

酸汤鲰鱼酸化及杀菌工艺研究

唐小航^{1,2}, 姜启兴^{*1,2}, 夏文水^{1,2}, 高沛^{1,2}, 许艳顺^{1,2}, 杨方^{1,2}, 余达威^{1,2}

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心, 江苏 无锡 214122)

摘要: 以预干燥的鲰鱼片为原料, 调理后的凯里红酸汤为腌制液, 评价腌制液的初始总酸质量分数、液料质量比、鱼片厚度及腌制时间对鲰鱼片酸化效果的影响; 通过 Box-Behnken 实验建立以 pH 为响应值的鱼片酸化预测模型; 测定酸化后的鱼片在不同温度(85、88、91、93、95 °C)下的杀菌曲线, 通过保温实验确定不同杀菌温度下的安全 F 值, 比较在安全 F 值下不同杀菌温度对鱼片剪切力的影响。结果表明, 液料质量比为 2.0:1.0 时 3 mm 鱼片在初始总酸质量分数 25 g/kg 酸汤(腌制液)中腌制 12 h 时可被酸化; 提升腌制液初始总酸质量分数能显著提高腌制速率, 提高液料质量比能在腌制后期提升腌制速率, 较厚的鱼片在腌制前期酸化速率较慢, 后期酸化速率与薄鱼片几乎一致。酸化后的鲰鱼片在杀菌强度 F 值达到 5 min 时即可达到商业无菌状态, 经 85 °C 及 88 °C 杀菌后鲰鱼片剪切力显著降低, 经 91、93、95 °C 杀菌能较好地保持鲰鱼片原有的剪切力。因此, 鲰鱼片酸化后经 91~95 °C 杀菌能较好地维持质构品质。

关键词: 鲰鱼片; 酸化; 杀菌; 剪切力

中图分类号: TS 254.4 文章编号: 1673-1689(2021)09-0085-09 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2021.09.011

Study on Acidification and Sterilization of Sour Soup Channel Catfish

TANG Xiaohang^{1,2}, JIANG Qixing^{*1,2}, XIA Wenshui^{1,2}, GAO Pei^{1,2},
XU Yanshun^{1,2}, YANG Fang^{1,2}, YU Dawei^{1,2}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The effects of initial total acid content, ratio of liquid to material, thickness of fillets and pickling time on the acidification of channel catfish fillets were evaluated by using pre-dried channel catfish fillets as raw material and the prepared kaili red sour soup as pickling solution. The acidification prediction model of fish fillets with pH value as response value was established by Box-Behnken experiment. The sterilization curves of acidified fish fillets at different temperatures (85, 88, 91, 93, 95 °C) were determined, and the safe F values at different sterilization temperatures were determined by heat preservation experiments. The effect of different sterilization temperature on the shearing force of fish fillets was compared under the safe F value. When the ratio of liquid to material was 2:1, 3 mm fillets could be acidified in 25 g/kg acid soup after 12 h. The curing rate

收稿日期: 2021-01-29

基金项目: 江苏现代农业产业技术体系项目(JATS[2020]454)。

* 通信作者: 姜启兴(1977—), 男, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事食品加工与保藏方向研究。E-mail: qixingj@163.com

could be significantly improved by increasing the initial total acid content, while the curing rate could be significantly increased in the later stage by increasing the ratio of liquid to material. The acidification rate of thicker fillets was slower in the early stage of pickling, but it was almost the same as that of thin fillets in the later stage. The acidified channel catfish fillets reached the commercial asepsis state when F value was 5 min. The shearing force of channel catfish fillets was significantly reduced after sterilization at 85 °C and 88 °C, respectively, the shearing force of channel catfish fillets could be better maintained after sterilization at 91, 93 °C and 95 °C, respectively. After acidification and sterilization at 91~95 °C, the texture quality of channel catfish fillets could be well maintained.

Keywords: channel catfish slice, acidification, sterilization, shear force

斑点叉尾鮰 (*Ictalurus punctatus*) 俗称沟鲶、钳鱼,属于鲶形目、鮰科鱼类,其原产于北美洲,是一种大型淡水鱼类,具有食性杂、生长快、适应性广、抗病力强、肉质上乘等优点。我国从 1984 年引进鮰鱼并大范围养殖,2019 年产量已高达 29.7 万吨。鮰鱼具有无鳞、无肌间刺、营养丰富、多脂、味道鲜美等特点,深受消费者喜爱,是一种经济价值较高的淡水鱼^[1-2]。我国鮰鱼加工以冷冻鮰鱼片为主,形式单一,且以出口为主。2010 年以来,由于受美国“鮰鱼法案”以及越南巴沙鱼竞争的影响,冷冻鮰鱼片出口难度加大,出口量呈波动下降趋势,价格大幅下跌,严重影响了养殖和加工业人员的从业积极性。近年来,国内加工企业为应对国际市场的变化,积极开展面向餐饮及快速消费的冷冻调理、休闲即食等产品的开发研究^[3]。凯里红酸汤为贵州省凯里市的特产,具有色鲜红、味醇酸的特点^[4-5];酸汤鱼作为贵州的特色美食,在经“舌尖上的中国”栏目宣传报道后,以其幽香沁人、鲜嫩爽口等特点被广大消费者所熟知和喜爱。传统的酸汤鱼主要作为菜肴在餐馆销售^[6-7],作者旨在将鮰鱼与酸汤相结合,开发出开袋即食的休闲食品,不但能改变鮰鱼单一的加工模式,也能拓宽酸汤这一特色产品销售途径。

