

# 泡椒风味暴腌鲫鱼工艺研究及成品品质分析

卢雪松<sup>1</sup>, 丁捷<sup>2\*</sup>, 刘春燕<sup>3</sup>, 肖猛<sup>2</sup>, 冯周蝶<sup>2</sup>, 陈琳<sup>2</sup>, 李杨<sup>2</sup>

(1. 四川旅游学院, 烹饪学院, 成都 610100; 2. 四川旅游学院, 食品学院, 成都 610100;  
3. 浙江海洋大学, 食品与药学学院, 舟山 316000)

**摘要:** **目的** 优化泡椒风味暴腌鲫鱼加工工艺。**方法** 以暴腌鲫鱼的发酵温度和发酵时间为关键单因素, 以感官评价、质构特性、色差分析、总酸含量等为评价指标, 综合评分为响应值, 进行响应面优化设计; 并对比发酵前后香气指纹特征变化和氨基酸含量变化。**结果** 研究表明在 37 °C 发酵 9 h 泡椒风味暴腌鲫鱼品质最佳, 鱼肉无异色、发酵香气浓郁、酸味适中、酸香可口无鱼腥味, 鱼肉的组织状态较紧密。电子鼻气味指纹分析得出暴腌鲫鱼香气物质极性化合物、有机化合物响应值明显高于未发酵鲫鱼。从鲫鱼中分析检测出 16 种氨基酸, 暴腌后氨基酸总含量和非必需氨基酸含量下降, 必需氨基酸总含量上升。**结论** 鲫鱼经过暴腌后风味物质含量增加, 必需氨基酸含量上升, 综合食用品质提高。

**关键词:** 暴腌鲫鱼; 工艺优化; 品质分析

## Study on the technology of pickled crucian carp with pickled pepper flavor and analysis of finished product quality

LU Xue-Song<sup>1</sup>, DING Jie<sup>2\*</sup>, LIU Chun-Yan<sup>3</sup>, XIAO Meng<sup>2</sup>, FENG Zhou-Die<sup>2</sup>, CHEN Lin<sup>2</sup>, LI Yang<sup>2</sup>

(1. College of Culinary, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China; 2. College of Food, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China; 3. College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China)

**ABSTRACT: Objective** To optimize the processing technology of pickled crucian carp with pickled pepper flavor. **Methods** The response surface optimization design was conducted with the fermentation temperature and fermentation time of pickled crucian carp as the key single factor, sensory evaluation, texture characteristics, color difference analysis, and total acid content as evaluation indexes, and comprehensive score as response value. The changes of aroma fingerprint characteristics and amino acid content before and after fermentation were compared. **Results** The results showed that the pickled crucian carp with pickled pepper flavor fermented for 9 h at 37 °C had the best quality. The fish flesh had no abnormal color, strong fermented aroma, moderate sour taste, delicious sour taste and no fishy smell. The tissue state of the fish flesh was relatively close. The odor fingerprint analysis of electronic nose showed that the response values of the polar compounds and organic compounds of the aroma compounds of pickled crucian carp were significantly higher than those of unfermented crucian carp. 16 kinds of amino acids were detected in carassius auratus. Total amino acid content and non-essential amino acid content

基金项目: 四川省科技厅应用基础研究计划项目(2020YJ0405)、四川旅游学院校级科研创新团队项目(18SCTUTD04)

Fund: Supported by the Sichuan Science and Technology Department Applied Basic Research Program Project (2020YJ0405), and the Sichuan Tourism Academy School-level Scientific Research and Innovation Team Project (18SCTUTD04)

\*通信作者: 丁捷, 副教授, 主要研究方向为食品加工技术与安全。E-mail: 2234128367@qq.com

\*Corresponding author: DING Jie, Associate Professor, College of Food, Sichuan Tourism University, 459 Red Ridge Road, Longquan Street, Longquan District, Chengdu 610100, China. E-mail: 2234128367@qq.com

decreased, while the total essential amino acid content increased after pickling. **Conclusion** After critical pickling, the content of flavor substances and essential amino acids increased, and the comprehensive edible quality improved.

**KEY WORDS:** pickled crucian carp; process optimization; quality analysis

## 0 引言

所谓“暴腌”,就是短时间腌制固态发酵之意,具有除腥增香改善风味<sup>[1-2]</sup>、提升营养<sup>[3]</sup>、延长贮藏期<sup>[4]</sup>等效果,在我国的珠三角一带多用于淡水鱼腌制。

鲫鱼肉质鲜美,富含动物蛋白和优质脂肪酸等营养成分,肌纤维细短、组织柔软细嫩,比畜、禽肉更易消化吸收,是膳食中的优质食物。目前关于鲫鱼的研究多为保鲜方法<sup>[5]</sup>、安全性分析<sup>[6-8]</sup>、鲫鱼养殖<sup>[9]</sup>、鲫鱼消化<sup>[10]</sup>及耐缺氧能<sup>[11]</sup>等,研究泡椒风味发酵鲫鱼产品的报道较少。

