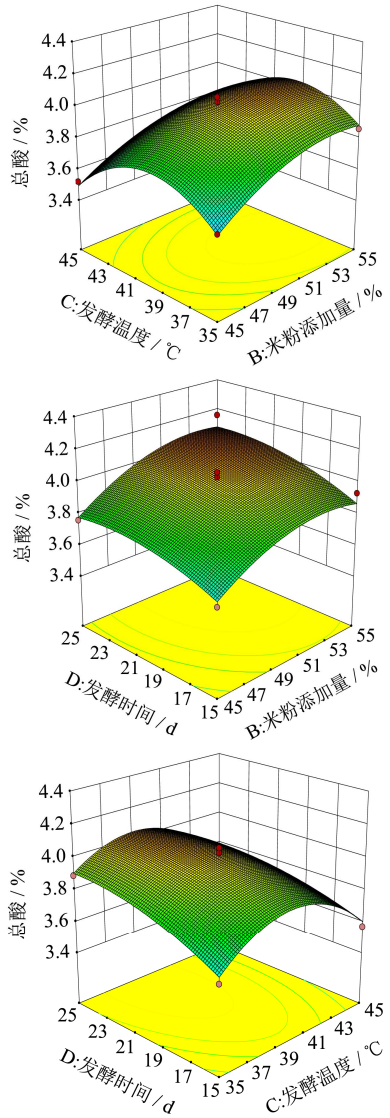
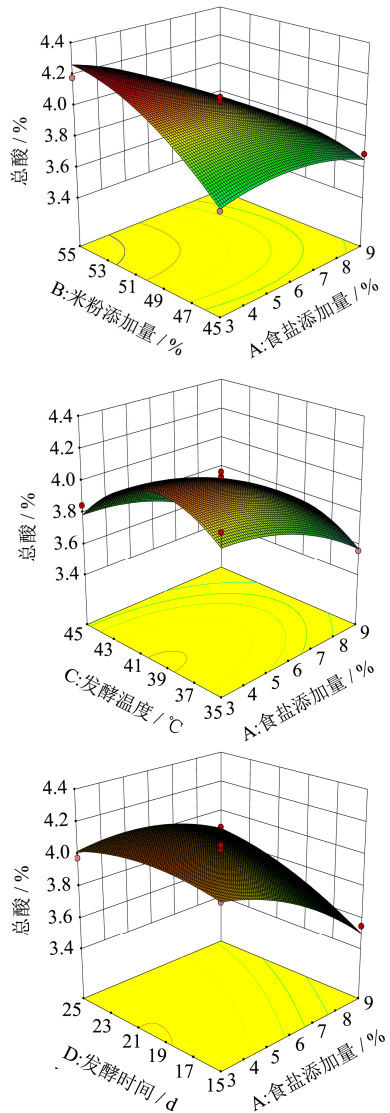


图3 交互项 AB、AC、AD、BC、BD、CD 的三维响应曲面图

Fig.3 Three-dimensional response surface diagram of interaction terms AB, AC, AD, BC, BD, CD

2.3 酸鱼发酵前后理化指标的变化

表6 酸鱼发酵前后理化指标的变化

Table 6 Changes of physicochemical indexes of suanyu before and after fermentation

项目	pH	水分含量/%	水分活度	脂肪/%	蛋白质/%
发酵前	6.84±0.03	41.73±0.09	0.948±0.01	12.14±0.20	19.43±0.05
发酵后	4.73±0.05	39.92±0.16	0.836±0.02	9.79±0.05	17.96±0.03

酸鱼发酵前后理化指标如表 6 所示，鱼发酵后的 PH 由 6.84 降低至 4.73，低于《DB312004-2012 食品安全地方标准发酵肉制品》中要求的小于 5.2，较低的 PH 值，不仅对抑制致病菌和腐败菌的生长繁殖有重要作用，还能在一定程度上改善产品的风味^[4-6]。鱼发酵后，水分含量和水分含量均有所下降，可能由于随着 PH 的降低引发了蛋白质变性，使其持水能力降低^[16]。水分活度降低至 0.836，低于《DB312004-2012

食品安全地方标准发酵肉制品》中要求的小于 0.95，有利于贮藏。鱼发酵后，脂肪含量由 12.14%降低至 9.79%，蛋白质含量由 19.43%降低至 17.96%。可能由于发酵过程中微生物的作用，脂肪和蛋白质会被分解，产生游离脂肪酸和游离氨基酸，使酸度升高，同时也形成香味物质或香味前体物质^[16]。