鮰鱼肉本身为低酸性食品,如采用传统的 100 °C 以上的高温杀菌,会对产品的质构、色泽、滋味等带来不利影响^[8-9]。酸汤鱼本身具有酸爽的口感,如通过工艺研究将其 pH 控制在 4.6 以下,可使其变成酸化食品,从而可参照酸性食品的杀菌方式进行低温加热杀菌,可使杀菌强度大幅降低^[10],进而减少杀菌过程对产品品质的破坏程度^[11-13]。

前期研究发现直接用酸汤酸化鮰鱼片,由于酸

汤的稠度高,传质慢,易在鱼片表面附着,酸味也重,影响鱼片的整体感官,且酸汤耗量大,成本高。因此,需对酸汤进行稀释调味以满足工业生产和消费者的需求。作者在前期实验的基础上,探索调理后腌制液的初始总酸质量分数、液料质量比、鱼片厚度、腌制时间对鮰鱼片酸化效果的影响;另以酸化后的鱼片为原料,测定杀菌曲线,通过保温实验确定杀菌条件,并比较经不同杀菌温度杀菌后鱼片剪切力的变化,以期为酸汤鮰鱼的工业化生产提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 原料及试剂

白砂糖、(1.8±0.2) kg 鲜活鮰鱼(经现场宰杀后于 30 min 内运回实验室);购于无锡欧尚超市高浪路店;凯里红酸汤:购于贵州亮欢寨生物科技有限公司;食用乳酸:购于河南金丹乳酸科技股份有限公司;冰乙酸:购于阳江市阳东食品香料公司;真空包装袋(15 cm×20 cm,厚度 0.16 mm):购于喜之龙办公旗舰店;基准邻苯二甲酸氢钾、氢氧化钠(分析纯):购于国药集团。

1.2 仪器与设备

ZBRTD-211 恒温水浴锅:上海力辰邦西仪器有限公司产品;CH-150 型高温温度记录仪:驰煌检测技术(上海)有限公司产品;DZ 真空封口机:上海尤溪机械设备有限公司产品;TA-XTPlus 物性分析仪:英国 SMS 公司产品;pH 计:梅特勒-托利多仪器有限公司产品;高速分散机:德国 Sigma 公司产品;其他仪器均为实验室常用仪器。

1.3 实验方法

1.3.1 工艺流程

原料鱼→宰杀→去头去骨去皮→切片→
蒸汽漂烫→预干燥→腌制→真空包装→杀菌冷
却→产品^[14]。

↑
腌制液配置

1.3.2 原料鱼处理 将鲷鱼头部击晕宰杀,去头、去骨、去皮后用清洁冷水冲洗鱼肉上的血迹,切成3、6、9 mm厚的鱼片,用100℃的蒸汽蒸制80 s,稍冷后转移至55℃的恒温干燥箱中烘干,定时翻面使鱼片干燥均匀,直至鱼肉水分质量分数为60%左右。

1.3.3 腌制液配置 凯里红酸汤中酸含量高、总糖含量极低,氯化钠质量分数为5.8%。总酸质量分数为41.46 g/kg(以乳酸计),有机酸主要为乳酸和乙酸,其中乳酸与乙酸占比分别为42.16%和57.84%,研究中总酸质量分数均以乳酸计。除总酸质量分数为5 g/kg的腌制液用饮用水将原始酸汤稀释8.3倍,再加入酸汤总质量16.5%的白砂糖之外,其余质量分数的腌制液配比依据以下原则:固定腌制液的糖酸质量比为4:1,凯里红酸汤质量占腌制液总质量的1/5,设要调理总酸质量分数为 x g/kg的酸汤共 y kg,各物料所需添加量见表1,剩余用饮用水补充。

表1 调理 y kg总酸质量分数为 x g/kg的腌制液时各物料的添加量

Table 1 Amount of each material added to the pickling solution with x g/kg total acid for y kg

	凯里红酸汤质量/kg	白砂糖质量/g	乳酸质量/g	乙酸质量/g
添加量	$y/5$	$4xy$	$(xy-41.46y/5) \times 0.4216$	$(xy-41.46y/5) \times 0.5784 \times 0.06/0.09$