泡椒,俗称“鱼辣子”,是川菜中调味料典型代表,具有帮助肠胃消化吸收、促进食欲的功效。其风味独特且富含多酚和类胡萝卜素<sup>[12]</sup>,具有辣而不燥、辣中微酸的特点<sup>[13]</sup>,以其作配料制作出的产品酸鲜可口<sup>[14]</sup>,如泡椒风味的凤爪、豆腐干、竹笋等食品深受消费者喜爱。因此,研发泡椒风味暴腌鲫鱼符合消费习惯。本研究以发酵温度及时间为关键单因素,感官、质构、色差、总酸为评价指标,综合评分为响应值,采用响应面设计优化发酵工艺,通过电子鼻分析其香气指纹轮廓,同时对比其发酵前后氨基酸含量变化,为暴腌鲫鱼的工业化生产及应用提供一定的理论基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

鲫鱼(成都市龙泉驿区平安菜市);青稞粉(甘孜州农科所八美农村提供的康青 8 号);泡椒(云南金兴食品有限公司);芽菜(四川宜宾碎米芽菜有限公司);干辣椒面(四川省青川县川珍实业有限公司);花椒粉(江苏吉德利食品有限公司);料酒(千禾味业食品股份有限公司);食盐(重庆合川盐化工业有限公司);姜粉(云南滇鹏糖业有限公司);蒜粉(泰州春和源食品有限公司);红薯淀粉(重庆沁心食品有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

S-433D 氨基酸自动分析仪(德国 SYKAM 公司);FOX400unit 气味指纹分析仪(法国 Alpha M.O.S 公司);TMS-Pro 食物物性分析仪(美国 F.T.C 公司);NH310 电脑色差仪(深圳市三恩时科技有限公司);PHSJ-4F 型酸度计(上海博取仪器有限公司);DHG-9140 型电热恒温鼓风干燥箱(上海三发科学仪器有限公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 配 方

以鲫鱼质量为基准,青稞粉 50%、泡椒 62%、芽菜 20%、干辣椒面 6%、花椒粉 0.6%、料酒 1.3%、食盐 2%、姜粉 0.75%、蒜粉 0.5%。

#### 1.3.2 工艺流程

鱼→预处理→沥干→腌制脱水→香辛料→烘箱烘干→发酵(泡椒、芽菜、青稞粉)→油炸→成品。

#### 1.3.3 操作要点

将鲫鱼去鳞、去内脏、洗净、沥干多余水分。称取 2%的食盐均匀涂抹在鱼表面及鱼腹内,腌制 30 min 脱去水分。将烘箱预热 15 min,称取 6%干辣椒面、0.6%花椒粉、1.3%料酒、0.75%姜粉、0.5%蒜粉混合,均匀涂抹在腌制好的鲫鱼表面及鱼腹,放入预热好的烘箱(温度与发酵温度一致)中干燥 30 min。将 62%泡椒、50%青稞粉、20%芽菜混合均匀后,覆盖在干燥好的鲫鱼上,再放入恒温烘箱发酵,发酵过程中每 30 min 翻面。发酵完成后擦去鱼身上的调味料、青稞粉等,150 °C油炸后进行感官评分。

#### 1.3.4 单因素实验设计

发酵温度(33、35、37、39、41 °C)、发酵时间(6、7、8、9、10 h)。

#### 1.3.5 响应面实验设计

以泡椒风味暴腌鲫鱼的品质综合评分为响应值<sup>[15]</sup>,进行响应面优化实验设计,如表 1 所示。

表 1 响应面实验因素水平表  
Table 1 Response surface test factor level table

因素	代码	水平		
		-1	0	1
发酵温度/°C	A	33	35	37
发酵时间/h	B	8	9	10

#### 1.3.6 感官评价

参考文献方法<sup>[16]</sup>,以色泽、组织状态、气味、滋味为感官指标,选取 10 名食品专业人员对泡椒风味暴腌鲫鱼进行感官评分,满分为 100 分,评定结果取平均值。评定标准见表 2。

#### 1.3.7 质构特性测定

取鱼腹部分,剔除鱼刺,探头 CW-2,测试程序全质构分析(texture profile analysis, TPA),测试速度 60 mm/min,形变量 50%,最小感应力 0.375 N,停顿 2 s,测定硬度、咀嚼性、感官弹性。

表2 泡椒风味暴腌鲫鱼的感官评分标准

Table 2 Sensory scoring standard of pickled crucian carp with pickled pepper flavor