2.4 酸鱼发酵前后质构分析

表 7 酸鱼发酵前后质构的变化

Table 7 Changes of texture of suanyu before and after fermentation

项目	硬度/N	粘附性	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性
发酵前	24.70±0.11	0.57±0.01	1.43±0.02	5.60±0.03	7.42±0.06
发酵后	24.40±0.13	0.89±0.02	1.41±0.01	6.20±0.04	7.58±0.04

发酵前后鱼的质构变化见表 7，由表可见发酵后鱼的硬度由 27.4 N 降低至 24.4 N，相差仅 0.3 N，弹性由 1.43 mm 降低至 1.41 mm，相差仅 0.02 mm，而粘附性由 0.57 上升至 0.89，相差 0.32，胶粘性由 5.6 N 上升至 6.2 N、相差 0.6 N，咀嚼性由 7.42 上升至 7.58。根据发酵原理分析，一方面随着大分子的蛋白质和脂肪被酶分解为小分子的肽和游离氨基酸、脂肪酸等化合物，会导致鱼组织变软^[15]，但另一方面，随着发酵过程中 PH 降低至蛋白质的等电点附近时，水溶性蛋白及盐溶性蛋白会由于变性聚集，导致含量逐渐减少，而不溶性蛋白含量则逐渐增加，从而形成不溶性凝胶网络结构，使鱼的粘附性和胶粘性提高^[11]。

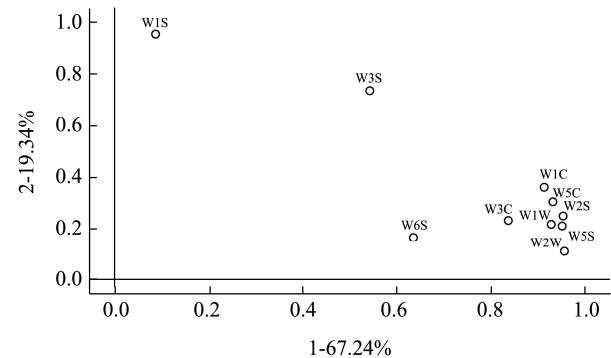


图 4 风味物质 Loadings 分析图

Fig.4 Loadings analysis diagram of flavor

由图 4 可知，发酵前后鱼的风味得到很好的区分，且发酵前的鱼离坐标原点较近，意味此时的鱼没有明显的气味，而发酵后的鱼远离坐标原点，说明鱼经过发酵，产生了丰富的风味物质，比如脂质水解产生的醛、酮和醇类化合物，蛋白质降解产生的多肽和游离氨基酸可作为挥发性成分的前体等^[17]。

2.5 酸鱼发酵前后电子鼻分析

本实验所用电子舌具有 10 个传感器。传感器响应值在 183s 后都趋于稳定，因此选取 183s 时的值进行分析。其 Loadings 分析图见图 4，PCA 分析图见图 5。

由图 5 可知，第一主成分贡献率为 67.24%，第二主成分贡献率为 19.34%，总贡献率为 86.58%，图中电子鼻的 10 个传感器离坐标原点都远，这意味着这 10 个传感器对样品中的挥发性风味物质都敏感，而 W1S 离 Y 轴最近，离 X 轴较远，说明对主成分 2 贡献率最大，W1C、W5S、W3C、W5C、W1S、W1W、

W2S、W2W 离 X 轴较近，离 Y 轴较远，且他们之间距离较近，说明他们对主成分 1 贡献率较大，并有相似的负载因子。

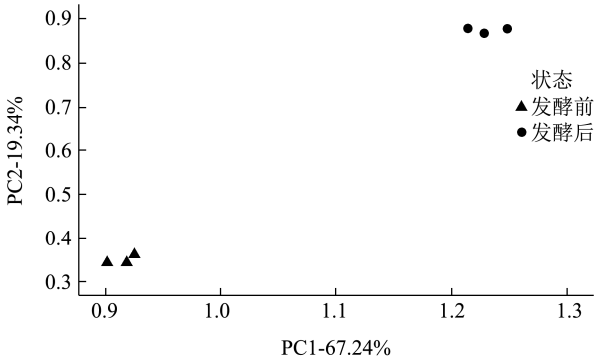


图 5 发酵前后的风味 PCA 分析图

Fig.5 PCA analysis diagram of flavor before and after fermentation

3 结论

通过单因素和响应面实验优化发酵酸鱼最佳工艺条件为：食盐添加量 4.0%、玉米粉添加量 55.0%、发酵温度 38.9℃、发酵时间 21.8 d。在此条件下，发酵金鲳鱼色泽红润，酸香可口，有明显的发酵风味，肉质紧密，总酸度预测值为 4.2%，实验测得值为 4.19%，感官评分为 92 分。鱼经过发酵后，pH 值由 6.84 降低至 4.73，水分含量由 41.73%降低至 39.92%，水分活度由 0.948 降低至 0.836，有利于鱼的贮藏。而脂肪含量由 12.14%降低至 9.79%，蛋白质含量由 19.43%降低至 17.76%。通过产品质构分析，硬度由 24.70 N 降低至 24.4 N，粘附性由 0.57 升高至 0.89，弹性由 1.43 mm 降低至 1.41 mm，胶粘性由 5.60 N 升高至 6.20 N，咀嚼性由 7.42 升高至 7.58，说明发酵后产品口感优良。经电子鼻分析可知，鱼发酵后产生了大量的香气成分，为后续研究发酵酸鱼香气形成机理奠定了基础。本实验研究结果为发酵酸鱼产业化提供理论和技术指导。