注:0.06、0.09分别为滴定时乙酸和乳酸的换算系数。

1.3.4 腌制工艺

1) 初始总酸质量分数对酸化效果的影响 固定液料质量比为2.0:1.0,鱼肉切面时厚度为3 mm,腌制温度为4℃,分别以初始总酸质量分数为5、15、25、35、45 g/kg的腌制液腌制鱼片,测定鱼片在腌制过程中第0、1、2、3、4、6、8、12小时的pH和总酸质量分数。

2) 液料质量比对酸化效果的影响 固定腌制液初始总酸质量分数为25 g/kg,鱼肉切面时厚度为3 mm,腌制温度为4℃,分别在液料质量比为2.0:1.0、2.5:1.0、3.0:1.0、3.5:1.0、4.0:1.0的条件下腌制鱼片,测定鱼片在腌制过程中第0、1、2、3、4、6、8、12小时的pH和总酸质量分数。

3) 鱼片厚度对酸化效果的影响 固定腌制液初始总酸质量分数为25 g/kg,液料质量比为2.0:1.0,腌制温度为4℃,分别对3、6、9 mm的鱼片进行腌制,测定鱼片在腌制过程中第0、1、2、3、4、6、8、12小时的pH和总酸质量分数。

4) 响应面实验^[15-16] 以酸化效果的单因素实验为基础,依据Box-Behnken原理设计四因素三水平的酸化预测实验,选取腌制液初始总酸质量分数、液料质量比、鱼片厚度、腌制时间为自变量,pH为响应值,通过响应面法来确定酸化效果的预测曲线。

1.3.5 杀菌工艺 9 mm厚的鱼片经初始总酸质量分数35 g/kg的酸汤腌制8 h后,将约30 g鱼片与

无线温度探头一起装入真空封口袋中,无线温度探头的探针针尖部分放置于鱼片的几何中心处,再加入3 g腌制液,于真空封口机上封口,真空度 ≥ 0.095 MPa,使腌制液较均匀地分布于鱼片表面,减少杀菌过程中因水分迁移等导致的鱼片体系pH变化现象的发生。将封口后的包装袋置于恒温水浴锅中进行水浴加热,加热完成后置于流动冷却水中冷却,整个流程结束后将数据导出。在加热阶段,每隔1 min记录1次加热升温过程中鱼块的中心温度,冷却阶段每隔20 s记录1次冷却过程中鱼块的中心温度,依据记录的数据及计算出的杀菌 F 值绘制杀菌曲线,每个温度做3组平行,同个温度下,选取达到相同 F 值所需时间最长的实验组别作为最终的杀菌曲线^[17]。

1.4 杀菌 F 值的计算

$$F = \int_0^t 10^{(T-93.3)/Z} dt$$

式中: t 为杀菌时间; T 为对应时间样品的中心温度,以70℃作为起点温度; Z 为目标微生物的敏感性温度,对于酸化食品,取8.89℃^[10]。

1.5 杀菌强度的确定

杀菌用鱼片的平衡pH约为4.35,依据FDA的规定,产品平衡pH在4.2~4.4建议杀菌强度 ≥ 5 min^[10]。分别在85、88、91、93、95℃条件下杀菌样品至 F 值达到5、6、7、8 min,每组制备20个样品;依

据 GB 4789.26—2013《食品安全国家标准 食品微生物学检验 商业无菌检验》^[18]做保温实验进行商业无菌检验。

1.6 pH 及总酸的测定

pH 参照国标 GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》^[19]进行测定;总酸参照 GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》^[20]进行测定。每个样品做 3 个平行。

1.7 剪切力的测定

剪切力采用 A/CKB 探头进行测定,测定前速率为 1 mm/s,测试速率为 1 mm/s,测试后速率为 1 mm/s,触发力为 5 g,剪切深度为 4 mm。每组样品做 5 组平行^[21-22]。

1.8 数据分析

组间差异比较采用 SPSS 21 软件进行单因素均值分析,检测限设定为 0.05,绘图采用 Origin 和 Office 2013 软件。

2 结果与讨论

2.1 鲮鱼片的酸化工艺

2.1.1 腌制液初始总酸质量分数对酸化速率的影响

腌制液的初始总酸质量分数对鲮鱼片腌制过程中酸化速率的影响如图 1 所示。由图 1 可知,随着腌制时间延长腌制液初始总酸质量分数在 15~45 g/kg 下,pH 均是先快速下降,后逐渐变缓,呈“L”型下降曲线;腌制液初始总酸质量分数越高,pH 下降越快;总酸质量分数则是先快速上升,后逐渐变缓,呈“倒 L”型上升曲线。5 g/kg 和 15 g/kg 的腌制液酸化效果较差,在腌制 12 h 后,其 pH 分别为 5.85 和 4.63,均未达到酸化食品要求($\text{pH} \leq 4.6$);在 25 g/kg 的腌制液中腌制 12 h 后,鱼片的 pH 达到了 4.29,总酸质量分数为 7.1 g/kg,符合酸化食品要求,但整个酸化过程耗时较长;经 35 g/kg 和 45 g/kg 的腌制液腌制的鱼片分别在 4 h 和 3 h 后即达到酸化要求。提高腌制液的初始总酸质量分数可以使整个酸化过程耗时缩短,这是因为鱼片在不同总酸质量分数的腌制液中的传质驱动力大小存在差异,腌制液总酸质量分数越大,传质驱动力也越大,郭丽媛^[23]的研究也发现猪肉在湿腌过程中的盐分增长速率随腌制液食盐含量的增加而增加。