项目	特征描述	评分/分
色泽 (15分)	色泽均匀金黄, 无异色, 有光泽	11~15
	色泽均匀度一般金黄, 稍有暗色, 光泽度一般	6~10
	色泽不均匀金黄, 有焦色, 无光泽	0~5
组织状态 (15分)	肉质紧密	11~15
	肉质较紧密	6~10
	肉质疏松	0~5
气味 (35分)	发酵香气浓郁	26~35
	发酵香气一般	15~25
	发酵香气较淡	0~14
滋味 (35分)	酸香可口, 无异味	26~35
	酸香味一般, 有轻微异味	15~26
	酸香味淡, 稍有异味	0~14

## 1.3.8 总酸测定

总酸含量根据 GB/T 12456—2008《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》方法进行测定。

## 1.3.9 色差

参考文献方法<sup>[17]</sup>将发酵好的暴腌鲫鱼取鱼腹部分, 剔除鱼刺, 色差仪用标准白瓷板校正后, 在室温环境条件下进行测定, 测定  $a^*$ 、 $b^*$ 、 $L^*$  值, 测定 3 次取平均值。总色差  $\Delta E_{ab}$  采用公式(1)计算:

$$\Delta E_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

## 1.3.10 泡椒风味暴腌鲫鱼品质综合评分

评价项目: 色差  $Q_1$ 、总酸  $Q_2$ 、硬度  $Q_3$ 、粘附性  $Q_4$ 、弹性  $Q_5$ 、胶粘性  $Q_6$ 、咀嚼性  $Q_7$ 、感官评价  $Q_8$ 、根据参考文献<sup>[18-19]</sup>, 确定指标范围:  $Q_1=20\sim55$ ,  $Q_2=0.8\sim1.5$  g/kg,  $Q_3=15\sim50$  N,  $Q_4=0.1\sim0.5$  mJ,  $Q_5=0.5\sim1$  mm,  $Q_6=5\sim15$  N,  $Q_7=5\sim15$  mJ,  $Q_8=70\sim80$  分, 根据线性模型计算各项目隶属:

$$P(Q_1) = \begin{cases} 1(Q_1 \geq 55) \\ \frac{Q_1 - 20}{55 - 20} (20 < Q_1 < 55) \\ 0(Q_1 \leq 20) \end{cases} \quad P(Q_2) = \begin{cases} 1(Q_2 \geq 1.5) \\ \frac{Q_2 - 0.8}{1.5 - 0.8} (0.8 < Q_2 < 1.5) \\ 0(Q_2 \leq 0.8) \end{cases}$$

$$P(Q_3) = \begin{cases} 1(Q_3 \geq 50) \\ \frac{Q_3 - 15}{50 - 15} (15 < Q_3 < 50) \\ 0(Q_3 \leq 15) \end{cases} \quad P(Q_4) = \begin{cases} 1(Q_4 \geq 0.5) \\ \frac{Q_4 - 0.1}{0.5 - 0.1} (0.1 < Q_4 < 0.5) \\ 0(Q_4 \leq 0.1) \end{cases}$$

$$P(Q_5) = \begin{cases} 1(Q_5 \geq 1) \\ \frac{Q_5 - 0.5}{1 - 0.5} (0.5 < Q_5 < 1) \\ 0(Q_5 \leq 0.5) \end{cases} \quad P(Q_6) = \begin{cases} 1(Q_6 \geq 15) \\ \frac{Q_6 - 5}{15 - 5} (5 < Q_6 < 15) \\ 0(Q_6 \leq 5) \end{cases}$$

$$P(Q_7) = \begin{cases} 1(Q_7 \geq 15) \\ \frac{Q_7 - 5}{15 - 5} (5 < Q_7 < 15) \\ 0(Q_7 \leq 5) \end{cases} \quad P(Q_8) = \begin{cases} 1(Q_8 \geq 80) \\ \frac{Q_8 - 70}{80 - 70} (70 < Q_8 < 80) \\ 0(Q_8 \leq 70) \end{cases}$$

根据前期研究和参考文献方法<sup>[20]</sup>, 品质综合评分为:

$$W = P(Q_1) \times a_1 + P(Q_2) \times a_2 + P(Q_3) \times a_3 + P(Q_4) \times a_4 + P(Q_5) \times a_5 + P(Q_6) \times a_6 + P(Q_7) \times a_7 + P(Q_8) \times a_8$$

式中:  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$ 、 $a_6$ 、 $a_7$ 、 $a_8$  为各评价指标权重, 分别为 0.1、0.15、0.1、0.1、0.15、0.1、0.1 和 0.2。

## 1.4 数据处理

采用 SPSS 22.0 和 Excel 进行统计分析, 采用 Design expert 8.0.6 软件进行响应面设计, 所有指标测定 3 次取平均值。

## 2 结果与分析

## 2.1 发酵时间对泡椒风味暴腌鲫鱼品质的影响

由表 3 可看出, 随着发酵时间的延长, 总酸总体呈增长趋势; 硬度、胶粘性和咀嚼性呈减小趋势; 弹性先增后降在 8 h 达到最大值为 1.47 mm; 感官评分和综合评分随着发酵时间的延长逐渐增大, 在 9 h 达到最大值 82.0 分和 0.60。综上所述, 当发酵时间为 9 h 时泡椒风味暴腌鲫鱼的品质较好。

