

孔金花, 诸永志, 葛庆丰, 等. 超声波协同微酸性电解水对小龙虾净化及品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(21): 182-189. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021020092

KONG Jinhua, ZHU Yongzhi, GE Qingfeng, et al. Effect of Ultrasonic and Slightly Acidic Electrolyzed Water on the Purification and Quality of Crayfish[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(21): 182-189. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021020092

超声波协同微酸性电解水对小龙虾净化及品质的影响

孔金花^{1,2}, 诸永志^{1,*}, 葛庆丰², 卞欢¹, 闫征¹, 刘芳¹, 徐为民¹

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210014;

2.扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127)

摘要:为了探究小龙虾 (*Procambarus clarkii*) 的净化工艺, 采用超声波清洗协同微酸性电解水减菌技术对小龙虾进行活体净化处理。本文以小龙虾的菌落总数、芽孢总数及清洗液浊度为评价指标, 以微酸性电解水的有效氯浓度、浸泡时间以及超声波功率为单因素水平, 研究了微酸性电解水对小龙虾的减菌效果和超声波对小龙虾的清洗效果。结果表明: 微酸性电解水的有效氯质量浓度越高, 处理时间越长减菌效果越好。当微酸性电解水有效氯质量浓度 60 mg/L, 处理小龙虾 50 min 后菌落总数和芽孢总数分别下降了 4.26 lg CFU/g、500 CFU/g, 减菌率分别达到了 99.99%、92.61%; 使用超声波技术对小龙虾进行清洗处理, 超声功率 50 W 处理 50 min 后小龙虾存活率为 100%, 清洗液浊度为 181 NTU, 显著优于对照组 ($P<0.05$)。超声波技术协同微酸性电解水对小龙虾活体净化处理后, 小龙虾初始菌由 7.17 lg CFU/g 降到 3.52 lg CFU/g, 净化效果显著优于车间气泡清洗工艺 ($P<0.05$)。小龙虾净化前后的营养价值和品质无显著性差异 ($P>0.05$), 该工艺合理有效。

关键词: 小龙虾, 微酸性电解水, 减菌, 超声波, 活体净化, 品质

中图分类号: TS254.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2021)21-0182-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021020092

本文网刊:



Effect of Ultrasonic and Slightly Acidic Electrolyzed Water on the Purification and Quality of Crayfish

KONG Jinhua^{1,2}, ZHU Yongzhi^{1,*}, GE Qingfeng², BIAN Huan¹, YAN Zheng¹, LIU Fang¹, XU Weimin¹

(1. Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;

2. College of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

Abstract: In order to explore the purification process of crayfish, ultrasonic cleaning technology and slightly acidic electrolyzed water bacteria reduction technology were used to purify living crayfish. In this paper, the total number of colonies and spores, the turbidity of the cleaning solution were used as evaluation indicators, and the available chlorine concentration of slightly acidic electrolyzed water, soaking time and ultrasonic power were single factor levels. The antibacterial effect of slightly acid electrolyzed water and the cleaning effect of ultrasonic technology on crayfish were studied. The results showed that the higher effective chlorine mass concentration of slightly acidic electrolyzed water, the longer treatment time, the better bacteria reduction effect. When the effective chlorine concentration of slightly acidic electrolyzed water was 60 mg/L, the total number of colonies and the total number of spores decreased by 4.26 lg CFU/g and 500 CFU/g after 50 minutes of treatment of crayfish, and the bacteria reduction rate reached 99.99% and 92.61%. The survival rate of crayfish was 100% after treatment with 50 W ultrasonic power for 50 min, and the turbidity of the cleaning solution was 181 NTU, which was significantly better than the control group ($P<0.05$). After synergistic work of ultrasonic technology and slightly acidic electrolyzed water in purify living crayfish, the initial bacteria of crayfish was decreased from 7.17 lg CFU/g to 3.52 lg CFU/g and the bacteria reduction rate was reached 99.98%, which was significantly better

收稿日期: 2021-02-18

基金项目: 江苏现代农业(克氏原螯虾)产业技术体系项目(JATS[2020]394)。

作者简介: 孔金花(1987-),女,硕士研究生,研究方向:食品加工与安全,E-mail:526601012@qq.com。

*通信作者: 诸永志(1975-),男,硕士,研究员,研究方向:肉品加工,E-mail: yongzhizhu@163.com。

than the bubble cleaning process in workshop ($P<0.05$). There was no significant difference in the nutritional value and quality of crayfish after purification ($P>0.05$), and the process was reasonable and effective.

