

气膨化法涨发鱼肚的工艺参数优化

朱云龙^{1,2*}, 刘莹莹¹, 胡 舰¹, 胡 燕¹

(1. 扬州大学旅游烹饪学院, 扬州 225127; 2. 烹饪与营养江苏省文化和旅游重点实验室, 南京 211100)

摘要: **目的** 优化气膨化法涨发鱼肚的工艺参数。**方法** 以干制鱼肚为原料, 通过单因素试验和正交试验对鱼肚气膨化涨发进行研究, 并对其主要营养成分、复水性和理化指标进行测定。**结果** 得出使鱼肚气膨化效果最佳的工艺条件为: 上火 90 °C、下火 100 °C初烤 30 min 后, 再上火 225 °C、下火 230 °C烤 2.0 min。各因素对鱼肚气膨化涨发效果的影响程度依次为: 第 2 阶段烤制温度、第 1 阶段烤制温度、第 1 阶段烤制时间、第 2 阶段烤制时间。气膨化鱼肚最佳的复水条件为: 15°C 的水温复水 35 min。复水后的鱼肚外形均匀完整, 香味浓厚, 无白点, 弹性好。测定鱼肚经不同膨化方法处理后的主要营养成分含量, 得到气膨化鱼肚的粗蛋白含量为 75.94%, 粗脂肪含量为 0.53%, 灰分含量为 0.23%。**结论** 气膨化法操作简单便捷, 且效果比传统涨发方式更有优势, 鱼肚的感官品质更优, 营养价值更高。

关键词: 鱼肚; 气膨化法; 工艺参数; 正交试验; 复水条件

Optimization of technological parameters of expanding the fish maw by gas puffing method

ZHU Yun-Long^{1,2*}, LIU Ying-Ying¹, HU Jian¹, HU Yan¹

(1. School of Tourism and Cuisine, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China; 2. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Culture and Tourism for Cooking and Nutrition, Nanjing 211100, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the technological parameters of expanding the fish maw by gas puffing method. **Methods** Using dried fish maw as raw materials, the method of gas puffing of fish maw was studied by single factor experiment and orthogonal experiment, and its main nutritional components, rehydration and physical and chemical indexes were detected. **Results** The optimal process conditions of fish maw by gas puffing were as follows: First roasting at upper heat 90°C and lower heat 100°C for 30 min, then roasting at upper heat 225°C and lower heat 230°C for 2.0 min. The influence degree of each factor on the effects of fish maw by gas puffing was as follows: The baking temperature in the second stage, the baking temperature in the first stage, the baking time in the first stage and second stage. The best rehydration conditions of fish maw by gas puffing were as follows: Rehydration at 15°C for 35 min. The rehydrated fish maw was uniform and complete in appearance, strong in flavor, free of white spots and good in elasticity. The main nutritional content of the fish maw after different puffing methods was measured, and the content of crude protein of the gas-puffed fish maw, crude fat and gray was 75.94%, 0.53% and 0.23%, respectively. **Conclusion** The method of gas puffing is simple and convenient to operate, and its effect is more advantageous than that of the method of traditional expansion. The sensory quality of fish maw is better and the

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC1300200)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2016YFC1300200)

*通信作者: 朱云龙, 教授, 主要研究方向为中国烹饪工艺、食品科学。E-mail: 498051574@qq.com

*Corresponding author: ZHU Yun-Long, Professor, School of Tourism and Cuisine, Yangzhou University, No.196 Huayang West Road, Hanjiang District, Yangzhou 225127, China. E-mail: 498051574@qq.com

nutritional value is higher.

KEY WORDS: fish maw; gas puffing method; technological parameter; orthogonal experiment; rehydration condition

0 引言

鱼肚又名鱼鳔, 经过处理后干燥而成, 是我国四大海洋珍品之一^[1]。营养价值高, 蛋白质含量丰富, 脂肪含量较低^[2-4]。其富含甘氨酸、谷氨酸、丙氨酸、脯氨酸、精氨酸和羟脯氨酸等氨基酸^[5], 其中甘氨酸和谷氨酸可以调节血糖平衡, 降糖功效较好^[6]; 精氨酸可治疗男性不育^[7-8]、降低心血管疾病的发生风险^[9]; 羟脯氨酸凝胶有助于促进破损组织的胶原蛋白沉积^[10]。此外, 还含有 Ca、P、Te 等微量元素以及多种有益于人体健康的维生素^[11]。鱼肚不仅是补肾益精、滋阴养血的上等补品, 还是餐桌上不可多得的美味佳肴^[12-13], 如怀凤鱼肚、蟹黄鱼肚、芙蓉鱼肚、白汁鱼肚等。其多用于家庭和商务餐饮场合, 有时也作为馈赠亲友的礼物^[14]。

鱼肚在食用前需进行涨发, 一般采用油发、水发、盐发等涨发方法^[15]。采用水发时, 所需时间较长, 且涨发率较低; 盐发时严重破坏了干货原料的组织结构, 对其形态和色泽影响较大^[16]。经试验研究, 以油发效果最为理想^[17], 所以人们在日常生活中也多使用油发, 且油发后的鱼肚风味更为独特。但油发时的温度和技巧难以掌握, 操作较为复杂。气膨化涨发是指利用密闭的电热设备, 以热空气作为传热介质, 促使原料中的水分汽化膨胀, 胶原蛋白变性形成气室, 进而使原料膨松酥脆的一种方法。相比之下, 气膨化涨发方法更为健康, 且操作简单、节省成本^[18]。

