

不同清洗方式下克氏原螯虾肉细菌群落及理化性质的变化

谌玲薇^{1,2}, 邱文兴^{1,2}, 杜柳^{1,2}, 熊光权², 乔宇^{2*}, 汪超^{1*}, 汪兰², 黎彩³

(1. 湖北工业大学生物工程与食品学院, 湖北武汉 430068) (2. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064) (3. 武汉梁子湖水产品加工有限公司, 湖北武汉 430050)

摘要: 该研究探讨了克氏原螯虾的三种清洗预处理方式(清洗剂清洗, CA; 超声波清洗, UL; 清洗剂结合超声清洗, CA+UL; 对照组, CK)对克氏原螯虾肉细菌群落以及理化性质的影响。测定了清洗前后小龙虾肉菌落总数、假单胞菌、霉菌酵母、嗜温菌、嗜冷菌、pH、质构特性和风味物质的变化。结果表明, CA+UL处理组减菌效果最好, 清洗后菌落总数减少 1.12 lg CFU/g, 对霉菌酵母, 产硫化菌, 嗜冷菌也有较好的抑制效果, 分别减少了 0.66、0.9、0.82 lg CFU/g。而 CA 组与 UL 组对于霉菌、嗜温菌等细菌减少的效果不太明显, 且清洗后虾肉 pH 有所上升; 而 CA+UL 组 pH 变化不大; 经过清洗后的虾肉品质整体有略微下降。不同清洗方式对挥发性物质也有较大的影响, 产生了 N-甲基异丙基胺等不良气味风味物质。因此, 结合虾肉细菌群落结果与理化性质来看, 超声波与清洗剂结合清洗的效果更优。

关键词: 克氏原螯虾; 清洗剂; 超声清洗; 品质

文章编号: 1673-9078(2023)03-222-229

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.3.0237

Changes in the Bacterial Community and Physicochemical Properties of

Procambarus clarkii Flesh Subjected to Different Cleaning Processes

SHEN Lingwei^{1,2}, QIU Wenxing^{1,2}, DU Liu^{1,2}, XIONG Guangquan², QIAO Yu^{2*}, WANG Chao^{1*}, WANG Lan², LI Cai³

(1.School of Biological and Food, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China) (2.Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear Agriculture Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China) (3.Wuhan Liangzi Lake Products Processing Co. Ltd., Wuhan 430050, China)

Abstract: In this study, the effects of three cleaning pretreatment methods for *Procambarus clarkii* (cleaning agent, CA; ultrasonic cleaning, UL; cleaning agent with ultrasonic cleaning, CA+UL; control group, CK) on the bacterial community and physicochemical properties of the flesh of *Procambarus clarkii* were investigated. The changes in the total numbers of bacteria, pseudomonas, yeast, thermophilic bacteria, psychrotrophic bacteria, pH, texture characteristics and flavor substances of crayfish meat before and after cleaning were examined. The results showed that the CA+UL treatment had the greatest bacteriostatic effect, and the total number of bacteria decreased by 1.12 lg CFU/g after cleaning, and also exhibited good bacteriostatic effects on mold yeast, sulfide-producing bacteria and thermophilic bacteria (decreased by 0.66 lg CFU/g, 0.9 lg CFU/g and 0.82 lg CFU/g, respectively). However, the effects of CA and UL treatments on the reduction of bacteria such as mold and thermophilic bacteria were not obvious, and the pH of shrimp flesh increased after cleaning. The pH of the CA+UL group

引文格式:

谌玲薇,邱文兴,杜柳,等.不同清洗方式下克氏原螯虾肉细菌群落及理化性质的变化[J].现代食品科技,2023,39(3):222-229.

SHEN Lingwei, QIU Wenxing, DU Liu, et al. Changes in the bacterial community and physicochemical properties of *procambarus clarkii* flesh subjected to different cleaning processes [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(3): 222-229.

