

doi: 10.12131/20180164

罗非鱼片微酸性电解水杀菌工艺响应面法优化研究

于福田^{1,2}, 岑剑伟¹, 李来好¹, 杨贤庆¹, 黄卉¹,
郝淑贤¹, 魏涯¹, 赵永强¹, 林织³

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部水产品加工重点实验室, 广东广州 510300; 2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 3. 广东顺欣海洋渔业集团有限公司, 广东阳江 529800)

摘要: 为研究微酸性电解水对新鲜罗非鱼片的杀菌效果, 以杀菌对数值为指标, 进行单因素和响应面实验, 建立各因素与响应值之间的数学模型, 确定最佳杀菌条件。结果表明, 最佳杀菌条件为有效氯质量浓度 $35.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 浸泡时间 22 min, 料液质量体积比 1 : 6, 在此处理条件下, 杀菌对数值为 $(0.735\pm 0.001) \lg(\text{CFU}\cdot\text{g}^{-1})$, 杀菌率为 $(81.59\pm 0.04)\%$ 。

关键词: 罗非鱼片; 微酸性电解水; 响应面; 杀菌

中图分类号: S 983.09.19

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2019)01-0077-08

Response surface methodology for optimization of sterilization effect on tilapia fillet with slightly acidic electrolyzed water

YU Futian^{1,2}, CEN Jianwei¹, LI Laihao¹, YANG Xianqing¹, HANG Hui¹,
HAO Shuxian¹, WEI Ya¹, ZHAO Yongqiang¹, LIN Zhi³

(1. Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Guangdong Shun Xin Ocean Fishery Group Co., Ltd., Yangjiang 529800, China)

Abstract: In order to study the sterilization effect of fresh tilapia fillets with slightly acidic electrolyzed water, the single factor and response surface experiment were adopted to establish the mathematical model between the factors and response values, and the best sterilization conditions were determined. The results show that the best bactericidal condition was $35.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of available chlorine concentration, 22 min for soaking time and 1 : 6 ($m : V$). Under this condition, the killing logarithm value of bacterial colony was $(0.735\pm 0.001) \lg(\text{CFU}\cdot\text{g}^{-1})$, and the bactericidal rate was $(81.59\pm 0.04)\%$.

Key words: tilapia fillet; slightly acidic electrolyzed water; response surface; sterilization

罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*) 是我国大宗的养殖经济鱼类, 具有繁殖力强, 肉质细嫩有弹性, 肌间刺少, 营养成分均衡, 市场售价适中, 烹

饪方法多样等特点, 深受广大消费者喜爱^[1]。近年来, 在国际上罗非鱼的销售竞争日益激烈, 但中国依然是最大的罗非鱼生产国和贸易国^[2]。目前中国

收稿日期: 2018-07-17; 修回日期: 2018-09-10

资助项目: 中国水产科学研究院基本科研业务费资助项目 (2016HY-ZD1001); 现代农业 (罗非鱼) 产业技术体系建设专项资金 (CARS-46); “扬帆计划” 引进创新创业团队专项资助 (2015YT02H109); 国家自然科学基金项目 (31601533)

作者简介: 于福田 (1992—), 男, 硕士研究生, 从事水产品加工研究。E-mail: yufutian2012@163.com

通信作者: 岑剑伟 (1976—), 男, 副研究员, 从事水产品加工及质量安全研究。E-mail: genvex@163.com

罗非鱼的销售形式以冻罗非鱼片出口为主, 鲜活全鱼国内销售为辅^[3]。在常规的保鲜条件下, 受微生物作用, 水产品极易腐败变质, 从而大大降低商品的经济价值^[4], 因此在加工生产环节进行减菌化处理对维持产品的品质和货架期有重要作用。

微酸性电解水又称次氯酸水, 是一种新型的杀菌剂, 由日本科学家在 20 世纪 90 年代发现, 并于 2002 年被日本指定为食品添加剂^[5]。微酸性电解水是利用无隔膜的一室型微酸性电解水设备, 通过低电压低电流电解电解质产生 pH 为 5.0~6.5、有效氯质量浓度为 10~80 mg·L⁻¹ 的微酸性电解水, 对水产品的副作用小^[6]。微酸性电解水具有高效的杀菌性能^[7-8], 其有效氯成分为 HClO 分子, 它的杀菌效果是同浓度 ClO⁻ 离子的 80~150 倍^[9-10]。微酸性电解水不仅拥有高效杀菌性能, 还具有安全、环保、低成本和易制取等优点, 是一种绿色环保、安全可靠、符合国家可持续发展的绿色减菌剂^[11-13], 因此微酸性电解水在水产品加工方面具有巨大的应用前景。