参考文献

[1] 戴梓茹,钟秋平,林美芳,等.金鲳鱼营养成分分析与评价[J].食品工业科技,2013,34(1):347-350
DAI Zi-ru, ZHONG Qiu-ping, LIN Mei-fang, et al. Nutritional component analysis and quality evaluation of golden pompano [J]. Science and Technology of Food

- Industry, 2013, 34(1): 347-350
- [2] 庞涛.金鲳鱼“三代同堂”陷销路困局,给我们带来怎样的反思[J].当代水产,2016,41(8):36-37
- PANG Tao. What kind of reflection does golden pomfret's "three generations in the same house" bring to us when it falls into the market dilemma [J]. Modern Aquatic Product, 2016, 41(8): 36-37
- [3] 朱雯娟.发酵梅香鱼微生物种群结构分析及发酵菌株筛选研究[D].湛江:广东海洋大学,2015:1-9
- ZHU Wen-juan. Research on microbial population structure analysis and fermentation strains screening of fermented meixiang fish [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2015: 1-9
- [4] ZENG Xue-feng, ZHANG Wei, ZHU Qiu-jin, et al. Effect of starter cultures on the quality of Suanyu, A Chinese traditional fermented freshwater fish [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2016, 51(8): 1774-1786
- [5] ZENG Xue-feng, CHEN Xiao-hua, ZHANG Wei, et al. Characterization of the microbial flora from suan yu, a Chinese traditional low-salt fermented fish [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2016, 40(5): 1093-1103
- [6] ZENG Xue-feng, XIA Wen-shui, JIANG Qi-xing, et al. Contribution of mixed starter cultures to flavor profile of suanyu-a traditional chinese low-salt fermented whole fish [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(5): 141-151
- [7] XU Yan-shun, XIA Wen-shui, YANG Fang, et al. Effect of fermentation temperature on the microbial and physicochemical properties of silver carp sausages inoculated with *Pediococcus pentosaceus* [J]. Food Chemistry, 2010, 118(3): 512-518
- [8] ZHAO Hong-yuan, YUN Jian-min. Isolation, identification and fermentation conditions of highly acetoin-producing acetic acid bacterium from Liangzhou fumigated vinegar in China [J]. Annal of Microbiology, 2016, 66: 279-288
- [9] Zhong Chan, Massyo N, GENG Jieting Geng, et al. Comparison of non-volatile taste-active components in fish sauce produced from lizardfish *Saurida waniensis* viscera under different conditions [J]. Fisheries Science, 2015, 81(3): 581-590
- [10] GAO Pei, WANG Wei-xin, JIANG Qi-xing, et al. Effect of autochthonous starter cultures on the volatile flavour compounds of Chinese traditional fermented fish (suanyu) [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2016, 51(7): 1630-1637
- [11] GAO Pei, JIANG Qi-xing, XU Yan-shun, et al. Esterase activities of autochthonous starter cultures to increase volatile flavor compounds in Chinese traditional fermented fish (suanyu) [J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20: 663-672
- [12] 王华娟,刘章武.酸鱼自然发酵工艺研究[J].中国酿造,2015, 34(4):165-168
- WANG Hua-juan, LIU Zhang-wu. Natural fermentation process of sour fish [J]. China Brewing, 2015, 34(4): 165-168
- [13] 杨艳鹏,余牧阳,周寒蕾,等.发酵鱼及其现代工艺研究现状[J].科技视界,2017,27:3-4
- YANG Yan-peng, YU Mu-yang, ZHOU Han-lei, et al. Research status of fermented fish and its modern technology [J]. Science and Technology Vision, 2017, 27: 3-4
- [14] 于美娟,杨慧,谭欢,等.发酵过程中鲈鱼的细菌群落动态和品质特征变化[J].食品科学, 2018,39(14):158-165
- YU Mei-juan, YANG Hui, TAN Huan, et al. Bacterial community dynamics and quality changes in zhuayu, a traditional chinese solid-state fermented fish product during fermentation [J]. Food Science, 2018, 39(14): 158-165
- [15] 王静云,卢士玲,王庆玲.发酵剂对熏马肠脂肪酶活力的影响[J].食品工业科技,2015,36(12):185-188
- WANG Jing-yun, LU Shi-ling, WANG Qing-ling. Effect of starter cultures on lipase activities of smoked horse sausages [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(12): 185-188
- [16] 韩姣姣,裘迪红,宋绍华.电子鼻检测植物乳杆菌发酵草鱼中的风味物质[J].食品科学,2012,33(10):208-211
- HAN Jiao-jiao, QIU Di-hong, SONG Shao-hua. Electronic nose detection of aroma compounds during fermentation of grass carp by *Lactobacillus plantarum* [J]. Food Science, 2012, 33(10): 208-211
- [17] Cassaburi A, Aristoy M, Cavella S, et al. Biochemical and sensory characteristics of traditional fermented sausages of Vallo di Diano (Southern Italy) as affected by the use of starter cultures [J]. Meat Science, 2007, 76(2): 295-307
- [18] Matilda A, Abiodun I, Sanni. Chemical composition and microbiological changes during spontaneous and starter culture fermentation of Enam Ne-setaakye a West African fermented fish-carbohydrate produce [J]. European Food Research and Technology, 2002, 215: 8-12
- [19] Nandhsha F, Sootawat B. Changes in antioxidant activities and physicochemical properties of Kapi, a fermented shrimp paste, during fermentation [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(10): 2463-2471