2.1.2 液料质量比对酸化速率的影响 液料质量比对鲮鱼片酸化速率的影响如图 2 所示。液料质量

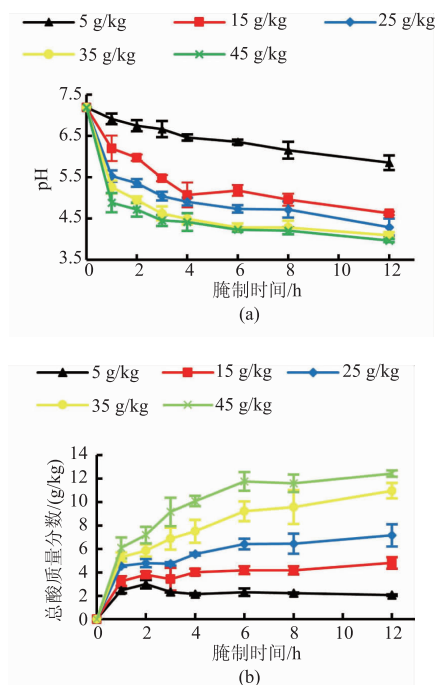


图 1 初始总酸质量分数对腌制过程中鲮鱼片酸化速率的影响

Fig. 1 Effect of initial total acid content on acidification rate of catfish fillets during pickling

比为 2.0:1.0 时腌制液正好能淹没鱼片,液料质量比为 4.0:1.0 时可见明显的酸汤富余。由图 2 可知,在不同液料质量比中腌制的鱼片 pH 和总酸的整体趋势仍分别为“L”和“倒 L”型。液料质量比为 2.0:1.0 及 2.5:1.0 时,需 12 h 才能完成酸化,液料质量比为 3.0:1.0 时,在 8 h 完成酸化,液料质量比为 3.5:1.0 及 4.0:1.0 时,在 6 h 完成酸化。在不同液料质量比下腌制的鱼片 pH 及总酸质量分数的曲线先聚合后散开,这就意味着在腌制初期提高液料质量比对提升酸化速率无显著作用,随着腌制时间的延长,高的液料质量比对酸化效果的促进作用才得以体现,这可能是因为腌制初期腌制液浓度梯度基本是一样的,腌制速度也基本类似;随着腌制进行,腌制液中酸进入鱼片,液料质量比大的腌制体系中酸浓度会逐渐高于液料质量比小的腌制体系,进而使得腌制后期液料质量比大的体系具有较大的浓度梯度和酸化速率^[24]。闫瑾等^[25]的研究也表明草鱼在盐腌初期液料质量比对草鱼盐含量影响不显著,在腌制后期才出现显著差异,与本文结果相一致。

2.1.3 鱼片厚度对酸化速率的影响 鲮鱼片的切片厚度对酸化速率的影响如图 3 所示。鲮鱼片的酸

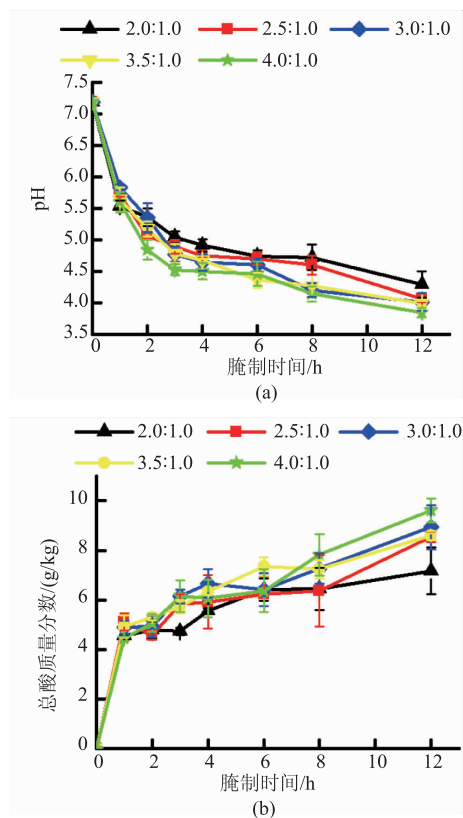


图2 液料质量比对腌制过程中鲢鱼片酸化速率的影响

Fig. 2 Effect of liquid to material ratio on acidification rate of catfish fillets during pickling