Key words: crayfish; slightly acidic electrolyzed water; antibacterial; ultrasonic; living purification; quality

小龙虾学名克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*), 也称为红螯虾和淡水小龙虾, 是我国重要的淡水经济虾类^[1]。因其风味独特, 肉质鲜美且营养价值高, 备受广大消费者青睐^[2]。小龙虾水分和蛋白质的含量丰富, 同时内源酶活性高, 且因其生活环境导致自身微生物杂且多^[3], 因此在加工、贮藏、流通等各环节中易发生腐败变质, 极大地降低了小龙虾产品的品质和商用价值。

水产品加工前的初始微生物数量直接影响了产品货架期, 目前小龙虾加工过程中微生物问题是加工企业面临的技术难题^[4]。减菌预处理是提高产品货架期的重要方法^[5], 因此小龙虾加工前的减菌净化处理对延长产品货架期和提高产品品质具有重要的意义。小龙虾加工企业多采用气泡清洗的方式进行净化处理, 但是这种方法无法高效清除小龙虾体内携带的大量微生物, 因此加工后产品仍需冷冻保存, 严重制约了小龙虾产业的发展。微酸性电解水是通过电解装置电解稀盐酸或氯化钠溶液而制得的一种新型的非热杀菌剂。因其广谱高效、制作简单、成本低, 而且安全无毒, 现已广泛应用于水产品加工中^[6-7]。微酸性电解水作为新型的减菌剂, 对食品的消毒以及减菌保鲜都有很好的效果^[8-9]。微酸性电解水的杀菌作用主要来自于有效氯, 有效氯通过破坏细胞壁和细胞膜杀灭病原菌^[10-11]。有效氯不仅可以杀灭细菌, 而且对芽孢孢子具有杀灭能力^[12-13]。超声波是超出人耳听觉范围, 频率在 20 kHz 以上的声波。超声波在清洗液中传播时, 形成空化气泡, 气泡闭合时会对周围物体产生强大的冲击力, 使得物体的污物分散到清洗液中, 起到很好的清洗作用。超声波清洗技术已广泛应用于医疗行业、电子行业、轻纺行业等各个领域^[14]。超声辅助冷冻可以有效提高鸡胸肉肌原纤维蛋白的乳化稳定性^[15]。超声对蛋清进行改性后可以有效提高蛋清粉的速溶性能^[16]。小龙虾因其生长环境导致其表面带有大量泥沙, 不利于后期加工。超声波的高效清洗作用可以有效去除小龙虾所携带的泥沙。

微酸性电解水在水产品中的应用主要是对虾仁、鱼等进行贮藏前的减菌处理^[17], 而超声波协同微酸性电解水技术对小龙虾进行活体净化尚未有研究报道。本文以小龙虾为研究对象, 从加工生产实际出发, 运用超声协同微酸性电解水对其进行加工前的活体净化处理, 并探究了超声协同微酸性电解水净化工艺对小龙虾品质的影响, 旨在完善小龙虾净化处理技术和工艺流程, 为制定标准化的小龙虾净化工艺提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

小龙虾 购于南京集庆门水产批发市场, 剔除

死虾后取鲜活小龙虾, 重量为 (25 ± 3.00) g; 氯化钠分析纯, 广东光华科技股份有限公司; 硫酸 分析纯, 南京化学试剂股份有限公司; 平板计数琼脂 北京奥博星生物技术有限责任公司; 其他所有试剂 均为分析纯。

DGG-9023A 电热鼓风干燥箱 上海森信实验仪器有限公司; SZF-06A 粗脂肪测定仪 上海新嘉电子有限公司; HH-8 数显恒温水浴锅 国华电器有限公司; H196771 余氯测试仪 意大利哈纳; CR-400 色度仪 上海亚荣生化仪器厂; FE28 pH 计 梅特勒-托利多仪器有限公司; ZEALWAY 高压灭菌锅 致微仪器有限公司; XZ-0101 浊度计 上海锆仪电子科技有限公司; HD-240L 水神次氯酸发生器 旺旺集团有限公司; KQ-100DE 数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司; TMS-TOUCH 质构仪 美国 FTC; MR23 低场核磁共振仪 苏州纽迈电子科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 微酸性电解水的制备 微酸性电解水由“水神”次氯酸水发生器制备生成。自来水为原水, 电解液(出厂配置)的主要成分为 6% 的分析纯盐酸与 1% 氯化钠混合化合物。设备接通电源后, 打开自来水阀门, 触摸模板电源开关, 出水即为微酸性电解水。水样采集后立即使用, 初始浓度为 60 mg/L(出厂配置), 低质量浓度的微酸性电解水使用自来水进行稀释配置。有效氯质量浓度采用余氯测试仪进行检测。

1.2.2 小龙虾净化方法

1.2.2.1 微酸性电解水减菌处理 在室温 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下, 将鲜活小龙虾放置在一定浓度的微酸性电解水中进行吐污减菌, 虾水比为 1:8(w/v)。电解水处理小龙虾的目的是杀灭小龙虾所携带的微生物, 因此以菌落总数和芽孢总数为指标评价减菌效果, 分析微酸性电解水的有效氯质量浓度和减菌时间对小龙虾减菌效果的影响, 得出适宜的有效氯质量浓度和减菌时间。

1.2.2.2 超声波清洗处理 将鲜活小龙虾放置在一定浓度的微酸性电解水中进行超声清洗处理, 超声过程中液体保持 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$, 虾水比为 1:8(w/v)。超声波清洗小龙虾目的是去除小龙虾表面及鳃部所携带污泥, 同时小龙虾净化处理过程必须保持鲜活状态(生产加工所需), 因此以小龙虾的存活率和清洗液浊度为指标评价清洗效果, 得出适宜的超声波功率。