当前, 对于干货原料的气膨化涨发研究还存在许多缺陷。如闵二虎等^[19]对气膨化羊蹄筋进行研究的试验设计较简单, 质量变化不直观; 马京洁等^[20]对影响猪肉皮气膨化涨发的关键工艺因素进行研究时, 虽优化了试验方法, 但仅以感官品质作为依据, 数据指标单一; 张瑜等^[21]对气膨化牛蹄筋进行研究时, 增加了数据指标, 却未对其营养成分进行测定分析, 分析不全面。且目前气膨化涨发方法多用于蹄筋类干货原料研究, 而鲜见其用于水产类干货原料^[22]。基于此, 本研究利用气膨化涨发方法, 通过单因素试验和正交试验优化鱼肚涨发的工艺参数, 确认影响其气膨化的关键因素, 并对它的营养成分及理化指标进行测定分析, 突出气膨化涨发的工艺优势, 为鱼肚的气膨化涨发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

干鱼肚(公鳌肚)购自广州市合胜海味有限公司。

硫酸铜(分析纯, 天津风船化学试剂科技有限公司); 硫酸钾(分析纯, 上海青析化工科技有限公司); 硼酸、硫酸(分析纯, 中国恒利试剂厂); 氢氧化钠(分析纯, 天津市北方天医化学试剂); 无水乙醇(分析纯, 西安天茂化工有限公司)。

1.2 仪器设备

HYP-II 型消化炉(上海纤检仪器有限公司); SZF-06A 型脂肪测定仪(上海新嘉电子有限公司); SRJX6-13 型马弗炉(上海雷韵试验仪器制造有限公司); SM-503+3S 型电烤箱(深圳盛德信科技有限公司); DHG-9148A 电热恒温鼓风干燥箱(杭州奥科环境试验设备有限公司); JT-60 型干货水分测定仪(泰州市精泰仪器仪表有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

选料→清洗→干燥→膨化。

1.3.2 操作要点

选料: 选取外形平坦完整、色泽均匀透亮、质地洁净的干鱼肚。

清洗: 将干鱼肚放入温水中, 清洗干净表面的油污和杂物。

干燥: 先将鱼肚放在铁筛子上均匀展开, 再把它放入 50℃ 的恒温干燥箱中干燥 30 min, 晾干其表面水分, 并使其水分含量保持在 20% 之内。

膨化: 先把烤箱两层分别调至所需温度进行预热, 然后将干鱼肚放入烤盘, 并使鱼肚间的距离保持为 2 cm。待烤箱预热结束后, 把鱼肚放入烤箱第一层烘烤至一定时间, 再将其移入第二层烘烤, 直至鱼肚膨化完全。

1.3.3 单因素试验

设定气膨化鱼肚的基本工艺为: 第 1 阶段烤制温度为上火 90℃、下火 100℃, 烤制时间为 40 min, 第 2 阶段烤制温度为上火 230℃、下火 235℃, 烤制时间为 1.5 min。本试验在保证其他试验条件一定的情况下, 分别对第 1 阶段和第 2 阶段的烤制温度、烤制时间这 4 个因素进行单因素试验, 分析其对鱼肚气膨化涨发质量的影响。

1.3.4 气膨化鱼肚正交试验设计

基于单因素试验, 对气膨化鱼肚进行正交试验设计, 见表 1。

1.3.5 鱼肚感官评定

邀请 10 位感官品评员, 对膨化后鱼肚的品质进行感官评定, 感官质量评分标准见表 2^[23-24]。

1.3.6 膨化鱼肚的主要营养成分含量测定

将同一批鱼肚分别进行气膨化、油膨化和盐膨化处理,

然后测定其主要营养成分的含量。水分、粗蛋白质、粗脂肪、灰分含量分别依据 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》、GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食

品中蛋白质的测定》、GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》和 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》的规定进行测定^[25]。

表 1 鱼肚气膨化涨发 $L_9(3^4)$ 试验因素水平
Table 1 Levels of $L_9(3^4)$ test factors in the expansion of fish maw by gas puffing

水平	因素			
	A	B	C	D
	第 1 阶段烤制温度	第 1 阶段烤制时间/min	第 2 阶段烤制温度	第 2 阶段烤制时间/min
1	上火 80°C、下火 90°C	20	上火 220°C、下火 225°C	1.0
2	上火 90°C、下火 100°C	25	上火 225°C、下火 230°C	1.5
3	上火 100°C、下火 110°C	30	上火 230°C、下火 235°C	2.0

表 2 鱼肚气膨化涨发感官评分细则
Table 2 Detailed rules for sensory scoring of expanding the fish maw by gas puffing

项目	感官描述	得分
组织形态 (30 分)	完全膨化, 气泡均匀	21~30
	膨化不均匀, 气泡不均匀	11~20
	膨化过度, 气泡不均匀	0~10
成品色泽 (30 分)	色泽均匀明亮, 且呈现乳黄色	21~30
	色泽不均发暗, 或呈现深黄色	11~20
	色泽不均较暗, 或呈现焦黄色	0~10
成品香味 (20 分)	香味较浓郁, 无异味	16~20
	香味较弱, 无异味	6~15
	香味不明显, 有异味	0~5
成品弹性 (20 分)	复水后无白点, 有弹性	16~20
	复水后有白点, 弹性不足	6~15
	复水后中间部分有硬心, 无弹性	0~5