化速率随着切片厚度的增加而降低,这主要体现在前 2 h 内较厚的鱼片所累计的总酸质量分数要低于较薄的鱼片,2 h 后鲢鱼片总酸质量分数的增长趋势一致。这是由于酸是由外向鱼片中心传递的,在腌制前期,较厚鱼片的中心部位酸的扩散量较少,经过长时间的腌制之后,较厚的鱼片的各个部位的酸含量趋于与外界平衡,在其余各项外界条件相一致的情况下,不同厚度鱼片最终的酸含量趋于一致。

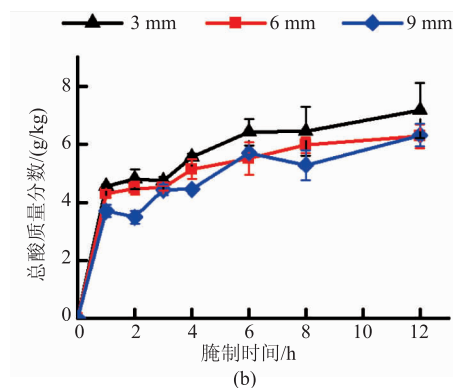
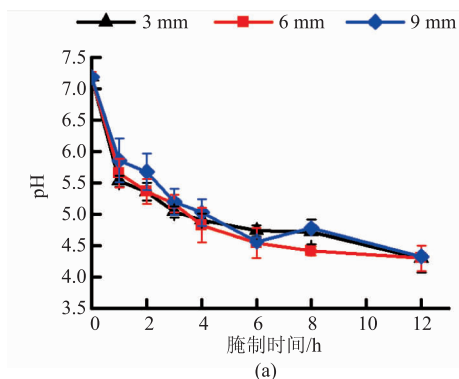


图3 鲢鱼切片厚度对腌制过程中鲢鱼片酸化速率的影响

Fig. 3 Effect of the thickness of slices on the acidification rate of catfish fillets during pickling

2.1.4 响应面预测预干燥鱼片的酸化效果 单因素实验可知,鱼片的初始总酸质量分数、液料质量比、鱼片厚度以及腌制时间均会影响鱼片的酸化效果。在工业生产中,通过调整各个因素,对酸化效果进行预测才能对工业生产提供较好的理论指导。故采用响应面法探讨腌制过程中各因素与 pH 之间的关系。响应面设计因素、水平及编码见表 2,Box-Behnken 实验设计方案及结果见表 3,模型方差分析见表 4。

表2 响应面设计因素、水平及编码

Table 2 Response surface design factors, level and coding

水平	A 腌制液初始总酸质量分数/(g/kg)	B 液料质量比	C 鱼片厚度/mm	D 腌制时间/h
-1	25	2.0:1.0	3	1
0	35	3.0:1.0	6	4
1	45	4.0:1.0	9	7

表3 Box-Behnken 实验设计方案及结果

Table 3 Box-Behnken experimental design and results

实验编号	腌制液初始总酸质量分数/(g/kg)	液料质量比	鱼片厚度/mm	腌制时间/h	pH
1	25	2.0:1.0	6	4	4.76
2	45	2.0:1.0	6	4	4.34
3	25	4.0:1.0	6	4	4.99
4	45	4.0:1.0	6	4	4.39
5	35	3.0:1.0	3	1	4.81
6	35	3.0:1.0	9	1	5.72
7	35	3.0:1.0	3	7	4.35
8	35	3.0:1.0	9	7	4.50
9	25	3.0:1.0	6	1	5.46

续表 3

实验编号	腌制液初始总酸质量分数/(g/kg)	液料质量比	鱼片厚度/mm	腌制时间/h	pH
10	45	3.0:1.0	6	1	5.00
11	25	3.0:1.0	6	7	4.47
12	45	3.0:1.0	6	7	4.29
13	35	2.0:1.0	3	4	4.65
14	35	4.0:1.0	3	4	4.19
15	35	2.0:1.0	9	4	4.98
16	35	4.0:1.0	9	4	4.76
17	25	3.0:1.0	3	4	4.58
18	45	3.0:1.0	3	4	4.32
19	25	3.0:1.0	9	4	5.20
20	45	3.0:1.0	9	4	4.59
21	35	2.0:1.0	6	1	5.08
22	35	4.0:1.0	6	1	5.01
23	35	2.0:1.0	6	7	4.50
24	35	4.0:1.0	6	7	4.60
25	35	3.0:1.0	6	4	4.52
26	35	3.0:1.0	6	4	4.62
27	35	3.0:1.0	6	4	4.62
28	35	3.0:1.0	6	4	4.49
29	35	3.0:1.0	6	4	4.46

运用 Design-Expert 8.0.6 数据统计分析软件对表 3 结果进行多元线性回归分析,得到鱼片腌制后 pH 关于腌制液初始总酸质量分数、液料质量比、鱼片厚度、腌制时间的二次多项式数学模型:

$$Y=4.540-0.210A-0.031B+0.240C-0.360D-0.045AB-0.088AC+0.070AD+0.060BC+0.042BD-0.190CD+0.047A^2+0.029B^2+0.079C^2+0.220D^2。$$