罗非鱼加工行业常常采用含氯消毒剂、H₂O₂ 水、O₃ 水及有机酸等化学消毒剂对罗非鱼片进行杀菌消毒^[14-17], 但是这些化学消毒剂处理鱼片后, 鱼片上会残留化学物质且对鱼片品质有一定影响, 不仅影响消费者健康安全, 而且对环境造成破坏。近些年新兴的电解水尤其是强酸性电解水在水产品加工贮藏保鲜方面应用广泛, 但是强酸性电解水生产成本高, pH 值极低, 对水产品加工设备以及水产品品质有较大影响, 而且强酸性电解水因低 pH 值, 易释放氯气, 对加工人员和环境均不利。因此杀菌广谱、绿色安全环保的微酸性电解水逐渐得到关注^[18]。目前国内外已有大量文献报道微酸性电解水对某种菌体纯培养物杀菌效果的研究, 微酸性电解水已被广泛应用到果蔬加工厂、食品加工厂、医院等地, 也已广泛应用于水产品杀菌消毒, 但大多研究对象为虾贝类, 李国威等^[19]研究了微酸性电解水对活品虾夷扇贝的成活率及杀菌的影响, 结果表明经过微酸性电解水处理后的活品虾夷扇贝成活率均大于 80%, 且微酸性电解水处理时间越长, 对大肠菌群的杀灭作用越好。而微酸性电解水在鱼类上的应用寥寥无几, 关于微酸性电解水应用于含有复杂菌体环境的罗非鱼片的研究更是鲜有报道, 因此本研究以新鲜罗非鱼片为原料, 探讨微酸性电解水对新鲜

罗非鱼片的杀菌效果, 以期微酸性电解水应用于罗非鱼乃至其他水产品的加工提供基础理论数据和参考。

1 材料与方法

1.1 实验原料与试剂

新鲜罗非鱼购于广州市海珠区华润万家超市, 每条鱼体质量约为 500~600 g。

试剂有浓盐酸、氯化钠、碘化钾、硫代硫酸钠、硫酸、可溶性淀粉和无水乙醇等, 均为分析纯, PCA 平板计数琼脂培养基。

1.2 实验仪器设备

方心牌微酸性电解水实验机(烟台方心水处理设备有限公司); SQ510C 型立式压力蒸汽灭菌器(重庆雅马拓科技有限公司); SPX-320 型生化培养箱(宁波江南仪器厂); IS128 实验室 pH 计(上海仪迈仪器科技有限公司); MIR254 低温恒温培养箱(日本 Sanyo 公司); Ultra Turrax T25D 型均质机(德国 IKA 工业设备公司); HWS24 型电热恒温水浴锅(上海一恒科学仪器有限公司); SW-CJ-1FD 超净工作台(苏州净化设备有限公司); JJ500 型电子天平(常熟市双杰测试仪器厂); BCD-171CH 华凌牌冷冻箱(博西华家用电器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 原材料预处理 鲜活罗非鱼处理。用自来水冲净、击昏、放血、剖片、去皮、切片、冲洗、沥水, 备用。

1.3.2 微酸性电解水的制备及其指标测定 微酸性电解水的制备。采用微酸性电解水实验机, 根据所需电解水指标, 调节微酸性电解水设备的电压和电流, 电解质为质量分数 3% 的稀盐酸溶液, 制备不同有效氯浓度 (ACC) 的微酸性电解水备用。制备后 1 h 内使用。

微酸性电解水理化指标的测定。微酸性电解水的 pH、氧化还原电位值 (ORP) 采用 pH 计直接测定, 微酸性电解水有效氯浓度的测定采用碘量法^[20], 对每个水样, 以上每个指标重复测定 3 次, 微酸性电解水的理化特性见表 1。

1.3.3 单因素条件对微酸性电解水杀菌效果的影响

在室温 (25±2) °C 条件下, 以有效氯浓度、浸泡时间、料液比作为单因素, 考察在不同条件下微酸性电解水对杀菌效果的影响, 有效氯浓度为

表1 微酸性电解水的理化特性

Tab.1 Physico-chemical properties of slightly acidic electrolyzed water

有效氯质量浓度/mg·L ⁻¹ ACC	pH	氧化还原电位值/mV ORP
12.48±0.47	6.39±0.06	882.93±9
19.85±1.71	6.16±0.09	898.54±19.03
31.39±1.48	6.053 3±0.19	900.63±14.3
35.22±0.98	5.912±0.07	906.43±12.12
40.270 4±1.36	5.895±0.09	910.23±15.83
49.24±1.24	5.33±0.08	950.43±13.23