1.3.7 气膨化鱼肚复水性测定

将同一批膨化好的鱼肚, 分成 100 g 的等份, 利用单因素试验测定其复水性。在常温自来水的温度条件下, 测定鱼肚不同复水时间下的感官质量; 再以常温自来水条件下的最佳复水

时间为基础, 测定鱼肚不同复水温度下的感官质量。同时将气膨化鱼肚与不同膨化方法所得鱼肚进行复水性比较试验。

1.3.8 气膨化鱼肚挥发性盐基氮测定

采用 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》测定膨化后鱼肚的挥发性盐基氮 (total volatile basic nitrogen, TVB-N) 含量。

1.3.9 气膨化鱼肚过氧化值、酸价测定

鱼肚经气膨化后, 根据 GB/T 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》提取脂肪, 采用 GB/T 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》测定其过氧化值, 按照 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》测定其酸价, 连续测定 60 d。

1.4 数据处理

经 Microsoft Excel 2016 对基础数据进行处理后, 利用 SPSS 22.0 进行数据分析, 再采用 Origin 8.0 和 Graph Prism 8.0 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果与分析

2.1.1 第 1 阶段烤制温度对鱼肚膨化质量的影响

在其他条件一定的情况下, 通过第 1 阶段烤制温度的不同来分析鱼肚膨化质量的改变, 试验结果见表 3。

表 3 第 1 阶段烤制温度对鱼肚膨化质量的影响 ($n=10$)
Table 3 Effects of baking temperature in stage 1 on puffing quality of fish maw ($n=10$)

第 1 阶段烤制温度	鱼肚感官评定/分				
	组织形态	色泽	香味	弹性	总分
上火 70°C、下火 80°C	20.5±1.4 ^{bc}	20.2±1.8 ^c	10.3±1.3 ^c	14.4±2.1 ^b	65.4±2.3 ^c
上火 80°C、下火 90°C	28.3±0.5 ^a	25.6±1.2 ^a	14.2±0.7 ^b	18.0±1.1 ^a	86.1±1.0 ^a
上火 90°C、下火 100°C	23.2±1.2 ^b	23.5±1.3 ^{ab}	15.0±1.5 ^b	14.8±1.0 ^b	76.5±1.5 ^b
上火 100°C、下火 110°C	19.0±2.4 ^{cd}	22.3±1.8 ^{bc}	17.6±1.1 ^a	13.4±1.6 ^b	72.3±2.3 ^b
上火 110°C、下火 120°C	17.2±0.8 ^d	16.0±1.9 ^d	15.5±1.6 ^{ab}	10.4±1.2 ^c	59.1±3.4 ^c

注: 同列数据上不同小写字母表示组间差异性显著 ($P<0.05$), 下同。

从表 3 可知, 当第一阶段烤制温度为上火 80℃、下火 90℃时, 鱼肚的气膨化涨发效果最好, 且感官总分具有显著性差异($P<0.05$)。当上火温度超过 80℃时, 感官质量逐渐降低, 这是因为第 1 阶段的烘烤破坏胶原蛋白的结构, 使鱼肚在第 2 阶段突然遇到高温而气化膨胀^[26]。因此, 当这一阶段的温度过低时会直接影响第 2 阶段的膨化效果, 且达不到鱼肚中心膨化的要求, 鱼肚膨化不完全。温度较高时, 鱼肚的颜色会变得偏黄, 甚至焦黄, 还会使鱼肚在第 2 阶段膨化时气泡破裂。综上, 选择上火 80、90、100℃, 下火 90、100、110℃时的温度条件进行正交试验优化。

2.1.2 第 1 阶段烤制时间对鱼肚膨化质量的影响

在其他条件一定的情况下, 通过第 1 阶段烤制时间的不同来分析鱼肚膨化质量的改变, 试验结果见表 4。

从表 4 可知, 第 1 阶段烤制时间为 30 min 时, 鱼肚的气膨化涨发效果达到最佳。如果第 1 阶段的烤制时间太短, 会使鱼肚膨化不完全, 对鱼肚第 2 阶段的膨化质量有直接的影响; 如果时间太长, 会使鱼肚的颜色变深, 部分气泡破裂, 且复水后的成品韧性不足。第 1 阶段烤制时间 20、25、30 min 的鱼肚在色泽、香味、弹性等方面无显著性差异($P>0.05$), 且感官评分较高, 所以选择烤制时间 20、25、30 min 进行正交优化试验。

2.1.3 第 2 阶段烤制温度对鱼肚膨化质量的影响

在其他条件一定的情况下, 通过第 2 阶段烤制温度的不同来分析鱼肚膨化质量的改变, 试验结果见表 5。

从表 5 可知, 当第 2 阶段烤制温度为上火 230℃、下火

235℃时, 鱼肚感官评分最高。鱼肚呈现明亮的乳黄色, 且气泡均匀, 香味浓郁, 复水后无白点, 有弹性, 气膨化涨发效果达到最佳。第 2 阶段烤制温度为上火 225、230℃时的感官总分无显著性差异, 超过 230℃时感官评分逐渐下降。温度过高会使鱼肚膨化过度, 颜色变得焦黄, 焦糊味明显, 气泡破裂, 且复水后的鱼肚弹性差^[20]。综上, 选择上火 220、225、230℃, 下火 225、230、235℃的温度条件进行正交试验优化。