模型显著性检验 $P<0.0001$,表明该模型具有统计学意义。依据回归系数的显著性检验可知,一次项 A 、 C 、 D 以及二次项 D^2 对酸化速率具有显著影响,交互项 CD 对酸化速率的交互影响显著。失拟项用来表示所用模型与实验拟合的程度,即二者差异的程度, P 为 0.0913 >0.05 ,对模型是有利的,无失拟因素存在,因此可用该回归方程对鱼片的酸化过程进行预测。依据 F 值,对响应值的影响顺序为 $D>C>A>B^{[15]}$ 。

通过杀菌实验,发现鱼片厚度太薄时杀菌后鱼片容易碎裂,因此杀菌鱼片厚度选用 9 mm,在该厚度下运用 Design-Expert 8.0.6 数据软件预测出的 pH 最低点条件为:腌制液初始总酸质量分数 45 g/kg、液料质量比 2.55:1.00、腌制时间 7 h,在此条件下鱼片的 pH 为 4.34,经 3 次验证实验,在该条件下进行腌制的鱼片 pH 分别为 4.27、4.29、4.35,与预测值相差不大,这进一步验证了该模型的可靠性。

表 4 模型方差分析

Table 4 Model analysis of variance

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P	显著性
模型	3.370	14	0.240	13.42	< 0.000 1	**
A	0.530	1	0.530	29.74	< 0.000 1	**
B	0.011	1	0.011	0.64	0.438 5	
C	0.680	1	0.680	37.74	< 0.000 1	**
D	1.590	1	1.590	88.72	< 0.000 1	**
AB	0.008	1	0.008	0.45	0.512 5	
AC	0.031	1	0.031	1.71	0.212 4	
AD	0.020	1	0.020	1.09	0.313 6	
BC	0.014	1	0.014	0.80	0.385 4	
BD	0.007	1	0.007	0.40	0.535 9	
CD	0.140	1	0.140	8.05	0.013 2	*
A ²	0.014	1	0.014	0.80	0.387 4	
B ²	0.006	1	0.006	0.31	0.584 7	
C ²	0.041	1	0.041	2.28	0.153 2	
D ²	0.320	1	0.320	17.81	0.000 9	**
残差	0.250	14	0.018			
失拟	0.230	10	0.023	4.15	0.091 3	
误差	0.022	4	0.006			
总离差	3.620	28				

注:**表示差异极其显著($P<0.01$);*表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 鲢鱼片的杀菌工艺

2.2.1 不同杀菌温度下杀菌 F 值随时间变化情况 对不同杀菌温度下鱼片的传热曲线进行测定,并计算各时间点 F 值的变化情况,结果如图 4 所示。在加热过程中,鱼片的中心温度都有一个上升再稳定的趋势,鱼片中心的温度在稳定后接近于水浴的设定温度;与升温过程相比,鱼片的降温过程速率较快,在冷却水冷却 5 min 左右即可降至室温。经计

算,杀菌温度为 85、88、91、93、95 $^{\circ}\text{C}$ 时降温过程中累计的 F 值分别为 0.05、0.12、0.39、0.45、0.53 min,扣除降温过程中所累积的 F 值后再反推各个杀菌温度下达到 F 值为 5、6、7、8 min 所需要的恒温杀菌时间,具体如表 5 所示^[10]。

2.2.2 杀菌强度对鲢鱼片安全性的影响 将不同杀菌温度下不同杀菌强度 (F 值) 的样品根据 GB 4789.26—2013 《食品安全国家标准 食品微生物学检验 商业无菌检验》^[18] 做保温实验,进行商业无菌