10 mg·L⁻¹、20 mg·L⁻¹、30 mg·L⁻¹、40 mg·L⁻¹、50 mg·L⁻¹；浸泡时间为 5 min、10 min、15 min、20 min、25 min、30 min；罗非鱼片与微酸性电解水的料液质量体积比为：1 : 0、1 : 2、1 : 4、1 : 6、1 : 8、1 : 10；对其中某一单因素进行考察时，其余因素均取固定水平值，以菌落总数为考察指标。同时以未用微酸性电解水处理的新鲜罗非鱼片为空白对照组。每组实验平行进行 3 次。

1.3.4 菌落总数的测定 菌落总数的测定参照 GB 4789.2—2016 食品微生物学检验 菌落总数测定进行。

杀菌率=(杀菌前菌落总数-杀菌后菌落总数)/杀菌前菌落总数×100%

杀菌对数值=杀菌前菌落对数值-杀菌后菌落对数值

1.3.5 响应面实验设计 在单因素实验的基础上，利用软件 Design-Expert 10.0 中的 Box-Behnken 进行响应面优化设计，以微酸性电解水的有效氯浓度、料液比和浸泡时间为因变量，响应值为杀菌对数值，实验因素和水平见表 2。

1.3.6 数据分析 实验数据使用 Excel 2016 软件

表2 响应面实验设计因素与水平

Tab.2 Factors and levels used in response surface experiments

水平 level	因素 factor		
	有效氯质量浓度/mg·L ⁻¹ available chlorine concentration	浸泡时间/min dipping time	料液质量体积比 solid-liquid ratio
-1	20	15	1 : 4
0	30	20	1 : 6
1	40	25	1 : 8

整理，采用 SPSS 20.0 软件进行方差与显著性分析，实验数据以“平均值±标准差 ($\bar{X}\pm SD$)”表示，利用 Design-Expert 10.0 软件进行响应面实验设计和结果统计分析， $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 单因素实验

2.1.1 微酸性电解水有效氯浓度对杀菌效果的影响

有效氯质量浓度按照 1.3.3 的因素水平，以料液比 1 : 4、浸泡时间 15 min 进行实验 (图 1)。实验组菌落总数明显比对照组少，且菌落总数随有效氯浓度的增加而逐渐减少。在有效氯质量浓度 30.00 mg·L⁻¹ 时，菌落总数减少了 0.67 lg (CFU·g⁻¹)，此时杀菌率为 78.62%；当有效氯质量浓度大于 30.00 mg·L⁻¹ 时，菌落总数减少缓慢。赵德锟等^[21]用微酸性电解水处理鲜切云南红梨，结果表明微酸性电解水的有效氯质量浓度为 0~20.00 mg·L⁻¹，杀菌效果随浓度增加而逐渐增强，这与本研究结果一致。因此，选取 30.00 mg·L⁻¹ 为 0 水平进行响应面设计实验。

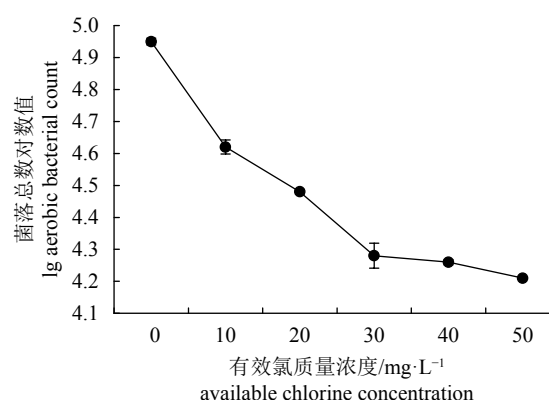


图1 微酸性电解水有效氯浓度对杀菌效果的影响

Fig.1 Effect of slightly acidic electrolyzed water available chlorine concentration on sterilization

2.1.2 浸泡时间对微酸性电解水杀菌效果的影响

按照 1.3.3 的浸泡时间因素水平，以料液比 1 : 4、有效氯质量浓度 20.00 mg·L⁻¹ 进行实验 (图 2)。实验组菌落总数明显比对照组少，菌落总数随浸泡时间的增加而减少；0~20 min 内菌落总数随浸泡时间的增加显著减少 ($P < 0.05$)，这可能是因为微酸性电解水对罗非鱼片表面微生物的灭杀需要一定的时间才能发挥其杀菌效果，浸泡时间为 20 min 时，菌落总数减少了 0.52 lg (CFU·g⁻¹)，此时杀菌率为 69.80%，浸泡时间超过 20 min，菌落总数减