2.1.4 第 2 阶段烤制时间对鱼肚膨化质量的影响

在其他条件一定的情况下, 通过第 2 阶段烤制时间的不同来分析鱼肚膨化质量的改变, 试验结果见表 6。

依据表 6 可知, 第 2 阶段烤制时间为 2.0 min 时, 鱼肚的感官质量最好。随着烤制时间的不断增加, 鱼肚的感官评分先增加后下降。这是因为第 2 阶段的烤制时间过短, 鱼肚达不到完全膨化的要求, 直接影响成品质量, 鱼肚会出现成品膨化不完全, 起泡不均的现象。烤制时间过长时, 鱼肚会出现过度膨化的现象, 降低其感官评分。第 2 阶段烤制时间 1.0、1.5、2.0 min 的鱼肚在色泽、香味、弹性等方面无显著性差异($P>0.05$), 且感官评分较高, 所以选择烤制时间 1.0、1.5、2.0 min 进行正交优化试验。

2.2 正交试验结果与分析

基于单因素试验, 得出了各因素对鱼肚气膨化品质的影响, 但对产品质量的影响程度尚未确定。因此为了进一步有效地优化加工工艺, 本试验采取 $L_9(3^4)$ 正交表对 4 个因素进行正交试验, 试验结果如表 7 所示。

表 4 第 1 阶段烤制时间对鱼肚膨化质量的影响($n=10$)
Table 4 Effects of baking time in stage 1 on puffing quality of fish maw ($n=10$)

第 1 阶段烤制时间/min	鱼肚感官评定/分				
	组织形态	色泽	香味	弹性	总分
20	20.4±0.9 ^b	23.6±1.1 ^a	13.4±1.8 ^b	16.0±1.5 ^a	73.4±2.1 ^b
25	23.8±1.9 ^a	24.2±1.6 ^a	15.3±1.1 ^{ab}	16.8±1.8 ^a	80.1±3.8 ^a
30	27.4±1.3 ^a	26.0±2.0 ^a	16.2±1.8 ^{ab}	17.6±1.4 ^a	87.2±2.3 ^a
35	20.5±1.6 ^b	20.2±1.9 ^b	18.4±2.4 ^a	11.8±1.7 ^b	70.9±3.9 ^b
40	19.0±1.7 ^b	16.6±0.8 ^c	16.4±2.0 ^{ab}	10.2±1.6 ^b	62.2±2.8 ^c

表 5 第 2 阶段烤制温度对鱼肚膨化质量的影响($n=10$)
Table 5 Effects of baking temperature in stage 2 on puffing quality of fish maw ($n=10$)

第 2 阶段烤制温度/℃	鱼肚感官评定/分				
	组织形态	色泽	香味	弹性	总分
上火 220℃、下火 225℃	20.4±1.9 ^{bc}	23.0±1.3 ^b	12.6±1.5 ^{bc}	15.8±0.6 ^{ab}	71.8±2.5 ^b
上火 225℃、下火 230℃	26.0±1.6 ^a	25.3±1.7 ^{ab}	15.2±1.4 ^{ab}	16.6±1.3 ^a	83.1±2.8 ^a
上火 230℃、下火 235℃	22.8±1.6 ^{ab}	27.6±1.6 ^a	17.0±0.8 ^a	17.2±1.4 ^a	84.6±2.4 ^a
上火 235℃、下火 240℃	18.3±1.5 ^{cd}	21.6±2.6 ^{bc}	14.0±2.7 ^{abc}	14.6±1.1 ^b	68.5±1.9 ^b
上火 240℃、下火 245℃	16.3±2.5 ^d	19.2±1.9 ^c	10.8±2.1 ^c	12.0±1.1 ^c	58.3±3.1 ^c

表 6 第 2 阶段烤制时间对鱼肚膨化质量的影响($n=10$)
Table 6 Effects of baking time in stage 2 on puffing quality of fish maw ($n=10$)

第 2 阶段烤制时间/min	鱼肚感官评定/分				
	组织形态	色泽	香味	弹性	总分
1.0	19.0±1.6 ^{cd}	23.6±1.1 ^{ab}	15.3±0.7 ^{ab}	16.0±1.0 ^{ab}	73.9±2.1 ^b
1.5	24.2±1.3 ^{ab}	25.5±2.1 ^a	16.2±1.1 ^a	18.8±1.9 ^a	84.7±2.3 ^a
2.0	26.6±1.7 ^a	26.4±1.1 ^a	16.7±1.7 ^a	17.2±1.6 ^a	86.9±3.6 ^a
2.5	21.8±2.5 ^{bc}	21.2±2.6 ^{bc}	14.8±2.2 ^{ab}	13.4±1.1 ^b	71.2±3.8 ^b
3.0	17.6±2.1 ^d	19.9±1.9 ^c	12.6±2.1 ^b	10.4±1.8 ^c	60.5±3.2 ^c

表 7 鱼肚气膨化涨发 $L_9(3^4)$ 试验结果与分析($n=10$)
Table 7 Results and analysis of $L_9(3^4)$ test of expanding the fish maw by gas puffing ($n=10$)