表3 发酵时间对泡椒风味暴腌鲫鱼品质的影响

Table 3 Effects of fermentation time on quality of pickled crucian carp

品质指标	发酵时间/h				
	6	7	8	9	10
$\Delta E_{ab}$	5.25±0.59 <sup>d</sup>	27.76±0.19 <sup>c</sup>	31.05±0.01 <sup>a</sup>	31.24±0.10 <sup>a</sup>	29.96±0.46 <sup>b</sup>
总酸/(g/kg)	1.17±0.03 <sup>b</sup>	1.25±0.05 <sup>b</sup>	1.17±0.03 <sup>b</sup>	1.25±0.05 <sup>b</sup>	1.47±0.76 <sup>a</sup>
硬度/N	79.86±10.7 <sup>a</sup>	60.18±7.39 <sup>ab</sup>	59.16±5.57 <sup>ab</sup>	65.01±11.06 <sup>ab</sup>	55.46±6.09 <sup>b</sup>
粘附性/mJ	0.34±0.02 <sup>ab</sup>	0.58±0.25 <sup>a</sup>	0.51±0.48 <sup>ab</sup>	0.21±0.88 <sup>b</sup>	0.35±0.14 <sup>ab</sup>
弹性/mm	1.06±0.12 <sup>b</sup>	1.38±0.08 <sup>a</sup>	1.47±0.13 <sup>a</sup>	1.25±0.11 <sup>ab</sup>	1.12±0.02 <sup>b</sup>
胶粘性/N	34.93±2.18 <sup>a</sup>	25.38±9.65 <sup>a</sup>	24.12±4.58 <sup>a</sup>	28.94±4.33 <sup>a</sup>	12.43±1.60 <sup>b</sup>
咀嚼性/mJ	37.27±5.97 <sup>a</sup>	36.04±3.70 <sup>a</sup>	27.98±11.66 <sup>ab</sup>	17.1±4.43 <sup>b</sup>	18.33±6.10 <sup>b</sup>
感官评分/分	73.5±5.60 <sup>c</sup>	75.4±5.27 <sup>bc</sup>	78.9±4.58 <sup>ab</sup>	82.0±4.90 <sup>a</sup>	79.4±3.81 <sup>ab</sup>
综合评分	0.40±0.06 <sup>b</sup>	0.43±0.10 <sup>b</sup>	0.44±0.01 <sup>b</sup>	0.60±0.02 <sup>a</sup>	0.44±0.06 <sup>b</sup>

注: 同行小写字母不同, 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

## 2.2 发酵温度对泡椒风味暴腌鲫鱼品质的影响

由表 4 可知, 随发酵温度的升高, 弹性、胶粘性 and 咀嚼性先增加后降低, 均在 35 °C 达到最大值 1.18 mm、33.42 N 和 42.67 mJ; 总酸和硬度分别在 37 °C 和 39 °C 达到最大

值 1.23 g/kg 和 64.64 N。感官评分、综合评分呈先显著增加后显著下降趋势( $P < 0.05$ ), 在 35 °C 达到最大值为 79.6 分和 0.49。综上所述, 当发酵温度为 35 °C 时泡椒风味暴腌鲫鱼的品质最佳。

表 4 发酵温度对泡椒风味暴腌鲫鱼品质的影响  
Table 4 Effects of fermentation temperature on quality of pickled crucian carp