1.2.2.3 气泡清洗处理 在室温 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下, 将鲜活小龙虾放置在自来水中进行吐污清洗一定的时间, 虾水比为 1:8(w/v)。自来水装有氧气泵, 使自来水中有气泡产生, 保持小龙虾处于气泡清洗状态。以清洗

后小龙虾的菌落总数和清洗液浊度为指标评价清洗效果。

1.2.3 超声波协同微酸性电解水净化工艺优化实验

1.2.3.1 不同有效氯质量浓度对小龙虾减菌效果的影响 使用微酸性电解水对小龙虾进行浸泡吐污减菌 30 min, 虾水比为 1:8(w/v), 电解水有效氯质量浓度为 20、30、40、50、60 mg/L, 测定处理后小龙虾的菌落总数和芽孢总数, 确定微酸性电解水最佳减菌浓度。

1.2.3.2 处理时间对小龙虾减菌效果的影响 根据 1.2.3.1 的结果, 使用有效氯质量浓度为 60 mg/L 的微酸性电解水对小龙虾进行吐污减菌, 比较不同浸泡时间: 10、20、30、40、50、60 min, 测定处理后小龙虾的菌落总数和芽孢总数, 确定适宜的减菌时间。

1.2.3.3 超声波对小龙虾的清洗效果的影响 在预实验基础上, 选择超声波功率 40、50、60、70 W 对小龙虾超声清洗, 处理时间依据 1.2.3.2 的结果, 根据处理后小龙虾的存活率和清洗液的浊度, 得出适宜的超声功率。

1.2.4 超声波协同微酸性电解水的净化工艺与车间现用工艺对比 根据单因素实验结果, 将超声波技术与微酸性电解水结合使用即为最佳净化工艺。将最佳净化工艺与小龙虾车间现用的气泡清洗方式进行对比, 小龙虾不进行净化处理为对照, 以净化后小龙虾的菌落总数和清洗液的浊度为指标, 分析评价该最佳净化工艺的净化效果。超声协同电解水工艺: 超声波功率为 50 W, 微酸性电解水浓度为 60 mg/L, 处理时间: 50 min; 气泡清洗方式: 气泡清洗 50 min。

1.2.5 指标测定

1.2.5.1 菌落总数的测定 参照 GB 4789.2-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验菌落总数测定》^[18]。

$$\text{减菌率}(\%) = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100$$

式中: A_1 为处理前的菌落数, CFU/g; A_2 为处理后菌落数, CFU/g。

减菌数(lg CFU/g)=处理前菌落数的对数值-处理后菌落数的对数值

1.2.5.2 芽孢总数的测定 参考张良^[19]的方法, 稍作修改。无菌条件下将小龙虾剪碎, 取 25 g 至于无菌瓶中, 加入 225 mL 无菌生理盐水, 制成 1:10 梯度的菌悬液。将菌悬液水浴 80 ℃ 处理 10 min, 冷却到室温后取 1 mL 于无菌平板中, 及时倒入平板计数琼脂培养基。平板置于 37 ℃ 环境培养 48 h 后进行

芽孢菌落计数。

1.2.5.3 浊度的测定 使用蒸馏水对浊度计进行校正之后对液体进行测定, 重复测定 3 次, 取平均值。

1.2.5.4 存活率测定 将 50 只小龙虾进行微酸性电解水超声清洗处理, 根据处理后小龙虾的存活数量计算存活率。

$$\text{存活率}(\%) = \frac{A_1}{A_2} \times 100$$

式中: A_1 为处理后鲜活小龙虾的数量; A_2 为处理前鲜活小龙虾的数量。

1.2.5.5 理化指标测定 水分测定: 参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[20], 采用第一法直接干燥法测定;

粗蛋白测定: 参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[21], 采用第一法凯氏定氮法测定;

粗脂肪测定: 参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[22], 采用第一法索氏抽提法测定;

灰分测定: 参照 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》^[23], 采用第一法食品中总灰分的测定;

pH 测定: 参照 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品中 pH 值的测定》^[24]。

1.2.5.6 色差测定 使用校正白板(亮度值(L^*)=97.41, 红度值(a^*)=0.05, 黄度值(b^*)=1.67)对色度仪进行校正, 校正完成后测定小龙虾尾肉的 L^* 、 a^* 、 b^* 。每个样品重复测定 6 次, 取平均值^[25]。

1.2.5.7 质构测定 将小龙虾第 2 节尾肉切成 1 cm×1 cm×0.7 cm, 使用质构仪进行硬度、弹性、咀嚼性等指标的测定。测试参数为: 测试速率为 3 mm/s, 形变量 50%, 探头回升样品高度 10 mm。每个样品重复检测 6 次, 取平均值^[26]。

1.2.5.8 感官评定 为了评价微酸性电解水减菌对小龙虾的感官影响, 对电解水减菌后的小龙虾做感官评定。感官评定的方法参照 NY/T 840-2012《绿色食品虾》^[27], 将小龙虾洗净后放入 100 ℃ 水中煮沸 5 min, 冷却后进行品尝, 具体评价标准参照表 1。感官评价人员由 10 名食品专业的研究生组成, 并对其进行了专业的感官评价培训。评价人员根据评分标准对小龙虾的色泽、滋味和气味进行评价, 品尝每个样品前均需漱口, 评价员之间不得进行交流。最终得分是 10 名评价员的平均分。