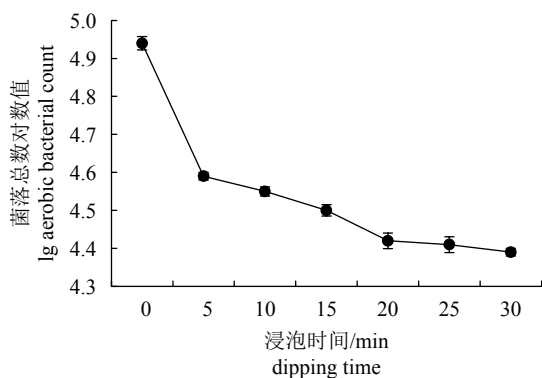


图2 微酸性电解水浸泡时间对杀菌效果的影响

Fig.2 Effect of slightly acidic electrolyzed water dipping time on sterilization

少缓慢,这是因为微酸性电解水的有效氯浓度随着浸泡时间的延长逐渐下降,杀菌效果也逐渐减弱。叶章颖等^[22]用微酸性电解水($ACC=19.82\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)处理凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*),随着处理时间的延长,微酸性电解水对虾仁的杀菌效果也不断增强,与本研究结果一致。因此选取20 min为0水平进行响应面设计实验。

2.1.3 料液比的影响 料液比按照1.3.3的因素水平,以微酸性电解水有效氯质量浓度 $20.00\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,浸泡时间15 min为条件进行实验,实验结果见图3。菌落总数随料液比的增大而逐渐减少,罗非鱼片与微酸性电解水的料液比小于1:6时,菌落总数随料液比增大而显著减少($P<0.05$),这是因为随着料液比的增大,鱼片可以充分地微酸性电解水接触,从而有助于减菌;料液比为1:6时菌落总数减少了 $0.42\text{ lg}(\text{CFU}\cdot\text{g}^{-1})$,此时杀菌率为61.98%,当料液比大于1:6之后菌落总数减少缓慢,可能是由于微酸性电解水与罗非鱼片的接触面积有限,从而一定程度上限制了菌落的减少。这与王潇等^[23]

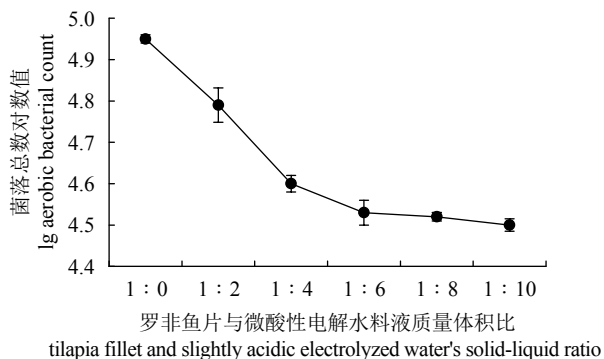


图3 罗非鱼片与酸性电解水料液比对杀菌效果的影响

Fig.3 Effect of tilapia fillet and slightly acidic electrolyzed water's solid-liquid ratio on sterilization

研究酸性电解水对中华管鞭虾(*Solenocera crassicornis*)的杀菌效果,得到的随着电解水与中华管鞭虾料液比的增加,中华管鞭虾的菌落总数显著减少($P<0.05$)的结果一致。因此,选取料液比1:6为0水平进行响应面设计实验。

2.2 响应面分析

利用Box-Behnken设计响应面实验,以微酸性电解水有效氯浓度、浸泡时间和液料比为响应变量,以杀菌对数值为响应值进行响应面实验,实验结果见表3,对表中实验数据进行回归拟合,建立微酸性电解水处理罗非鱼片的工艺参数回归模型。回归方程为:

$$Y=0.7180+0.05A+0.0362B+0.0137C-0.02AB-0.005AC+0.0025BC-0.0452A^2-0.0427B^2-0.0427C^2$$

式中 Y 表示杀菌对数值, A 表示有效氯浓度, B 表示浸泡时间, C 表示料液比。

由表4回归方程方差分析可知,此模型的显著性水平 $P<0.0001$,说明模型极显著,而表示模型数据变异情况的失拟项 P 值为 $0.9482>0.05$,失拟

表3 Box-Behnken实验方案及结果

Tab.3 Box-Behnken design and results

实验号 test No.	有效氯浓度 available chlorine concentration	浸泡时间 dipping time	料液比 solid-liquid ratio	杀菌对数值 lg colony killing value
1	-1	-1	0	0.52
2	1	-1	0	0.66
3	-1	1	0	0.64
4	1	1	0	0.7
5	-1	0	-1	0.56
6	1	0	-1	0.67
7	-1	0	1	0.6
8	1	0	1	0.69
9	0	-1	-1	0.59
10	0	1	-1	0.65
11	0	-1	1	0.61
12	0	1	1	0.68
13	0	0	0	0.73
14	0	0	0	0.71
15	0	0	0	0.69
16	0	0	0	0.72
17	0	0	0	0.74