品质指标	发酵温度/°C				
	33	35	37	39	41
$\Delta E_{ab}$	54.50±0.11 <sup>a</sup>	49.81±0.09 <sup>b</sup>	20.09±0.02 <sup>c</sup>	20.16±0.10 <sup>c</sup>	20.09±0.05 <sup>c</sup>
总酸/(g/kg)	1.03±0.03 <sup>b</sup>	1.08±0.08 <sup>ab</sup>	1.23±0.07 <sup>a</sup>	1.20±0.02 <sup>ab</sup>	1.03±0.11 <sup>b</sup>
硬度/N	62.68±8.11 <sup>ab</sup>	57.14±16.15 <sup>ab</sup>	63.53±2.04 <sup>ab</sup>	64.64±18.04 <sup>a</sup>	47.37±12.48 <sup>b</sup>
粘附性/mJ	0.42±0.41 <sup>ab</sup>	0.41±0.16 <sup>ab</sup>	0.28±0.03 <sup>b</sup>	0.38±0.14 <sup>ab</sup>	0.57±0.11 <sup>a</sup>
弹性/mm	1.12±0.12 <sup>a</sup>	1.18±0.07 <sup>a</sup>	0.95±0.06 <sup>ab</sup>	0.97±0.01 <sup>ab</sup>	0.96±0.15 <sup>b</sup>
胶粘性/N	21.85±4.30 <sup>b</sup>	33.42±6.81 <sup>a</sup>	20.41±4.73 <sup>b</sup>	15.73±6.51 <sup>b</sup>	15.07±3.69 <sup>b</sup>
咀嚼性/mJ	24.84±7.35 <sup>b</sup>	42.67±9.09 <sup>a</sup>	22.99±2.30 <sup>b</sup>	21.8±2.90 <sup>b</sup>	15.62±3.96 <sup>b</sup>
感官评分/分	69.7±6.83 <sup>c</sup>	79.6±5.78 <sup>b</sup>	77.6±7.93 <sup>ab</sup>	76.4±2.41 <sup>a</sup>	76.3±5.21 <sup>ab</sup>
综合评分	0.36±0.06 <sup>b</sup>	0.49±0.05 <sup>a</sup>	0.41±0.06 <sup>ab</sup>	0.44±0.01 <sup>ab</sup>	0.22±0.05 <sup>c</sup>

## 2.3 响应面实验设计与结果

在本研究中, 以发酵温度、发酵时间作为自变量, 以综合评分作为响应值进行实验, 建立的两因素三水平设计, 共包含 13 组实验点, 实验设计结果如表 5 所示。

表 5 响应面设计与结果  
Table 5 Response surface design and results

实验号	A	B	综合评分/分
1	1	0	0.71
2	0	0	0.82
3	1	1	0.51
4	1	-1	0.60
5	-1	-1	0.53
6	-1	1	0.65
7	0	0	0.82
8	0	0	0.82
9	0	1	0.62
10	0	-1	0.61
11	0	0	0.84
12	0	0	0.83
13	-1	0	0.74

## 2.4 综合品质评分方差分析

将表 6 的数据进行二次多元回归拟合分析, 所建立的二次多元回归方程如下:  $R = 0.82 + 5.533E - 003A - 0.020B - 0.053AB - 0.18A^2 - 0.071B^2$ , 模型  $P < 0.0001$  (极显著), 且失拟项不显著 ( $P = 0.0525 > 0.05$ ), 则此模型的拟合性不错,  $R^2 = 0.9830$ ,  $R^2_{adj} = 0.9709$ , 说明该模型可以解释 97.09% 的响应值数据, 变异系数 (coefficient of variation, CV)  $CV = 2.95\% < 15\%$ , 说明该模型具有较好的重现性, 可用于泡椒风味暴腌鲫鱼的加工工艺优化。

从图 1 可知, 泡椒风味暴腌鲫鱼的最佳工艺条件是干燥时间 8.84 h、发酵温度 37.08 °C, 此时泡椒风味暴腌鲫鱼的成品综合评分最大, 为 0.8193 分, 为方便泡椒风味暴腌鲫鱼的生产加工操作, 调整工艺为发酵时间 9 h、发酵温度 37 °C。为保证实验结果准确性, 进行 5 次验证实验, 实验结果如下: 综合评分为 (0.82±0.01) 分, 接近模型的预测值, 相对误差较小。

## 2.5 成品泡椒风味暴腌鲫鱼品质分析

感官: 鱼肉色泽暗淡、无异色、发酵香气浓郁、酸味适中、无鱼腥味; 其滋味酸香可口; 鱼肉的组织状态较紧密; 感官评价得分在 84~86 分。

理化: 亚硝酸盐含量 ≤ 30 mg/kg, 符合国家食品安全标准; 总酸含量为 1.25~1.4 g/kg, 酸度适中; 硬度为 60~70 N、粘附性为 0.2~0.3 mJ、弹性为 0.8~1.1 mm、胶粘性为 30~35 N、咀嚼性为 30~35 mJ, 样品口感较好。

表 6 综合品质评分的方差分析  
Table 6 Variance analysis of comprehensive quality score

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	0.11	5	0.034	81.11	<0.0001	**
A	1.837E-004	1	1.837E-004	0.43	0.5318	
B	2.517E-003	1	2.517E-003	5.93	0.0451	*
AB	0.011	1	0.011	26.01	0.0014	*
A <sup>2</sup>	0.094	1	0.094	221.40	<0.0001	**
B <sup>2</sup>	0.014	1	0.014	32.74	0.0007	**
残差	2.973E-003	7	4.247E-004			
失拟项	2.460E-003	3	8.200E-004	6.40	0.0525	
净误差	5.128E-004	4	1.282E-004			
总离差	0.18	12				