表 1 小龙虾感官评定表

Table 1 Criteria for sensory evaluation of crayfish

评分指标	好(5分)	较好(4分)	一般(3分)	较差(2分)	差(1分)
色泽	色泽正常, 无红变, 甲壳光泽较好	色泽正常, 甲壳稍有光泽	色泽稍暗, 甲壳稍有光泽	色泽变化较大, 甲壳无光泽	色泽发生明显变化, 甲壳无光泽
气味和滋味	气味正常, 无异味, 具有龙虾的固有鲜味	气味正常, 龙虾的固有鲜味明显, 略带电解水味道	龙虾的固有鲜味较弱, 电解水味道较明显	无龙虾的固有鲜味, 电解水味道明显	有强烈的电解水味道

1.2.5.9 低场核磁水分分布测定 取大小为 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 的小龙虾虾尾放入核磁小管中, 设置仪器参数为: 磁体温度为 $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, 采样频率为 100 kHz , 共振频率为 21 kHz , 磁极间隙为 3500 ms , 线圈为 25 mm , T_w 值为 3000 , NS 为 16 , 反演迭代次数为 1000000 , 横向弛豫时间通过 Carr-Purcell-Meiboom-Gill(CPMG)脉冲序列测定^[28]。每个样品重复检测 3 次。

1.3 数据处理

采用 Excel 软件和 SPSS Statistics 16.0 软件对试验数据进行统计分析, 采用单因素方差分析和 t 检验进行差异性比较, $P < 0.05$ 表示有显著性差异; 采用 Origin 8.5 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 微酸性电解水对小龙虾的减菌效果

2.1.1 不同有效氯质量浓度微酸性电解水对小龙虾减菌效果的影响 由图 1 可知, 不同有效氯质量浓度的电解水对小龙虾具有较好的杀菌效果, 且减菌效果随着电解水有效氯质量浓度的增加而增加。当有效氯质量浓度为 60 mg/L 时, 菌落总数和芽孢总数分别减少了 1.78 lg CFU/g 和 193 CFU/g , 减菌率分别为 98.70% 、 58.84% 。Tantratian 等^[29] 使用微酸性电解水对新鲜的牡蛎进行清洗, 发现杀菌效果随着有效氯质量浓度的提高逐渐增强; 于福田等^[30] 发现微酸性电解水质量浓度越高对罗非鱼的减菌效果越好, 结果与本文研究一致。因此, 本文选择有效氯质量浓度为 60 mg/L 的微酸性电解水对小龙虾进行活体减菌处理。

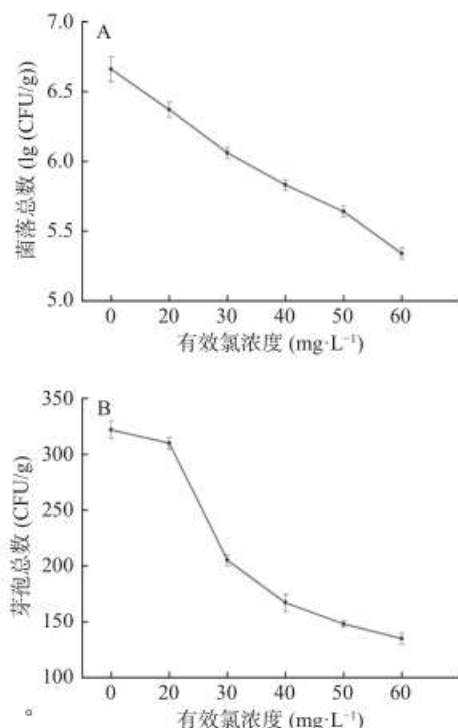


图 1 不同有效氯浓度微酸性电解水对小龙虾减菌效果的影响

Fig.1 Effect of slightly acidic electrolyzed water with different available chlorine concentrations on sterilization of crayfish

2.1.2 不同浸泡时间对小龙虾减菌效果的影响 有机物是影响微酸性电解水抗菌活性的重要物质, 其具有很强的消耗有效氯的能力^[31]。在减菌过程中, 小龙虾携带的污染物快速消耗微酸性电解水中的有效氯, 因此减菌过程中有效氯质量浓度不断下降。由图 2 可知, 有效氯质量浓度随着处理时间呈下降趋势, 在减菌 5 min 之内有效氯质量浓度迅速下降, 10 min 之后有效氯质量浓度降到 10 mg/L 以下。和劲松等^[32] 对微酸性电解水的杀菌过程进行动力学分析时, 发现杀菌过程中有效氯质量浓度不断减少。因此, 为保持微酸性电解水的减菌效果, 在减菌过程中需要注意维持有效氯质量浓度。本文研究了不同处理时间对小龙虾减菌效果的影响, 同时将有效氯质量浓度为 40 、 60 mg/L 的电解水减菌效果进行了比较, 结果见图 3。