表4 回归方程方差分析

Tab.4 Analysis of variances for developed regression equation

方差来源 source	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	<i>F</i>	<i>P</i>	显著性 significance
模型 model	0.061	9	0.006	29.36	<0.000 1	**
A-有效氯浓度 A-available chlorine concentration	0.02	1	0.02	87.23	<0.000 1	**
B-浸泡时间 B-dipping time	0.011	1	0.011	45.85	0.000 3	**
C-料液比 C-solid-liquid ratio	0.001	1	0.001 5	6.6	0.037 1	*
AB	0.001	1	0.001 6	6.98	0.033 3	*
AC	0.000 1	1	0.000 1	0.44	0.530 1	
BC	0.000 025	1	0.000 02	0.11	0.750 9	
A^2	0.008	1	0.008 6	37.6	0.000 5	**
B^2	0.007	1	0.007 6	33.56	0.000 7	**
C^2	0.007	1	0.007 6	33.56	0.000 7	**
残差 residual	0.001	7	0.000 2			
失拟项 lack of fit	0.000 1	3	0.000 04	0.11	0.948 2	
误差项 pure error	0.001	4	0.000 3			
总和 cor total	0.062	16				
	$R^2=0.974 1$		$R_{Adj}=0.941 0$			

注: *. $P<0.05$ 表示差异显著; **. $P<0.01$ 表示差异极显著

Note: *. significant difference ($P<0.05$); **. very significant difference ($P<0.01$)

项不显著,说明模型数据比较稳定,可以充分反映实际情况,回归模型较好;由表4可知模型的决定系数 $R^2=0.974 1$,表示模型的实验结果与预测结果较接近,此实验模型的校正系数 $R_{Adj}=0.941 0$,表明实验的响应值有 94.10% 的几率受实验因素的影响,说明实验结果可靠。由表4中 F 值参数可知各因素对杀菌对数值影响的主次顺序为 $A>B>C$,即微酸性电解水的有效氯浓度对杀菌对数值的影响最大,其次是浸泡时间,最后是料液比。由方差分析可知3个单因素对响应值影响的显著水平为: A 和 B 的 $P<0.01$, C 的 $P<0.05$,表示 A 和 B 因子对杀菌效果的影响差异极显著, C 对响应值的影响差异显著; AB 交互作用对响应值的影响显著($P<0.05$),模型中二次型 A^2 、 B^2 和 C^2 对响应值的影响达到极显著水平($P<0.01$),其他影响均不显著($P>0.05$)。

由响应实验模型得到实验因子(A 、 B 、 C)两者相互作用对杀菌对数值(Y)影响的响应面等高线见图4~图6。等高线图和响应面图可以很直观地反映各因子对响应值的影响情况,一般等高线图越

圆表示相互作用越不显著,越椭圆越显著^[24]。由图4可以得出,有效氯浓度(A)和浸泡时间(B)的等高线图为椭圆形,这表明有效氯浓度和浸泡时间的交互作用对响应值的影响极显著,这与方差分析中的显著性水平结果一致,且曲面图的变化也较快,表明这两个因素对响应值的影响显著,这与方差分析的结果也较吻合;从图5和图6中的等高线可知 AC 、 BC 交互作用不显著,而从响应面图中可知 A 、 B 、 C 3个因子对 Y 有显著的影响,这与方差分析的结果也一致。

通过软件分析,得出最佳的处理条件为有效氯浓度 $34.74 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,浸泡时间 21.58 min ,料液比 $1:6.28$,在此条件下杀菌对数值的理论值为 $0.737 \text{ lg}(\text{CFU}\cdot\text{g}^{-1})$,结合实际情况最终选取有效氯浓度为 $35.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,浸泡时间为 22 min ,料液比为 $1:6$,在此优化条件下进行3次验证实验,3次验证实验的初始菌落数分别为 $4.95 \text{ lg}(\text{CFU}\cdot\text{g}^{-1})$ 、 $4.97 \text{ lg}(\text{CFU}\cdot\text{g}^{-1})$ 和 $4.93 \text{ lg}(\text{CFU}\cdot\text{g}^{-1})$,微酸性电解水处理后的鱼片菌落数分别为 $4.215 \text{ lg}(\text{CFU}\cdot\text{g}^{-1})$ 、 $4.234 \text{ lg}(\text{CFU}\cdot\text{g}^{-1})$ 和 $4.196 \text{ lg}(\text{CFU}\cdot\text{g}^{-1})$,