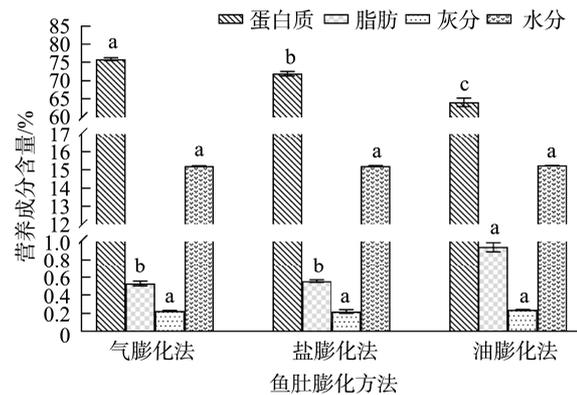
试验序号	因素				感官评分/分
	A/°C	B/min	C/°C	D/min	
1	3	2	1	2	74.1±0.9 ^f
2	1	3	3	2	77.0±1.2 ^{de}
3	2	3	1	3	79.2±1.9 ^c
4	3	1	3	3	80.0±1.3 ^c
5	2	1	2	2	84.9±1.5 ^a
6	2	2	3	1	75.8±1.4 ^{ef}
7	1	1	1	1	70.0±1.2 ^d
8	1	2	2	3	78.2±1.1 ^{cd}
9	3	3	2	1	82.3±1.6 ^b
K_1	75.1 ^b	78.3 ^a	74.4 ^c	76.0 ^b	
K_2	80.0 ^a	76.0 ^b	81.8 ^a	78.7 ^a	
K_3	78.8 ^c	79.5 ^c	77.6 ^b	79.1 ^c	
R	4.9	3.5	7.4	3.1	
相关性	C>A>B>D				
优水平	A ₂	B ₃	C ₂	D ₃	
优组合	C ₂ A ₂ B ₃ D ₃				

根据表 7, 从 K 值分析可知, 各因素各水平均存在显著性差异。同时, 可得出极差 R 值的大小排列顺序, 即 $R_C > R_A > R_B > R_D$ 。其中, 因素 C 的极差最大, 可知第 2 阶段烤制温度对鱼肚质量的影响最大, 是决定鱼肚质量的关键性因素, 也说明它是鱼肚气膨化过程中至关重要的一环。其次是因素 A , 其 R 值为 4.9, 仅次于因素 C 。即第 1 阶段烤制温度也是鱼肚气膨化过程中不可忽视的重要因素。再次是因素 B , 即第 1 阶段烤制时间。最后是因素 D , 即第 2 阶段烤制时间对鱼肚质量影响最小。综合正交结果, 在以上的组合中, 最优组合为 $C_2A_2B_3D_3$ 。即先将鱼肚放在上火 90°C、下火 100°C 的烤箱中初烤 30 min, 然后再上火 225°C、

下火 230°C 烤 2.0 min。在该条件下进行 3 组平行试验, 得到气膨化鱼肚的感官评分为 88.2±1.2, 与正交试验结果一致。

2.3 膨化鱼肚的主要营养成分含量测定

不同膨化方法所得鱼肚的主要营养成分含量测定结果见图 1。



注: 不同小写字母表示组间差异显著($P < 0.05$), 下同。

图 1 不同膨化方法鱼肚的主要营养成分含量测定结果($n=3$)
Fig.1 Determination results of main nutritional components in fish maw by different puffing methods ($n=3$)

从图 1 可知, 气膨化鱼肚的粗蛋白含量为 75.94%, 粗脂肪含量为 0.53%, 灰分含量为 0.23%。鱼肚经过不同膨化方法的处理后, 其粗蛋白含量存在显著性差异($P < 0.05$), 灰分含量和水分含量均不存在显著性差异。气膨化鱼肚的粗脂肪含量与盐膨化鱼肚的粗脂肪含量无显著性差异, 但是与油膨化法的粗脂肪含量存在显著性差异($P < 0.05$)。相比于另外两种膨化方法, 气膨化法所得鱼肚的粗蛋白含量较高, 粗脂肪含量较低。油膨化法得到的鱼肚粗脂肪含量更高, 是因为在膨化过程中, 鱼肚吸收了部分油脂而致使其脂肪含量增加。综合来说, 气膨化法在营养成分的保留程度上更有优势^[27]。

2.4 气膨化鱼肚复水试验结果分析

2.4.1 复水时间及温度对气膨化鱼肚质量的影响

在常温自来水的温度条件下, 评定气膨化鱼肚复水

时间为 20、25、30、35、40、45、50 min 时的感官质量。经试验可得, 复水时间为 35 min 时的鱼肚质量最好, 感官评分显著高于其他组($P < 0.05$)。鱼肚的感官评分随着复水时间的延长, 先增加而后降低。这是因为: 复水时间较短会使鱼肚吸水不足, 中间部分出现不均匀白点, 且弹性较差。复水时间较长会使鱼肚出现明显吐水和断裂的现象。所以, 在常温自来水的温度条件下, 气膨化鱼肚最佳的复水时间为 35 min。以最佳复水时间 35 min 为基础, 测定复水温度为 5、10、15、20、25、30、35 °C 时气膨化鱼肚的质量变化。经试验可得, 复水温度为 15 °C 时所得鱼肚质量最佳, 其感官评分与温度 20 °C 所得鱼肚无显著性差异, 但与其他组差异显著。随着复水温度的增加, 鱼肚的质量在不断变化。主要原因是当复水时间一定时, 复水温度过低, 达不到鱼肚吸水涨发的要求, 鱼肚质量较差; 复水温度过高时, 鱼肚易塌缩, 其纤维变得柔软而失去支持力, 进而影响其吸水性, 感官质量较差。综上所述, 气膨化鱼肚的最佳复水条件为 15 °C 的水温复水 35 min。