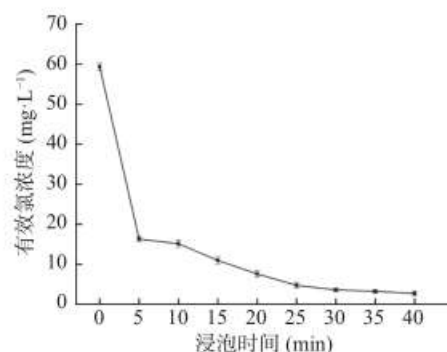


图 2 减菌过程中微酸性电解水有效氯浓度的变化

Fig.2 Changes in the concentration of available chlorine in slightly acidic electrolyzed water during sterilization

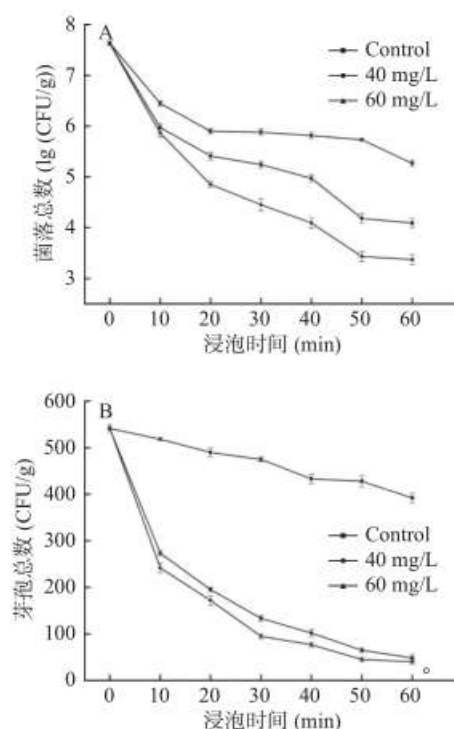


图 3 微酸性电解水对小龙虾的减菌效果

Fig.3 Effect of slightly acidic electrolyzed water on sterilization of crayfish

由图3可知,微酸性电解水的减菌效果显著优于对照组($P<0.05$)。在减菌过程中,处理时间越长减菌效果越好,处理50 min之后,菌落总数和芽孢总数趋于平稳。处理60 min的减菌效果与50 min无显著性差异($P>0.05$),考虑到车间成本,因此选择60 mg/L的电解水浸泡50 min对小龙虾进行活体减菌处理。此时菌落总数和芽孢总数分别下降了4.26 lg CFU/g、500 CFU/g,减菌率分别为99.99%、92.61%。图3中也可以看出微酸性电解水有效氯质量浓度越高减菌效果越好,有效氯质量浓度为60 mg/L的电解水减菌效果显著优于40 mg/L($P<0.05$),结论与2.1.1一致。

2.2 超声波对小龙虾的清洗效果

由图4可知,随着超声功率的增加,清洗液浊度逐渐增大,表明随着超声功率的增大清洗效果越好。由于超声波的空化作用不仅使得污渍从小龙虾表面脱落,同时对小龙虾也有很强的刺激作用,超声功率过大会导致小龙虾的死亡。实验结果表明超声功率不高于50 W处理时,小龙虾可以保持鲜活状态,处理50 min后存活率为100%。超声功率为60 W时,小龙虾的存活率只有71%。虽然超声对小龙虾有很好的清洗效果,但必需保证小龙虾在净化过程中是活体状态,因此选择功率为50 W对小龙虾进行超声波清洗处理。

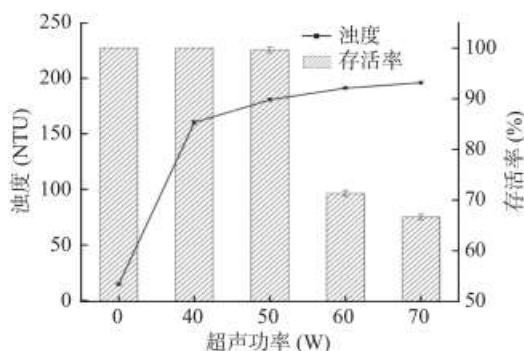


图4 超声处理后清洗液浊度和小龙虾存活率的变化

Fig.4 Changes in turbidity of cleaning solution and survival rate of crayfish after ultrasonic treatment

将超声波清洗技术与微酸性电解水减菌技术结合,得出小龙虾活体净化工艺为超声波功率50 W协同有效氯质量浓度为60 mg/L微酸性电解水对小龙虾进行50 min净化处理。

2.3 超声波协同微酸性电解水净化工艺与气泡清洗工艺效果对比

由图5A可知,车间现用工艺对小龙虾净化处理后菌落总数仍然有5.76 lg CFU/g。小龙虾由于虾肉纤维组织极易断裂而无法进行高温高压杀菌^[33-34],因此初始菌落的数量对小龙虾产品的货架期具有重大的影响,初始菌落越低对延长产品的货架期越有益。而50 W功率的超声波协同质量浓度为60 mg/L的微酸性电解水可以将小龙虾的初始菌落总数7.17 lg