$R^2=0.9830$   
 $R^2_{adj}=0.9709$   
 $CV/\%=2.95\%$

注: \*\*当  $P<0.01$  时极显著, \*当  $0.01<P<0.05$  时显著。

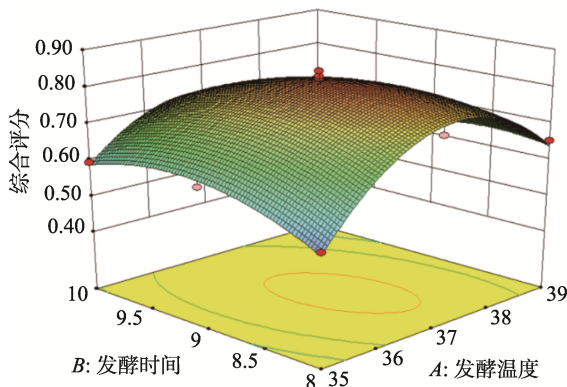


图 1 发酵时间与发酵温度对泡椒风味暴腌鲫鱼综合得分的响应面分析

Fig.1 Response surface analysis of fermentation time and temperature on the comprehensive score of pickled crucian carp with pepper flavor

## 2.6 暴腌鱼发酵前后电子鼻香气指纹分析

由图 2 可知, 暴腌前后鲫鱼风味差异主要在 PA/2、P30/1、P40/2、P30/2、T30/1、P10/1、P10/2、P40/1、T70/2、T40/2、T40/1、TA/2 12 根传感器上, 暴腌后响应强度均明显高于新鲜鱼样品。其中 PA/2 和 T30/1 对极性化合物如乙醛、丙醇等较敏感, P30/1 对乙醇等物质敏感。结合感官分析, 发酵后样品的鱼腥味降低的同时增加了发酵的香气和香料香气, 以上说明发酵后的暴腌鱼成品香气物质更丰富。

## 2.7 暴腌鱼发酵前后氨基酸成分变化分析

由表 7 可知, 暴腌鲫鱼共检测出 16 种氨基酸, 其总

量(total amino acid, TAA)为 8.88 g/100 g, 比新鲜鲫鱼低 1.23 g/100 g; 其中检出暴腌鲫鱼的必需氨基酸(essential amino acid, EAA)含量为 0.94 g/100 g, 相较于新鲜鲫鱼高出 0.41 g/100 g。暴腌鲫鱼的 EAA/非必需氨基酸(non-essential amino acid, NEAA)值为 11.84%, EAA/TAA 值为 10.58%, 均高于新鲜鲫鱼。暴腌鱼的氨基酸总含量相较于新鲜鲫鱼有所减少, 其中 5 种必需氨基酸含量均有所增加, 余下的均为非必需氨基酸, 其总含量明显减少, 可能归因于微生物的利用, 也可能是由于风味化合物的形成。而 GORDOBA 等<sup>[21]</sup>发现精氨酸、天冬氨酸的含量在火腿加工后期会有所降低, 主要原因是这些氨基酸具有还原能力, 因特殊结构而易发生美拉德反应, 所以含量会减少。

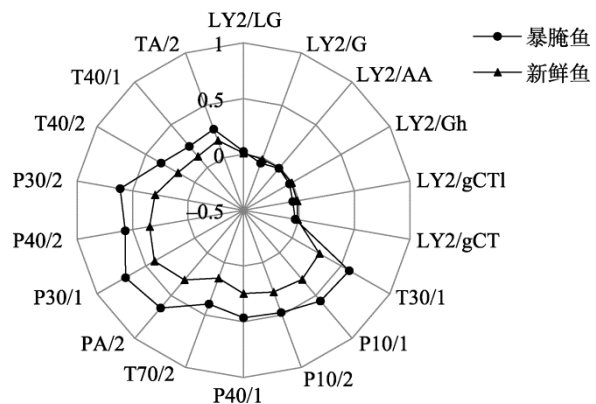


图 2 暴腌鱼发酵前后的电子鼻雷达图  
Fig 2 Electronic nose radar chart before and after fermentation of salted fish

氨基酸含量产生变化的主要途径为微生物蛋白酶以及自身的降解作用, 可将大分子蛋白质降解成多肽分子及一类含氨基和羧基的有机物, 再通过进一步降解; 由于参与生成小分子含氮化合物及风味化合物的形成, 因此氨基酸含量降低。由于食盐的添加, 鱼体内的一部分氨基酸物质可能经渗透作用, 迁移进入发酵液中, 因此使得暴腌鲫鱼氨基酸含量减少。如糟制带鱼的过程中, 由于渗透迁移作用, 氨基氮含量下降了 28.46%<sup>[22]</sup>。

由于酶降解和渗透作用相结合, 在暴腌鲫鱼的发酵过程中, 氨基酸的总含量及非必需氨基酸的总含量减少。在暴腌鲫鱼整个发酵过程中, 部分粗蛋白水解, 必需氨基酸总含量增加, 这对蛋白质品质有一定的提高和改善, 同时苏氨酸、甘氨酸呈现甜味, 异亮氨酸、酪氨酸呈现一定的苦味, 谷氨酸呈现鲜味, 对丰富暴腌鲫鱼滋味有一定作用。