- [20] Thanyaporn K, Surapong P, Natta L, et al. Volatile components and sensory characteristics of Thai traditional fermented shrimp pastes during fermentation periods [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 53(3): 1399-1410
- [21] Ali M, Maryam H, Mohammad S. Valorization of tomato waste proteins through production of antioxidant and antibacterial hydrolysates by proteolytic *Bacillus subtilis*: Optimization of fermentation conditions [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 53(1): 391-400
- [22] 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局. 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,2016:1-4
State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National Standard of Food Safety, Determination of pH Value of Food: GB 5009.237-2016 [S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2016: 1-4
- [23] 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,2016:1-11
State Health and Family Planning Commission Of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National Standard of Food Safety, Determination of Fat in Food: GB 5009.6-2016 [S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2016: 1-11
- [24] 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局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5-2016[S].北京:中国标准出版社,2016:1-7
State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National Standard of Food Safety, Determination of Protein in Food: GB 5009.5-2016 [S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2016: 1-7
- [25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 食品中总酸的测定:GB/T 12456-2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008:1-5
State Administration of quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, State Standardization Administration Committee of China. Determination of Total Acid in Food: GB/T 12456- 2008 [S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2008: 1-5

(上接第 24 页)

- [21] 骆琦.肉制品中产芽孢菌的分离鉴定及抑菌方法研究[D]. 天津:天津科技大学,2017
LUO Qi. Study on isolation and identification of spora-forming bacteria of meat product and antimicrobial technology [D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2017
- [22] 谭丽容.黄芩苷抑制刀豆脲酶活性作用及其机理研究 [D].广州:广州中医药大学,2013
TAN Li-rong. Inhibition eddicacy of baicalin on jack bean urease. [D] Guangzhou: Guangzhou University of Chinese Medicine, 2013
- [23] Shan B E, Wang M X, Li R. Quercetin inhibit human SW480 colon cancer growth in association with inhibition of cyclin D1 and survivin expression through Wnt/ β -catenin signaling pathway [J]. *Cancer Investigation*, 2009, 27(6): 604-612
- [24] Ghalehnoei H, Ahmadzadeh A, Farzi N, et al. Relationship between ureb sequence diversity, urease activity and genotypic variations of different *Helicobacter pylori* strains in patients with gastric disorders [J]. *Polish Journal of Microbiology*, 2016, 65(2): 153-159
- [25] 庄新利.探讨中药茯苓临床应用的价值[J].智慧健康,2018, 4(5):86-87
ZHUANG Xin-li. Value of clinical application of traditional Chinese medicine *Poria cocos* [J]. *Smart Healthcare*, 2018, 4(5): 86-87
- [26] Li L I U, Chun X U, Ke L I, et al. Optimal ultrasonic extraction of pachyman from jiuzihe *Poria cocos* [J]. *Agricultural Science & Technology*, 2016, 17(12): 2746-2750
- [27] 沈思,李孚杰,梅光明,等.茯苓皮三萜类物质含量的测定及其抑菌活性的研究[J].食品科学,2009,30(1):95-98
SHEN Si, LI Fu-jie, MEI Guang-ming, et al. Study on content determination and antibacterial effects of triterpenes from sclerotia of *Poria cocos* [J]. *Food Science*, 2009, 30(1): 95-98