CFU/g降到3.52 lg CFU/g,减菌数3.65 lg CFU/g,显著大于气泡清洗方式($P<0.05$),这对小龙虾的加工生产具有重大的意义。由图5B可知,超声波协同微酸性电解水工艺处理后芽孢总数显著低于气泡清洗组($P<0.05$),这对延长小龙虾产品的货架期具有重要的意义。由图5C可知,使用超声净化工艺后清洗液浊度181 NTU显著大于气泡清洗工艺条件下清洗液的浊度14.78 NTU($P<0.05$),因此超声处理技术对小龙虾泥沙的清除效果明显优于车间现用工艺($P<0.05$)。杨振泉等^[35]使用超声协同流水对小龙虾净化处理后可以使菌落总数降低1 lg CFU/g,而超声波功率50 W协同有效氯质量浓度为60 mg/L微酸性电解水对小龙虾进行50 min净化处理的减菌效果优于此方法。

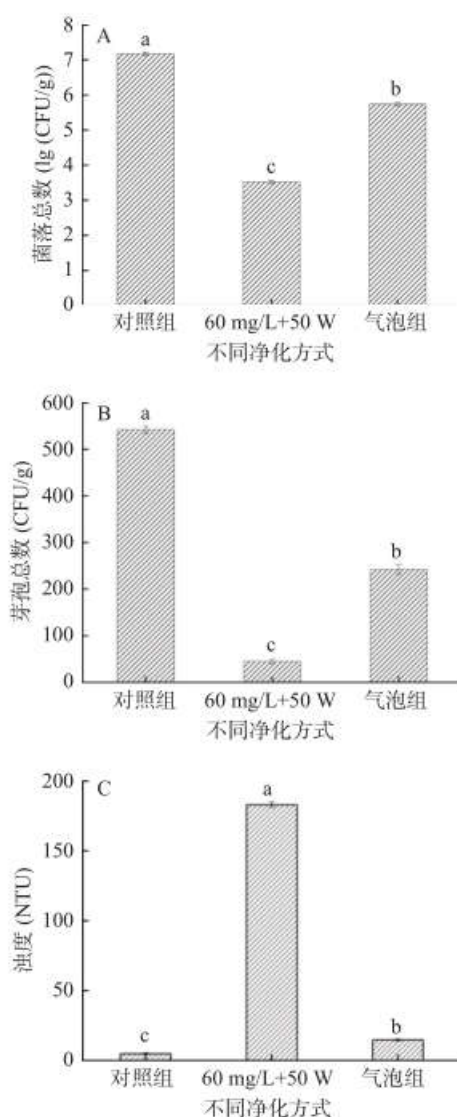


图5 不同净化方式净化效果差异对比

Fig.5 Comparison of purification effects of different purification methods for crayfish

注:不同小写字母表示差异显著 $P<0.05$ 。

2.4 小龙虾活体净化前后虾肉品质和营养成分变化

为了评价超声波协同微酸性电解水净化工艺是否会对小龙虾产生不良影响,将小龙虾净化前后的营养成分和品质进行了比较。由表2可知,净化处理

对小龙虾的营养成分和品质均无显著影响($P>0.05$)。超声协同电解水处理对小龙虾的 T_2 横向弛豫时间的影响如图 6 所示。图中所示的 3 个峰分别是小龙虾虾尾的结合水(T_{20})、不易流动水(T_{21})、自由水(T_{22})。由图 6 可知,净化处理后小龙虾虾肉的不易流动水峰面积和弛豫时间与处理前基本一致,由此可以看出净化处理对虾肉的保水性没有产生不良影响。

表 2 小龙虾净化后营养成分和品质变化

Table 2 Changes in nutritional composition and quality of crayfish after purification

	指标	净化前	净化后
营养成分	水分(%)	79.99±0.06 ^a	80.11±0.06 ^a
	粗蛋白(%)	14.24±0.13 ^a	14.13±0.07 ^a
	粗脂肪(%)	0.13±0.01 ^a	0.12±0.01 ^a
	灰分(%)	1.56±0.04 ^a	1.51±0.05 ^a
	碳水化合物(%)	4.21±0.11 ^a	4.25±0.10 ^a
	pH	6.87±0.08 ^a	6.66±0.12 ^a
品质	L^*	40.71±0.96 ^a	41.10±0.64 ^a
	a^*	5.95±1.06 ^a	5.83±0.64 ^a
	b^*	2.21±0.89 ^a	0.95±0.31 ^a
	硬度(N)	3.32±0.34 ^a	2.94±0.33 ^a
	弹性(mm)	1.61±0.09 ^a	1.73±0.12 ^a
	咀嚼性(mj)	2.66±0.24 ^a	2.58±0.38 ^a
	感官评定(分)	9.60±0.10 ^a	9.63±0.12 ^a

注:同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

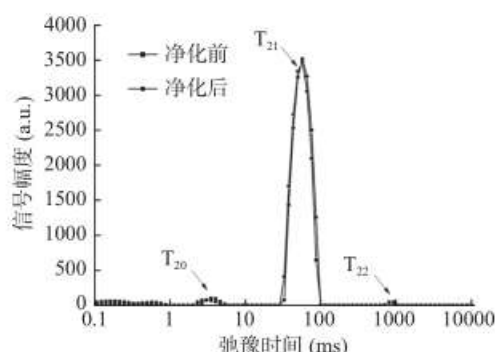


图 6 小龙虾净化后低场核磁曲线的变化

Fig.6 Low field NMR curve changes of crayfish after purification

Shiroodi 等^[36]使用有效氯质量浓度为 60 mg/L 的微酸性电解水对鲑鱼进行处理后,发现鲑鱼的品质没有发生变化;Al-Qadiri 等^[37]使用微酸性电解水对蛤和贻贝进行减菌处理后,品质无显著变化($P>0.05$),与本文研究结果一致。因此该工艺既能达到减菌率 99.98%,又能较好地保持小龙虾的品质,该工艺合理可行。