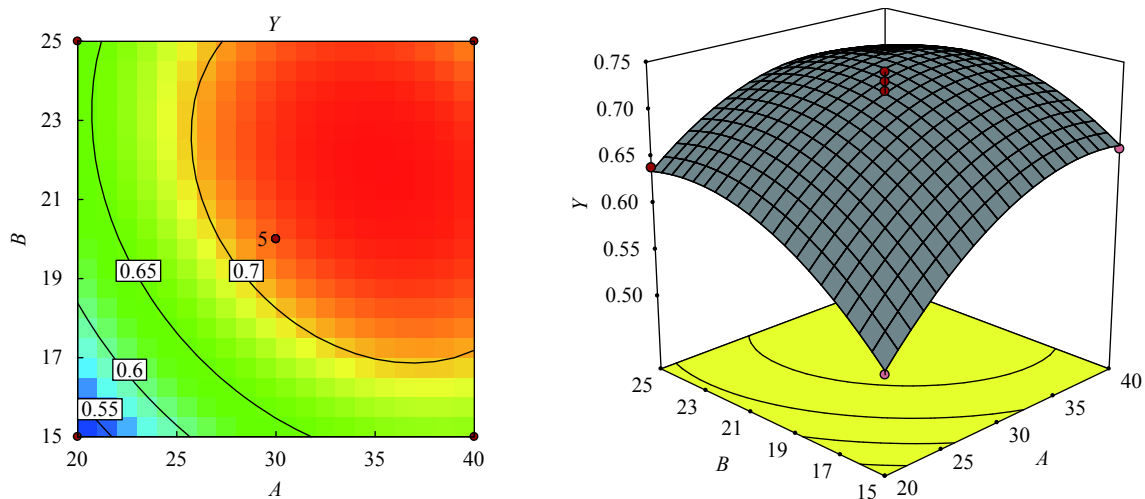


图4 $Y=(A, B)$ 的响应面与等高线

Fig.4 Response surface and contour plots under $Y=(A, B)$

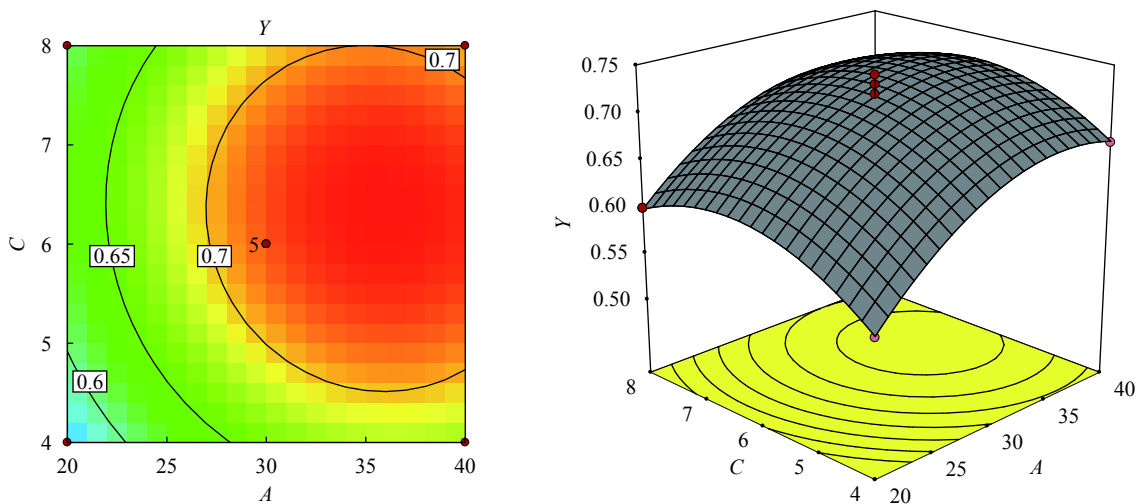


图5 $Y=(A, C)$ 的响应面与等高线

Fig.5 Response surface and contour plots under $Y=(A, C)$

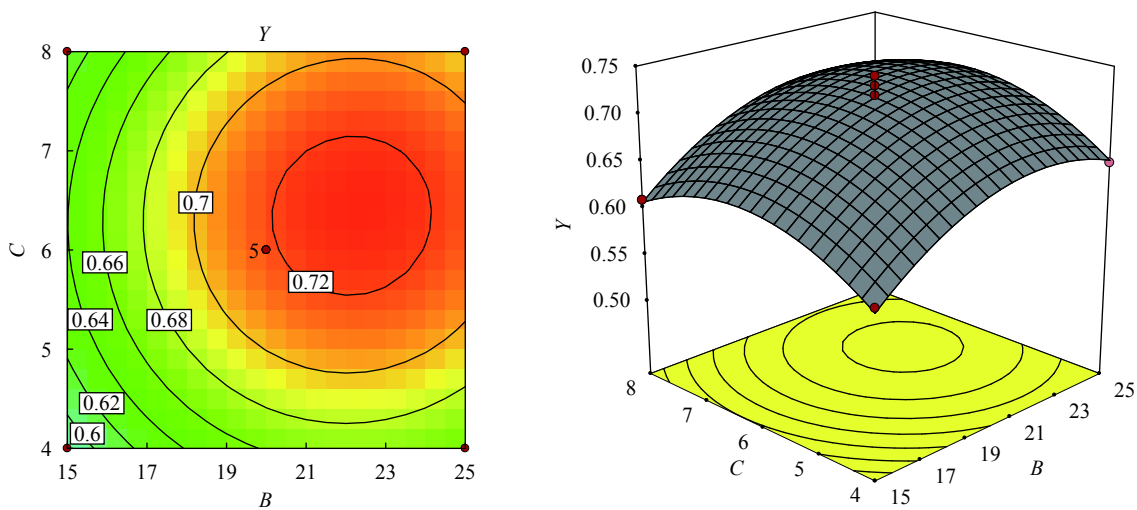


图6 $Y=(B, C)$ 的响应面与等高线

Fig.6 Response surface and contour plots under $Y=(B, C)$

得到杀菌对数值为 $(0.735 \pm 0.001) \lg(\text{CFU} \cdot \text{g}^{-1})$, 杀菌率为 $(81.59 \pm 0.04)\%$, 实验结果与预测结果基本一致, 说明此模型优化得到的微酸性电解水处理罗非鱼片的杀菌工艺参数准确可靠, 具有应用价值。测定3次验证实验前后电解水的有效氯浓度及鱼片残留余氯, 结果显示电解水初始质量浓度为 $(35.22 \pm 0.98) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 浸泡后电解水有效氯质量浓度为 $(13.03 \pm 0.36) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 电解水有效氯质量浓度减少 63.63%, 而鱼片上余氯残留为 $(0.08 \pm 0.02) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 小于我国相关标准(余氯残留质量浓度 $1.0 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)^[25], 这可能是因为次氯酸与鱼片作用后降解, 浸泡后再经净水漂洗可以去除更多的余氯, 减少残留对鱼片品质的影响。

3 讨论

3.1 有效氯浓度对电解水的减菌效果影响