2.4.2 不同膨化方法所得鱼肚的复水性比较

取同部位的干鱼肚, 分别用气膨化法、盐膨化法、油膨化法进行膨化, 然后将其放在 10 °C 的水中进行泡发, 对它们复水后的质量进行比较^[18], 结果见图 2。

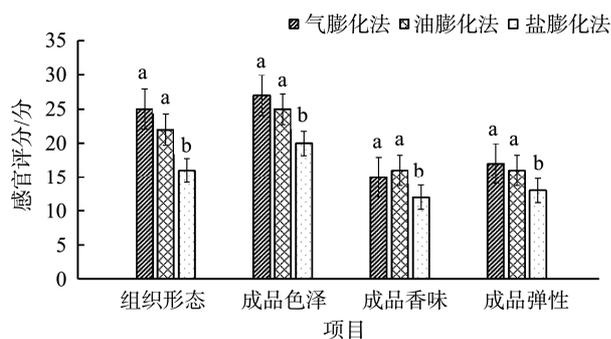


图 2 不同的膨化方法所得鱼肚的复水性比较($n=10$)

Fig.2 Comparison of rehydration of fish maw obtained by different puffing methods ($n=10$)

根据图 2 可知, 气膨化鱼肚复水后的感官质量最好, 具体表现为起泡均匀, 呈现明亮的乳黄色, 香味醇厚, 无白点, 有韧性且弹性较强; 油膨法鱼肚香气强烈稍有油腥味, 颜色发暗, 但起泡均匀, 弹性好; 盐膨法鱼肚有香味, 但颜色较为灰暗, 起泡不均匀, 弹性较差。比较 3 种不同膨化方法所得鱼肚复水后的感官质量, 气膨化鱼肚和油膨化鱼肚的感官质量之间无显著性差异, 与盐膨化鱼肚之间存在显著性差异。综合来说, 同一部位的鱼肚采用气膨化法效果最佳。

2.5 气膨化鱼肚 TVB-N 含量分析

TVB-N 是有关动物性食品新鲜度的理化指标^[28-30]。其含量越高, 说明破坏的氨基酸越多, 产品的新鲜度越低, 质

量越差。室温条件下避光贮存, 测定气膨化鱼肚在 0、10、20、30、40、50 和 60 d 时的 TVB-N 含量, 试验结果见图 3。

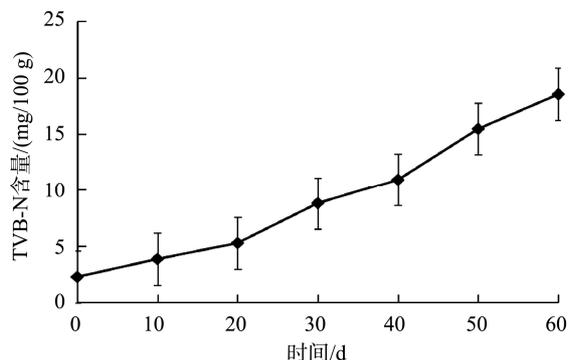


图 3 气膨化鱼肚的 TVB-N 含量变化($n=3$)

Fig.3 Changes of TVB-N content of gas-puffed fish maw ($n=3$)

由图 3 可知, 气膨化涨发鱼肚在 0~60 d 的 TVB-N 含量变化范围为 2.25~18.53 mg/100 g。参考 GB 10136—2015 《食品安全国家标准 动物性水产制品》对挥发性盐基氮的限定要求, 放置 60 d 时仍符合国家的食用标准, 说明气膨化后的鱼肚成品新鲜, 安全健康。

2.6 气膨化鱼肚室温贮存条件下过氧化值、酸价测定

过氧化值和酸价在一定程度上反应食品质量的好坏, 与食品的质量成反比关系, 即数值越高, 油脂酸败程度越高, 食品质量越坏, 且长期食用过氧化值和酸价超标的食物会对身体产生危害^[31]。将气膨化鱼肚放在室温条件下避光贮存, 分别测定其 0、10、20、30、40、50 和 60 d 的过氧化值和酸价, 试验结果见图 4。

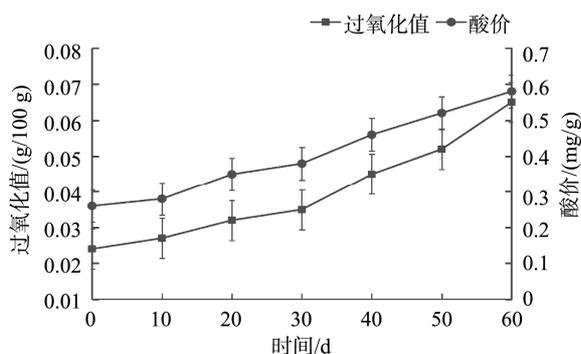


图 4 气膨化鱼肚室温贮存下的过氧化值及酸价变化($n=3$)

Fig.4 Changes of peroxide values and acid value of gas-puffed fish maw at room temperature ($n=3$)

由图 4 可知, 气膨化鱼肚的过氧化值及酸价随着贮存时间的延长而不断升高。将其存放在室温下 0~60 d, 它的过氧化值变化范围为开始的 0.024 g/100 g 到 0.065 g/100 g, 在国家规定(GB 10136—2015)的可食范围之内。酸价变化范围为 0.26 mg/g 到 0.58 mg/g, 参考国标 GB 10146—