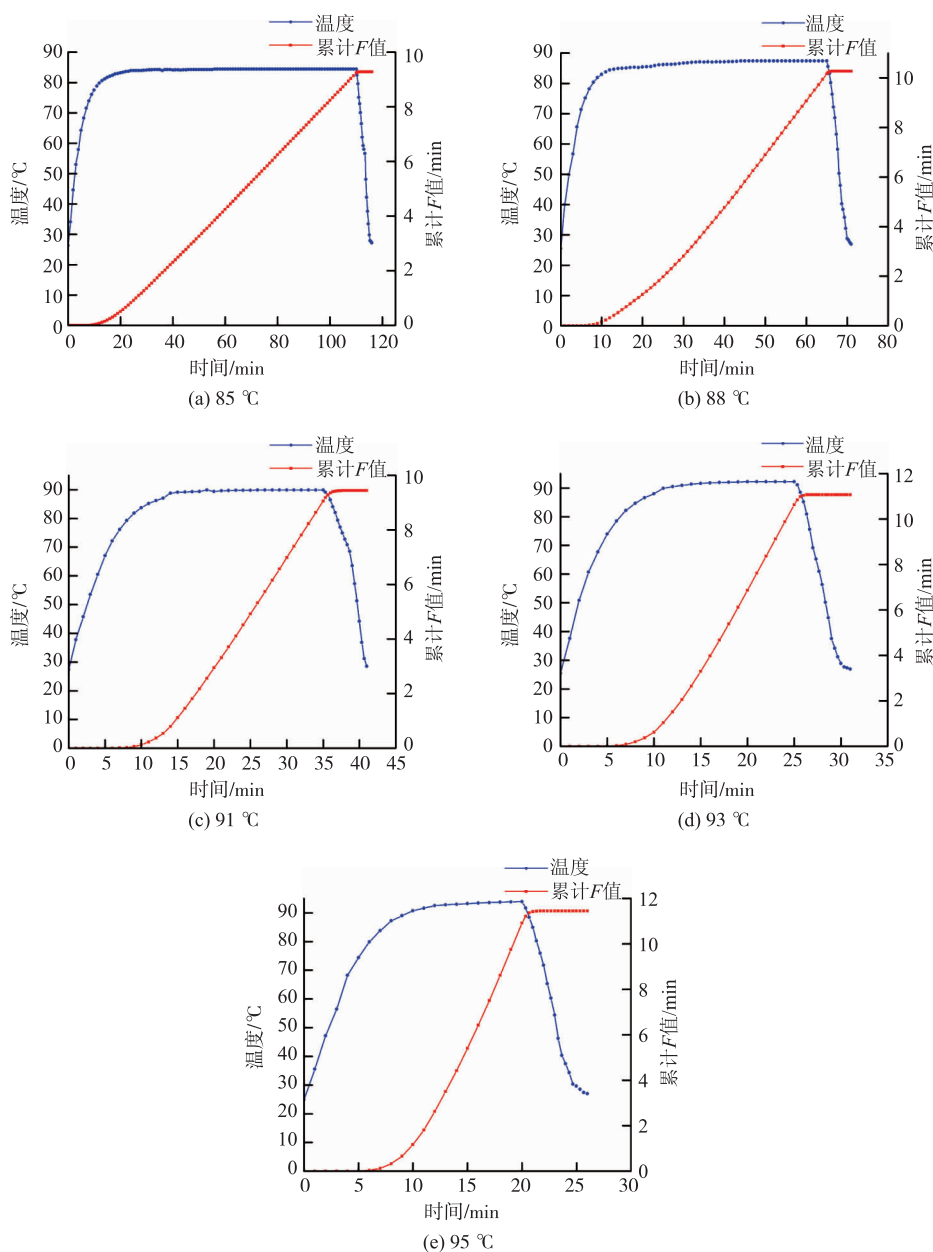


图 4 鲢鱼片在不同杀菌温度下的传热曲线与 F 值

Fig. 4 Heat transfer curve and F value of catfish fillets at different sterilization temperatures

表 5 杀菌条件对酸化鲢鱼片安全性的影响

Table 5 Effects of sterilization conditions on the safety of acidified channel fish fillets

F 值/min	杀菌温度/℃	恒温杀菌时间/min	是否商业无菌
5	85	67.3	是
	88	40.7	是
	91	24.3	是
	93	16.8	是
	95	14.1	是
6	85	77.4	是
	88	45.4	是
	91	26.7	是
	93	18.2	是
	95	15.1	是
7	85	87.4	是
	88	50.0	是
	91	29.1	是
	93	19.6	是
	95	16.1	是
8	85	97.4	是
	88	54.6	是
	91	31.5	是
	93	20.9	是
	95	17.0	是

注:保温实验样品数 $n=20$ 。

检验,实验结果如表 5 所示。在实验条件下酸化后的鲢鱼片在各杀菌温度下的杀菌 F 值达到 5 min 时即达到了商业无菌要求,但考虑到实验样品数量和实验杀菌设备的限制,实际工业生产过程中建议在此基础上进一步验证和修正杀菌参数^[10]。

2.2.3 杀菌强度对鲢鱼片剪切力的影响 剪切力的大小能反映鱼片质构被破坏的程度^[21],9 mm 鱼片经不同杀菌温度杀菌至 F 值 5 min 时剪切力大小如表 6 所示。由表可知,经 85 ℃及 88 ℃杀菌后样品的剪切力显著低于未杀菌以及其他杀菌温度的样品。

经 91、93 ℃杀菌后样品的剪切力与未杀菌样品差异不大,经 95 ℃杀菌样品的剪切力显著高于未杀菌的,经 91~95 ℃杀菌能较好地保留鱼片原有的质构品质。此外,85 ℃及 88 ℃杀菌耗时较长,用较低的温度杀菌会使杀菌设备操作周转期延长,综合杀菌时长及剪切力指标,建议酸化后鲢鱼片采用 91~95 ℃杀菌。

表 6 不同杀菌温度对酸化鲢鱼片剪切力的影响

Table 6 Effects of different sterilization temperatures on shearing stress of acidified catfish fillets