微生物的作用是水产品腐败变质的主要原因, 因此适当减少水产品表面附带的微生物数量, 有利于维持产品良好品质。微酸性电解水是一种新型的减菌剂, 具有高效、绿色环保的杀菌特性。本研究中采用的微酸性电解水有效氯质量浓度为 $10 \sim 50 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 在 $10 \sim 30 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内, 电解水杀菌效果随有效氯浓度的增大而明显增强, 而当浓度大于 $30 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 后, 电解水杀菌效果随有效氯浓度的增大而缓慢增强, 通过响应面得知有效氯质量浓度为 $35.00 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 杀菌率超过 80%。响应面研究结果也表明微酸性电解水的有效氯浓度对鱼片中微生物的影响最大, 对杀菌效果影响显著。由此认为, 增大电解水有效氯浓度可以增强电解水的杀菌效果, 但不宜无限增大电解水浓度, 这不仅达不到预期的杀菌效果, 而且高浓度的电解水可能会影响鱼片品质, 也增加了制备电解水的成本。

3.2 浸泡时间对电解水的减菌效果影响

微酸性电解水与鱼片作用一段时间后才发挥杀菌效果, 随着时间延长, 微酸性电解水可以杀灭更多鱼片表面的微生物。浸泡时间对电解水杀菌效果有着明显影响, 但由于电解水的有效氯随浸泡时间的延长被不断分解消耗, 故杀菌作用达到峰值后, 增加浸泡时间对电解水杀菌效果的影响不显著, 而且延长浸泡时间必然对鱼片品质不利。由上述结果可知浸泡时间对微酸性电解水杀菌效果有着明显影响, 但不宜无限延长鱼片的浸泡时间, 有关微酸性

电解水减菌处理对鱼片品质的影响研究有待开展。

4 结论

本研究利用微酸性电解水对新鲜罗非鱼片进行减菌处理, 不仅可有效减少新鲜罗非鱼片上的微生物, 提高罗非鱼片品质及安全性, 而且可避免其他过激化学减菌剂可能带来的安全隐患。本实验在单因素实验的基础上, 选择有效氯浓度、浸泡时间和料液比为影响因子, 杀菌对数值为响应值进行响应面实验, 最终得到最佳微酸性电解水杀菌条件的有效氯质量浓度为 $35.00 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 浸泡时间为 22 min, 料液比为 1 : 6, 在此优化条件下得到微酸性电解水对新鲜罗非鱼片的杀菌率为 $(81.59 \pm 0.04)\%$ 。在实际中可结合其他杀菌措施同时使用, 可以和现有罗非鱼片加工生产工艺中的保水发色处理工序相结合, 从而提升罗非鱼片的减菌效率。

参考文献:

- [1] 李娜, 赵永强, 李来好, 等. 冰藏过程中罗非鱼片肌肉蛋白质变化[J]. 南方水产科学, 2016, 12(2): 88-94.
- [2] 于福田, 岑剑伟, 杨贤庆, 等. 罗非鱼片发色新技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(6): 322-326.
- [3] 赵良, 岑剑伟, 李来好, 等. 高压静电场结合冰温气调保鲜技术对罗非鱼片品质的影响[J]. 南方水产科学, 2016, 12(3): 91-97.
- [4] DEWI F R, STANLEY R, POWELL S M, et al. Application of electrolysed oxidising water as a sanitiser to extend the shelf-life of seafood products: a review[J]. J Food Sci Tech Mys, 2017, 54(5): 1321-1332.
- [5] 中村悌一. 微酸性电解水在食品厂卫生管理方面的应用[J]. 中国洗涤用品工业, 2017(1): 14-19.
- [6] 堀田国元. 酸性电解水的基础、应用及发展动向[J]. 中国护理管理, 2008, 8(4): 7-11.
- [7] ISSA-ZACHARIA A, KAMITANI Y, MIWA N A, et al. Application of slightly acidic electrolyzed water as a potential non-thermal food sanitizer for decontamination of fresh ready-to-eat vegetables and sprouts[J]. Food Control, 2011, 22(3/4): 601-607.
- [8] LIAO X Y, XUAN X T, LI J, et al. Bactericidal action of slightly acidic electrolyzed water against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* via multiple cell targets[J]. Food Control, 2017, 79: 380-385.
- [9] MANSUR A R, OH D H. Combined effects of thermosonication and slightly acidic electrolyzed water on the microbial quality and shelf life extension of fresh-cut kale during refrigeration storage[J]. Food Microbiol, 2015, 51: 154-162.
- [10] TANGO C N, MANSUR A R, KIM G H, et al. Synergetic effect of combined fumaric acid and slightly acidic electrolysed water

- on the inactivation of food-borne pathogens and extending the shelf life of fresh beef[J]. *J Appl Microbiol*, 2014, 117(6): 1709-1720.
- [11] HUANG Y R, HUNG Y C, HSU S Y, et al. Application of electrolyzed water in the food industry[J]. *Food Control*, 2008, 19(4): 329-345.
- [12] JO H Y, TANGO C N, OH D H. Influence of different organic materials on chlorine concentration and sanitization of slightly acidic electrolyzed water[J]. *LWT*, 2018, 92: 187-194.
- [13] WALKER S P, DEMIRCI A, GRAVES R E, et al. Response surface modelling for cleaning and disinfecting materials used in milking systems with electrolysed oxidizing water[J]. *Int J Dairy Technol*, 2005, 58(2): 65-73.
- [14] TOMÁS-CALLEJAS A, LÓPEZ-GÁLVEZ F, SBODIO A, et al. Chlorine dioxide and chlorine effectiveness to prevent *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* cross-contamination on fresh-cut Red Chard[J]. *Food Control*, 2012, 23(2): 325-332.
- [15] ALEXANDRE E M, BRANDAO T R, SILVA C L. Assessment of the impact of hydrogen peroxide solutions on microbial loads and quality factors of red bell peppers, strawberries and watercress[J]. *Food Control*, 2012, 27(2): 362-368.
- [16] ALEXANDRE E M, SANTOS-PEDRO D M, BRANDAO T R, et al. Influence of aqueous ozone, blanching and combined treatments on microbial load of red bell peppers, strawberries and watercress[J]. *J Food Eng*, 2011, 105(2): 277-282.
- [17] HUANG Y X, CHEN H Q. Effect of organic acids, hydrogen peroxide and mild heat on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on baby spinach[J]. *Food Control*, 2011, 22(8): 1178-1183.
- [18] YE Z Y, WANG S, CHEN T, et al. Inactivation mechanism of *Escherichia coli* induced by slightly acidic electrolyzed water[J]. *Sci Rep*, 2017, 7: 6279.
- [19] 李国威, 傅润泽, 沈建, 等. 微酸性电解水对活品虾夷扇贝存活率的影响及杀菌效果[J]. *渔业现代化*, 2016, 43(1): 68-74.
- [20] 唐鸟林. 电解水处理水产品及其加工环境中致病菌的研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2010: 9-10.
- [21] 赵德锟, 李凌飞, 谭雷妹, 等. 微酸性电解水对鲜切云南红梨贮藏品质影响研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(1): 243-251.
- [22] 叶章颖, 祁凡雨, 裴洛伟, 等. 微酸性电解水对虾仁的杀菌效果及其动力学[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(3): 223-230.
- [23] 王潇, 吴佳佳, 张鹤, 等. 响应面法优化中华管鞭虾酸性电解水杀菌工艺[J]. *中国食品学报*, 2015(12): 107-114.
- [24] 周小双, 王锦旭, 杨贤庆, 等. 响应面法优化合浦珠母贝糖胺聚糖提取工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(1): 238-243.
- [25] 赵中辉. 加工鱼块氯残留量检测及风险分析[J]. *检验检疫学刊*, 2012, 22(5): 44-65.