表 7 暴腌鱼的氨基酸成分分析

Table 7 Analysis of amino acid composition of pickled fish

序号	氨基酸种类 (g/100g)	新鲜鲫鱼 (g/100g)	暴腌鲫鱼 (g/100g)
1	牛磺酸	2.07	1.47
2	天冬氨酸*	0.89	0.37
3	羟脯氨酸	0.14	0.18
4	苏氨酸#	0.19	0.27
5	丝氨酸	0.23	0.38
6	天冬酰胺	0.11	0.15
7	谷氨酸*	0.16	0.07
8	脯氨酸	1.06	1.21
9	甘氨酸*	1.11	1.24
10	$\gamma$ -氨基丁酸	0.1	0.2
11	蛋氨酸#	0.1	0.15
12	异亮氨酸#	0.18	0.28
13	酪氨酸#*	0.06	0.11
14	组氨酸#	0	0.13
15	1-甲基组氨酸	2.09	1.43
16	精氨酸	1.62	1.24
	EAA	0.53	0.94
	NEAA	9.58	7.94
	EAA/NEAA/%	5.53	11.84
	EAA/TAA/%	5.24	10.58
	TAA	10.11	8.88

注: #必需氨基酸; \*呈味氨基酸。

### 3 结 论

本研究为优化泡椒风味暴腌鲫鱼加工工艺, 以发酵温度、发酵时间为关键因素, 以感官、质构、总酸为评价指标, 综合评分为响应值进行响应面优化设计, 并进行香气指纹和氨基酸含量变化分析。最佳发酵工艺为 37 °C 发酵 9 h; 电子鼻气味指纹分析暴腌前后鲫鱼风味差异主要在 PA/2、P30/1、P40/2、P30/2、T30/1、P10/1、P10/2、P40/1、T70/2、T40/2、T40/1、TA/2 12 根传感器上; 暴腌鲫鱼共检测出 16 种氨基酸, 其 TAA 为 8.88 g/100 g, 比新鲜鲫鱼低 1.23 g/100 g; 其中检出暴腌鲫鱼的 EAA 含量为 0.94 g/100 g, 相较于新鲜鲫鱼高出 0.41 g/100 g, 必需氨基酸总含量上升。研究结果可为泡椒风味暴腌鲫鱼的进一步生产加工提供一定的理论基础。

### 参考文献

- [1] 廖锡祥. 南粤“暴腌鱼”[J]. 美食, 2005, (1): 21–23.  
LIAO XX. Guangdong "you ceviche" [J]. Food, 2005, (1): 21–23.
- [2] 张大为, 张洁, 田永航. 发酵酸鱼工艺条件的优化及品质分析[J]. 现代食品科技, 2019, 35(10): 139–147.  
ZHANG DW, ZHANG J, TIAN YH. Process optimization of the conditions and quality of fermented fish [J]. Mod Food Sci Technol, 2019, 35(10): 139–147.
- [3] 张大为, 张洁, 田永航. 发酵金鲳鱼糜制品工艺条件的优化及发酵过程中品质变化分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(9): 211–218, 244.  
ZHANG DW, ZHANG J, TIAN YH. Fermentation optimization of technological conditions of gold pomfret surimi products and analysis of quality change in the fermentation process [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(9): 211–218, 244.
- [4] 胡锦鹏, 吴曼铃, 时瑞, 等. 乳酸菌在发酵鱼制品加工中的应用研究概述[J]. 食品与发酵工业, 2020, (9): 285–289.  
HU JP, WU ML, SHI R, et al. Application of lactic acid bacteria in fermented fish products processing research overview [J]. Food Ferment Ind, 2020, (9): 285–289.
- [5] 李铁纯, 侯冬岩, 回瑞华, 等. 鲫鱼不同部位脂肪酸的比较分析[J]. 鞍山师范学院学报, 2019, 21(2): 41–45.  
LI TC, HOU DY, HUI RH, et al. Comparative analysis of fatty acids in different parts of [J]. Anshan Norm Univ J, 2019, 21(2): 41–45.
- [6] LUO SW, XIONG NX, LUO ZY, et al. A novel NK-lysin in hybrid crucian carp can exhibit cytotoxic activity in fish cells and confer protection against *Aeromonas hydrophila* infection in comparison with *Carassius cuvieri* and *Carassius auratus* red var [J]. Fish Shellfish Immunol, 2021, 116(5): 1–11.
- [7] LU Q, NA Y, GANG H, et al. Determination of pendimethalin dynamic residual distribution in crucian carp tissues and associated risk assessment [J]. Int J Anal Chem, 2021, 2021(8): 323–331.
- [8] HAKAN O, NINEL S, JENNIFER B, et al. Chemical foraging stimulation in the omnivorous species crucian carp, *Carassius carassius* (Linnaeus 1758) [J]. Aquacult Rep, 2018, 12(7): 36–42.
- [9] ZHOU XY, LI Y, LI HP, et al. Responses in the crucian carp (*Carassius auratus*) exposed to environmentally relevant concentration of