处理方式	剪切力/g
干燥后未腌制	155.6±4.7 ^a
腌制完未杀菌	137.8±6.5 ^b
85 ℃杀菌	104.5±2.4 ^a
88 ℃杀菌	103.0±5.5 ^a
91 ℃杀菌	148.4±9.5 ^{bc}
93 ℃杀菌	140.8±12.9 ^{bc}
95 ℃杀菌	155.3±7.7 ^c

注:不同字母表示组间差异显著($P<0.05$)。

3 结 语

液料质量比为 2.0:1.0 时 3 mm 鱼片在 25 g/kg 腌制液中腌制 12 h 时可被酸化。提升腌制液的初始总酸质量分数能显著提升腌制速率;提升液料质量比能在腌制后期提升腌制速率;鱼片厚度增加后,前期累积的总酸质量分数要低于较薄的鱼片,在腌制后期与较薄的鱼片的总酸增长趋势几乎一致,不同厚度的鱼片最终 pH 均可低于 4.6。基于腌制液初始总酸质量分数、液料质量比、鱼片厚度、腌制时间的响应面预测模型能对鲢鱼片的腌制过程进行预测。酸化后的鲢鱼片在经 85~95 ℃杀菌至 F 值达到 5 min 时均可达到商业无菌状态,采用 91~95 ℃的温度杀菌时能较好地保持鱼片的剪切力,且整个杀菌工艺可控制在 30 min 之内,适合工业化生产。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2020.
- [2] SHI L A, YIN T B, WANG L A, et al. Effect of pre-chilling time on the physicochemical properties of channel catfish during frozen storage[J]. *International Journal of Refrigeration*, 2020, 115:56-62.
- [3] 姜启兴,唐小航,张鹏,等. 一种高品质即食斑点叉尾鲴鱼软罐头的制备方法:中国,CN201910576332.7[P]. 2019-08-15.
- [4] WANG C, ZHANG Q, HE L P, et al. Determination of the microbial communities of Guizhou Suantang, a traditional Chinese

- fermented sour soup, and correlation between the identified microorganisms and volatile compounds[J]. **Food Research International**, 2020, 138: 1-9.
- [5] LIN L J, DU F M, ZENG J, et al. Deep insights into fungal diversity in traditional Chinese sour soup by Illumina MiSeq sequencing[J]. **Food Research International**, 2020, 137: 1-11.
- [6] 万蔚阳. 基于成熟值理论的酸汤鱼风味表征物质研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020.
- [7] 曾书慧, 盛道利. 舌尖上的贵州制造: 贵州做大做强生态特色食品产业观察[J]. 当代贵州, 2020(41): 20-21.
- [8] 姜启兴. 鲊鱼肉热加工特性及其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
- [9] TANG F Y, XIA W S, XU Y S, et al. Effect of thermal sterilization on the selected quality attributes of sweet and sour carp[J]. **International Journal of Food Properties**, 2014, 17(8): 1828-1840.
- [10] 漳州中罐协科技中心. 食品热力杀菌理论与实践[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2014.
- [11] TOLA Y B, RAMASWAMY H S. Novel processing methods: updates on acidified vegetables thermal processing (review)[J]. **Current Opinion in Food Science**, 2018, 123: 64-69.
- [12] DEROSI A, FIORE A G, DE-PILLI T, et al. A review on acidifying treatments for vegetable canned food[J]. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, 2011, 51(10): 955.
- [13] 张路遥. 淡水鱼罐头低热强度杀菌技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- [14] 夏文水, 罗永康, 熊善柏, 等. 大宗淡水鱼储运保鲜与加工技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [15] 张根生, 杨慧铨, 岳晓霞, 等. 水酶法提取南瓜籽油过程中乳状液酶法联合化学法破乳工艺研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 139-144.
- [16] SUDHANSHU S B, MANISHA P, AWANISH K. Optimization for bio-processing of elephant foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius*) into lacto-pickle using Taguchi statistical approach[J]. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 2020, 14(3): 1470-1480.
- [17] 张鹏. 鲊鱼脱腥与软罐头加工工艺研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
- [18] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 商业无菌检验: GB 4789.26—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013: 1-14.
- [19] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 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: 1-5.
- [20] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 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: 1-4.
- [21] MATTHEW I K, NICK L, ERIC N P, et al. Development of VISNIR predictive regression models for ultimate pH, meat tenderness (shear force) and intramuscular fat content of Australian lamb[J]. **Meat Science**, 2019, 155: 102-108.
- [22] DU L, ZHOU G H, XU X L, et al. Study on kinetics of mass transfer in water-boiled salted duck during wet-curing[J]. **Journal of Food Engineering**, 2010, 100(4): 578-584.
- [23] 郭丽媛. 猪肉湿腌过程中的传质动力学特性及水分迁移规律[D]. 江苏: 南京农业大学, 2014.
- [24] 苏燕. 兔肉湿腌过程的传质动力学研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [25] 闫瑾, 卞欢, 诸永志, 等. 不同腌制条件对草鱼湿腌传质动力的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(2): 143-148.