2015《食品安全国家标准 食用动物油脂》，远低于其对酸价的限量要求。以上结果说明室温条件下避光贮存 60 d 的鱼肚，不会对健康产生危害，仍可以食用。

3 结论与讨论

通过 $L_9(3^4)$ 试验分析和感官评定，最终得出气膨化涨发鱼肚的最佳工艺条件是上火 90 °C、下火 100 °C 烤制 30 min，再上火 225 °C、下火 230 °C 烤制 2.0 min。在该条件下涨发的鱼肚感官质量最好，其色泽为鲜亮的乳黄色，膨化完全，香味醇厚。对气膨化后的鱼肚进行复水性试验，得到的鱼肚外观晶莹，乳黄色，弹性好。对膨化后的鱼肚进行常温保藏试验，测定其 60 d 时的挥发性盐基氮含量为 18.53 mg/100 g，过氧化值为 0.065 g/100 g，酸价为 0.58 mg/g。这 3 种理化指标的含量均低于国家标准的限定要求，说明气膨化涨发的鱼肚食用安全，不会对人体产生危害。

采用两阶段烤制对鱼肚进行膨化，第一阶段是为了在低温烤制条件下，使鱼肚中的胶原蛋白发生热变性作用，蛋白质网状结构松弛，胶原纤维变软而具有足够的弹性和张力，为第二阶段的高温膨化奠定基础^[23]。若这一阶段的时间和温度过低，会阻碍第二阶段的膨化，导致鱼肚膨化不完全；若时间过长或温度过高，会使鱼肚的色泽偏深，复水后韧性不足，感官质量降低。第二阶段是为了在高温条件下，破坏鱼肚水分子间的氢键，使束缚水脱离组织结构，变成游离水，从而急剧汽化膨胀形成气室，胶原蛋白变性而失去凝胶特性，使形成的孔洞结构固定下来。若这一阶段的时间和温度过低，会使鱼肚中心部位膨化不全，达不到完全膨化要求；若时间过长或温度过高，会使鱼肚变焦，颜色过深，并出现焦糊味，且复水后韧性较差^[27]。与传统的涨发方法相比，气膨化涨发的鱼肚在达到一定的感官标准基础之上，成本更为低廉，操作过程更为简捷，营养也更为丰富，为鱼肚的进一步研究和开发提供新的思路。

参考文献

- WEN J, ZENG L, CHEN ZM, *et al.* Comparison of nutritional quality in fish maw product of croaker *Protonibea diacanthus* and perch *Lates niloticus* [J]. *J Ocean Univ China*, 2016, 15(4): 726–730.
- 朱崧琪, 史亚千, 黄超华, 等. 鱼胶基原鱼种鉴定技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(11): 3593–3601.
ZHU SQ, SHI YQ, HUANG CH, *et al.* Research progress of identification techniques for original species of isinglass [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(11): 3593–3601.
- 林秋甘, 林国彬, 杨光义. 鱼鳔的研究进展[J]. 西北药学杂志, 2019, 34(5): 709–712.
LIN QG, LIN GB, YANG GY. Research progress of isinglass [J]. *Northwest Pharm J*, 2019, 34(5): 709–712.
- WEN J, ZENG L, XU YH, *et al.* Fan Sigang. Proximate composition, amino acid and fatty acid composition of fish maws [J]. *Nat Prod Res*, 2016, 30(2): 214–217.
- 赵敏豪, 黎攀, 张豫粤, 等. 不同来源鱼鳔的营养成分比较分析[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(24): 12–17.
ZHAO MH, LI P, ZHANG YY, *et al.* Comparative analysis of nutritional components of fish maws from different sources [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(24): 12–17.
- ALVES A, BASSOT A, BULTEAU AL, *et al.* Glycine metabolism and its alterations in obesity and metabolic diseases [J]. *Nutrients*, 2019, 11(6): 1356.
- JIHAD AR, MUBARAK ZM, MUSTAFA A. The effect of *L*-arginine of treatment for infertile men on semen parameters [J]. *Tikrit J Pure Sci*, 2019, 24(5): 1.
- ZHANG YF, YANG JY, MENG XP, *et al.* *L*-arginine protects against T-2 toxin-induced male reproductive impairments in mice [J]. *Theriogenology*, 2019, 126: 249–253.
- PAHLAVANI N, SADEGHI O, EBRAHIMI F, *et al.* The effects of *L*-arginine supplementation on athletic performance and risk factors of car-diovascular disease: Review of current evidence [J]. *J North Khorasan Univ Med Sci*, 2019, 11(2): 8–16.
- AQUINO PEA, SOUZA TDFG, SANTOS FA, *et al.* The woundhealing property of N-methyl-(2*S*,4*R*)-trans-4-hydroxy-*L*-pro-line from *Sideroxylon obtusifolium* is related to its anti-inflamma-tory and antioxidant actions [J]. *J Evid-based Integrat Med*, 2019, 24: 1986516X-2515690X.
- 葛恩会, 刘涛. 鱼鳔功效溯源及其现代研究进展[J]. 中成药, 2020, 42(9): 2403–2406.
GE ENH, LIU T. Research progress on efficacy of swim bladder [J]. *Chin Tradit Med*, 2020, 42(9): 2403–2406.
- WEN J, ZENG L, SUN YL, *et al.* Authentication and traceability of fish maw products from the market using DNA sequencing [J]. *Food Control*, 2015, 55: 185–189.
- SINTHUSAMRAN S, BENJAKUL S. Effect of drying and frying conditions on physical and chemical characteristics of fish maw from swim bladder of seabass (*Lates calcarifer*) [J]. *J Sci Food Agric*, 2015, 95(15): 3195–3203.
- 段振华, 汪菊兰, 殷安齐, 等. 几种鱼鳔的营养成分分析与评价[J]. 食品研究与开发, 2007, (10): 62–65.
DUAN ZH, WANG JL, YIN ANQ, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional components of several swimming bladders [J]. *Food Res Dev*, 2007, (10): 62–65.
- 李刚, 王月智. 中式烹调技艺[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
LI G, WANG YZ. *Chinese cooking skills* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2009.
- 靳义超, 李升升, 吴海玥, 等. 涨发方式对牦牛蹄筋品质的影响[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2013, 43(5): 4–5.
JIN YC, LI SS, WU HY, *et al.* Effect of different swell technology on quality for yak tendon [J]. *Chin Qinghai J Anim Vet Sci*, 2013, 43(5): 4–5.
- 赵节昌. 油发鱼肚加工工艺研究[J]. 科学养鱼, 2011, (3): 68–69.
ZHAO JC. Study on processing technology of fried fish maw [J]. *Sci Fish Farm*, 2011, (3): 68–69.
- 史云娇, 闵二虎, 汤纯, 等. 气膨化法涨发鱼肚工艺研究[J]. 食品工业, 2018, 39(8): 56–58.
SHI YJ, MIN ERH, TANG C, *et al.* Process of making up fish maw using gas puffing method [J]. *Food Ind*, 2018, 39(8): 56–58.
- 闵二虎, 王蓓, 谢海玲, 等. 气膨化法涨发羊蹄筋工艺研究[J]. 中国调