- 17 $\alpha$ -ethinylestradiol based on metabolomics [J]. *Ecotox Environ Saf*, 2019, 183(5): 1–8.
- [10] ZHANG J, DU HY, ZHANG GN, *et al.* Identification and characterization of novel antioxidant peptides from crucian carp (*Carassius auratus*) cooking juice released in simulated gastrointestinal digestion by UPLC-MS/MS and in silico analysis [J]. *J Chromatogr B*, 2020, 1136(12): 21–32.
- [11] PANG X, PU DY, XIA DY, *et al.* Individual variation in metabolic rate, locomotion capacity and hypoxia tolerance and their relationships in juveniles of three freshwater fish species [J]. *J Comp Physiol B*, 2021, 147(4): 1–10.
- [12] HALLMANN E, MARSZALEK K, LIPOWSKI J, *et al.* Polyphenols and carotenoids in pickled bell pepper from organic and conventional production [J]. *Food Chem*, 2019, 278(25): 245–260.
- [13] 田光娟, 李喜宏, 韩聪聪, 等. 不同贮藏温度下鲫鱼鱼片品质变化研究 [J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(10): 177–181.  
TIAN GJ, LI XH, HAN CC, *et al.* Fish study on quality change of *Carassius auratus* in different storage temperature [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(10): 177–181.
- [14] YE ZL, SHANG ZX, LI MQ, *et al.* Evaluation of the physiochemical and aromatic qualities of pickled Chinese pepper (Paojiao) and their influence on consumer acceptability by using targeted and untargeted multivariate approaches [J]. *Food Res Int*, 2020, 137(8): 1–11.
- [15] 彭毅秦, 丁捷, 舒小芳, 等. 川西藏区自然发酵牦牛酸酩肉工艺标准化及品质特性 [J]. *肉类研究*, 2018, 32(7): 29–36.  
PENG YQ, DING J, SHU XF, *et al.* Tibetan area of Sichuan natural fermentation acid of yak meat technology standardization and quality characteristics [J]. *Meat Res*, 2018, 32(7): 29–36.
- [16] MARTI QFJ, PRINCEP A, TORNOS A, *et al.* Isolation, identification and investigation of fermentative bacteria from sea bass (*Dicentrarchus labrax*): Evaluation of antifungal activity of fermented fish meat and by-products broths [J]. *Foods*, 2020, 9(5): 1–15.
- [17] LI M, YU H, XIE Y, *et al.* Effects of double layer membrane loading eugenol on postharvest quality of cucumber [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2021, 145(12): 32–40.
- [18] 任政伟, 彭毅秦, 丁捷, 等. 响应面法优化泡椒猪肝超声波腌制液配方 [J]. *美食研究*, 2018, 35(1): 28–33.  
REN ZW, PENG YQ, DING J, *et al.* Response surface method for optimizing pickled peppers pickled liver ultrasonic liquid formula [J]. *Food Res*, 2018, 35(1): 28–33.
- [19] AKONOR PT, ATTER A, OWUSU M, *et al.* Anchovy powder enrichment in brown rice-based instant cereal: A process optimization study using response surface methodology (RSM) [J]. *Food Sci Nutr*, 2021, 9(8): 149–155.
- [20] 胡欣洁, 赵雪梅, 丁捷, 等. 基于模糊综合评价法优化挤压型速冻青稞鱼面关键工艺 [J]. *食品与机械*, 2017, 33(4): 164–170, 194.  
HU XJ, ZHAO XM, DING J, *et al.* Based on fuzzy comprehensive evaluation method for optimization of extrusion type highland barley in frozen fish noodles key [J]. *Food Mach*, 2017, 33(4): 164–170, 194.
- [21] CORDOBA JJ, ANTEQUERA T, GARCIA C, *et al.* Evolution of free amino acids and amines during ripening of Iberian cured ham [J]. *J Agric Food Chem*, 1994, 42(10): 296–230.
- [22] 陈学云. 糟制带鱼加工期间理化性质变化及其优势微生物分离鉴定 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2010.  
CHEN XY. During the bad fish processing changes of physical and chemical properties and advantages of microbial isolation and identification of [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2010.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

## 作者简介



卢雪松, 副研究员, 主要研究方向为烹饪食品加工与安全。  
E-mail: 123948958@qq.com



丁捷, 副教授, 主要研究方向为食品加工技术与安全。  
E-mail: 2234128367@qq.com