3 结论

微酸性电解水对小龙虾具有较好的减菌作用,微酸性电解水的有效氯质量浓度越高、减菌处理时间越长,减菌效果越好。本文在综合减菌、去污效果及不影响小龙虾存活率与品质的基础上,得出的最佳净化工艺为:超声波功率为 50 W 协同 60 mg/L 的微酸性电解水减菌 50 min,可以将小龙虾的初始菌由

7.17 lg CFU/g 降到 3.52 lg CFU/g,减菌率达到 99.98%。同时,该工艺条件下,小龙虾的品质能够很好的保持,因此具有良好的应用前景。

参考文献

- [1] YI S, LI Y, SHI L, et al. Characterization of population genetic structure of red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, in China[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 5586.
- [2] SUN Z C, YAO G, LI C F, et al. Effects of straw returning and feeding on greenhouse gas emissions from integrated rice-crayfish farming in Jiangnan Plain, China[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2019, 26(12): 11710-11718.
- [3] SCOTT J R, THUNE R L. Bacterial flora of hemolymph from red swamp crawfish, *Procambarus clarkii* (Girard), from commercial ponds[J]. Aquaculture, 1986, 58(3-4): 161-165.
- [4] 陈东清,李新,汪兰,等.即食小龙虾加工与杀菌工艺研究[J].辐射研究与辐射工艺学报,2020,38(5):46-53. [CHEN Dongqing, LI Xin, WANG Lan, et al. Study on technology used in processing and sterilization of ready-to-eat crayfish[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2020, 38(5): 46-53.]
- [5] 冯豪杰,蓝蔚青,刘大勇,等.不同减菌化处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间品质变化的影响[J].食品科学,2020,41(7):210-217. [FENG Haojie, LAN Weiqing, LIU Dayong, et al. Effects of different sterilization treatments on the quality of puffer fish during refrigerated storage[J]. Food Science, 2020, 41(7): 210-217.]
- [6] KATAYOSE M, YOSHIDA K, ACHIWA N, et al. Safety of electrolyzed seawater for use in aquaculture[J]. Aquaculture, 2007, 264(1-4): 119-129.
- [7] 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.
- [8] 高薇珊.微酸性电解水对嗜水气单胞菌杀菌机制及其抑制罗非鱼感染效果的研究[D].杭州:浙江大学,2017. [GAO Weishan. Study on the sterilization mechanism of slightly acidic electrolyzed water against aeromonas hydrophila and its inhibitory effect on tilapia infection[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.]
- [9] 王祥光,李佳桐,王玲,等.酸性电解水前处理对鲟鱼肉冰温贮藏品质的影响[J].食品安全质量检测学报,2020,11(12):3818-3823. [WANG Xiangguang, LI Jiatong, WANG Ling, et al. Effect of acid electrolytic water pretreatment on quality of sturgeon fillet during controlled freezing point storage[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(12): 3818-3823.]
- [10] 刘玲,郭全友,李保国,等.非热杀菌技术在虾类保鲜与加工中的应用[J].食品与发酵科技,2018,54(2):83-87,108. [LIU Ling, GUO Quanyou, LI Baoguo, et al. Application of non-thermal sterilization techniques in the preservation and processing of shrimp[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2018, 54(2): 83-87, 108.]
- [11] YE Z, WANG S, CHEN T, et al. Inactivation mechanism of