- 味品, 2019, 44(03): 120–122, 126.
- MIN ERH, WANG B, XIE HL, *et al.* Study on the technology of sheep tendon inflated by puffing method [J]. *Chin Cond*, 2019, 44(3): 120–122, 126.
- [20] 马京洁, 朱云龙. 影响猪肉皮气膨化涨发的关键工艺因素研究[J]. *肉类研究*, 2012, (1): 32–35.
- MA JJ, ZHU YL. Study on the key technological factors affecting the expansion of pork skin [J]. *Meat Res*, 2012, (1): 32–35.
- [21] 张瑜, 饶胜其, 刘锦东, 等. 气膨化法涨发牛蹄筋工艺[J]. *食品工业*, 2019, 40(8): 28–31.
- ZHANG Y, RAO SQ, LIU JD, *et al.* Technology of expanding beef tendon by air expansion [J]. *Food Ind*, 2019, 40(8): 28–31.
- [22] 朱凯悦, 孙娜, 董秀萍, 等. 鱼胶的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(3): 284–290.
- ZHU KY, SUN N, DONG XP, *et al.* Research progress of isinglass [J]. *Food Ferment Ind*, 2022, 48(3): 284–290.
- [23] 闵二虎, 李心蕊, 朱云龙, 等. 马鹿蹄筋气膨化涨发工艺优化[J]. *美食研究*, 2019, 36(4): 37–41.
- MIN ERH, LI XX, ZHU YL, *et al.* Optimization of swelling technology of red deer tendon with air [J]. *Food Res*, 2019, 36(4): 37–41.
- [24] 李保定. 奶汤鱼肚风味形成与烹制[J]. *中国调味品*, 2014, 39(5): 68–71.
- LI BD. Formation and cooking of fish belly flavor in milk soup [J]. *Chin Cond*, 2014, 39(5): 68–71.
- [25] 张志军, 王李平, 方军, 等. 花胶营养成分分析及品质评价[J]. *食品工业*, 2018, 39(7): 299–302.
- ZHANG ZJ, WANG LP, FANG J, *et al.* Analysis of nutritional composition and quality evaluation of flower gum [J]. *Food Ind*, 2018, 39(7): 299–302.
- [26] 王圣果, 戴桂宝. 烹饪学基础[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2005.
- WANG SG, DAI GB. *Fundamentals of cuisine* [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2005.
- [27] 马京洁. 气膨化与油发对猪肉皮营养成分的影响研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2012.
- MA JJ. Study on the influence of air puffing and oily hair on the nutritional components of pork skin [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2012.
- [28] CASTRO P, PADRON JCP, MA JCC, *et al.* Total volatile base nitrogen and its use to assess freshness in European sea bass stored in ice [J]. *Food Control*, 2006, 17(4): 245–248.
- [29] CAI J, CHEN Q, WAN X, *et al.* Determination of total volatile basic nitrogen (TVB-N) content and warner-bratzler shear force (WBSF) in pork using fourier transform near infrared (FT-NIR) spectroscopy [J]. *Food Chem*, 2011, 126(3): 1354–1360.
- [30] BEKHIT AEDA, GITERU SG, HOLMAN BWB, *et al.* Total volatile basic nitrogen and trimethylamine in muscle foods: Potential formation pathways and effects on human health [J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2021, 20(4): 3620–3666.
- [31] 李蓓佳, 黄正根, 刘祥. 四川小吃钵钵鸡调料中酸价、过氧化值含量检测分析[J]. *中国调味品*, 2021, 46(4): 160–164.
- LI BJ, HUANG ZG, LIU X. Detection and analysis of acid value and peroxide value in Sichuan snack Bobo chicken seasoning [J]. *Chin Cond*, 2021, 46(4): 160–164.

(责任编辑: 韩晓红 郑 丽)

作者简介



朱云龙, 教授, 主要研究方向为中国烹饪工艺、食品科学。
E-mail: 498051574@qq.com