- escherichia coli induced by slightly acidic electrolyzed water[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 62-79.
- [12] 张春玲. 电解水对细菌繁殖体及芽孢的杀灭机制研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2016. [ZHANG Chunling. Study on the killing mechanism of electrolyzed water on bacterial propagules and spores[D]. Beijing: China Agricultural University, 2016.]
- [13] YANG G J, SHI Y Q, ZHAO Z Y, et al. Comparison of inactivation effect of slightly acidic electrolyzed water and sodium hypochlorite on bacillus cereus spores[J]. Foodborne Pathogens and Disease, 2020, 345: 1535-3141.
- [14] 李芳蓉, 刘淑梅, 刘凤霞, 等. 超声波清洗技术及其在中药材清洗中的应用研究[J]. 中兽医医药杂志, 2019, 38(1): 32-35. [LI Fangrong, LIU Shumei, LIU Fengxia, et al. Ultrasonic cleaning technology and its application in the cleaning of Chinese herbal medicines[J]. Journal of Traditional Chinese Veterinary Medicine, 2019, 38(1): 32-35.]
- [15] 张潮, 吴宇桐, 孔保华. 超声辅助冷冻对鸡胸肉肌原纤维蛋白乳化稳定性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(17): 104-110. [ZHANG Chao, WU Yutong, KONG Baohua, et al. Effect of ultrasound-assisted freezing on emulsifying stability of myofibrillar protein from chicken breast[J]. Food Science, 2020, 41(17): 104-110.]
- [16] 孙卓, 李佩珊, 盛龙, 等. 超声处理对蛋清粉速溶性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(21): 78-86. [SUN Zhuo, LI Peishan, SHENG Long, et al. Effect of ultrasonic treatment on instant solubility of egg white powder[J]. Food Science, 2018, 39(21): 78-86.]
- [17] 钟强, 董春晖, 黄志博, 等. 酸性电解水保鲜机理及其在水产品中应用效果的研究进展[J]. 食品科学, 2020, 42(5): 288-295. [ZHONG Qiang, DONG Chunhui, HUANG Zhibo, et al. Research progress of fresh-keeping mechanism and application effect in aquatic products of acidic electrolyzed water[J]. Food Science, 2020, 42(5): 288-295.]
- [18] 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总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Food microbiological examination Aerobic plate count: GB 4789.2-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [19] 张良. 高静压与温度协同杀灭芽孢的效果与机制研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015. [Zhang Liang. Research on effectiveness and mechanism of spore inactivation by high hydrostatic pressure combined with heat[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015.]
- [20] 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总局. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.6-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of moisture in foods: GB 5009.6-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [21] 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总局. 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. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of protein in foods: GB 5009.5-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [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总局. 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. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of fat in foods: GB 5009.6-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [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总局. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of ash in foods: GB 5009.4-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [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总局. 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. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of pH in foods: GB 5009.6-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [25] 徐晨, 诸永志, 葛庆丰, 等. 不同外源蛋白对小龙虾品质的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(4): 20-26. [XU Chen, ZHU Yongzhi, GE Qingfeng, et al. Effect of exogenous proteins on the quality of crayfish balls[J]. Meat Research, 2020, 34(4): 20-26.]
- [26] 曹荣, 刘洪, 殷邦忠, 等. 虾仁 TPA 质构分析及不同熟制加工方式对其品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(6): 1-4. [CAO Rong, LIU Qi, YIN Bangzhong, et al. Application of TPA in peeled prawn and effect of cooking technology on its quality[J]. Food Research and Development, 2010, 31(6): 1-4.]
- [27] 中华人民共和国农业部. 绿色食品 虾: NY/T840-2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012. [Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Green food Shrimp: NY/T840-2012[S]. Beijing: China Standard Press, 2012.]
- [28] MA Xingsheng, YI Shuming, YU Yongming, et al. Changes in gel properties and water properties of *Nemipterus virgatus* surimi gel induced by high-pressure processing[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 61(2): 377-384.
- [29] TANTRATIAN S, KAEPHEN K. Shelf-life of shucked oyster in epigallocatechin-3-gallate with slightly acidic electrolyzed water washing under refrigeration temperature[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 118: 108733.
- [30] 于福田, 岑剑伟, 李来好, 等. 罗非鱼片微酸性电解水杀菌工艺响应面法优化研究[J]. 南方水产科学, 2019, 15(1): 77-84.

- [YU Futian, CEN Jianwei, LI Laihao, et al. Response surface methodology for optimization of sterilization effect on tilapia fillet with slightly acidic electrolyzed water[J]. South China Fisheries Science, 2019, 15(1): 77-84.]
- [31] 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-Food Science and Technology, 2018, 92: 187-194.
- [32] 和劲松, 祁凡雨, 叶章颖, 等. 微酸性电解水储藏和杀菌过程中有效氯衰减的动力学模型[J]. 农业工程学报, 2013, 29(15): 263-270. [HE Jinsong, QI Fanyu, YE Zhangying, et al. Decay kinetics model of available chlorine in slightly acidic electrolyzed water in storage and disinfection process[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(15): 263-270.]
- [33] 葛孟甜, 李正荣, 赖年悦, 等. 两种杀菌方式对即食小龙虾理化性质及挥发性风味物质的影响[J]. 渔业现代化, 2018, 45(3): 66-74. [GE Mengtian, LI Zhengrong, LAI Nianyue, et al. Effects of the two sterilization methods on physicochemical properties and volatile flavor compounds of ready-to-eat *Procambarus clarkii*[J]. Fishery Modernization, 2018, 45(3): 66-74.]
- [34] 邹玉萍. 即食鱼制品的防腐保藏研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008. [ZOU Yuping. Research on antiseptic preservation of instant fish products[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.]
- [35] 杨振泉, 周海波, 高璐, 等. 超声波协同流水净化对克氏原螯虾中菌落总数及菌相构成的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(17): 173-178. [YANG Zhenquan, ZHOU Haibo, GAO Lu, et al. Effect of synergistic purification with ultrasonic and running water on bacterial load and microflora in crawfish(*Procambarus clarkii*)[J]. Food Science, 2015, 36(17): 173-178.]
- [36] SHIROODI S G, OVISSIPOUR M, ROSS C F, et al. Efficacy of electrolyzed oxidizing water as a pretreatment method for reducing listeria monocytogenes contamination in cold-smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J]. Food Control, 2016, 60: 401-407.
- [37] AL-QADIRI H M, AL-HOLY M A, SHIROODI S G, et al. Effect of acidic electrolyzed water-induced bacterial inhibition and injury in live clam (*Venerupis philippinarum*) and mussel (*Mytilus edulis*)[J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 231: 48-53.