收稿日期: 2022-03-04

基金项目: 湖北省技术创新专项重大项目(2019ABA087)

作者简介: 谌玲薇(2000-),女,硕士研究生,研究方向:农产品加工与贮藏, E-mail: 3491229625@qq.com

通讯作者: 乔宇(1981-),女,博士,副研究员,研究方向:农产品加工与贮藏, E-mail: qiaoyu412@sina.com; 共同通讯作者: 汪超(1978-),男,博士,教授,研究方向:高值化食品深加工, E-mail: 14352016@qq.com

underwent minimal change, with the overall quality of shrimp flesh decreased slightly after cleaning. Different cleaning methods also affected greatly the volatile substances, causing the production of n-methyl isopropyl amine and other bad smell substances. Therefore, considering the results of bacterial community and physicochemical properties of shrimp flesh, the combined use of ultrasonic and cleaning agent is more desirable.

Key words: *procambarus clarkii*; cleaning agent; ultrasonic cleaning; quality

克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*) 俗名小龙虾, 广泛分布于我国淡水区, 因其肉质鲜美, 受到食客的广泛喜爱。克氏原螯虾对环境的适应能力高, 因此其养殖业与加工餐饮业也日渐发展。由于克氏原螯虾适应性强, 活体与环境直接接触且自身水分活度较高^[1], 活体的克氏原螯虾自身携带许多微生物, 在储藏运输过程中极易腐败变质。甲壳类水产品尤其是小龙虾, 自身营养丰富, 利于细菌等微生物的生长, 故更易遭受微生物破坏。食品的腐败主要是由于优势腐败菌群的存在^[2]。诸多研究表明, 活体的克氏原螯虾优势腐败菌主要有嗜水气单胞菌、芽孢杆菌属^[3]; 冷藏过程中克氏原螯虾的优势腐败菌主要有希瓦氏菌、嗜冷菌属等, 而霉菌酵母则是自然界常见的菌种, 可利用食品中某些物质合称有毒代谢物。本文选取有代表性的假单胞菌、霉菌酵母、产硫化菌、嗜冷菌还有嗜温菌进行测定^[4]。

清洗属于克氏原螯虾加工的前处理, 是保障小龙虾食用安全的基础性环节, 清洗的干净与否决定了其后续加工过程中的品质好坏, 清洗对于小龙虾的运输保存和贮藏期的延长都有一定有益作用。经过清洗的克氏原螯虾微生物指标及理化指标均会有变化。关于水产品清洗的不同处理也有很多, 例如电解水清洗、臭氧处理、鼓泡清洗、有机酸浸泡等。目前水产品的工厂生产中常用的清洗方式有机器清洗和清洗剂清洗。对于克氏原螯虾的机器清洗主要有气泡清洗器、超声波清洗器、滚筒式清洗机与振荡清洗机; 常用的清洗剂有柠檬酸、盐、小苏打等^[5]。赵梦龙等^[6]设计的超声波-紫外线-臭氧智能清洗机也可对水产品进行清洗。

超声波清洗是利用超声波在液体中的空化作用、加速作用使污垢等被分散剥离而达到清洗目的的清洗手段。超声波清洗广泛应用于各种工程领域, 包括材料工程、机械维护、医学工程等各个方面^[7]。在 2011 年, 超声波清洗就已经被应用于船舶清洗系统^[8]。同时, 超声波清洗在食品领域也有了应用, 可用于蔬菜如卷心菜的清洗^[9]。孔金花等^[10]的研究发现, 超声波结合电解水对克氏原螯虾有清洁作用。同时, 超声波作为一种食品处理技术, 对于蔬菜如菠菜等也有保鲜效果^[11]。

清洗剂清洗在工业生产及生活中都有广泛应用,

常见的食品清洗剂有小苏打、柠檬酸、异维 C 钠等。目前的各类清洗剂中大都含有柠檬酸, 柠檬酸在清洗剂中的抑菌效果也已被证实, 且其价格低廉, 是工业生产中经济适用的清洗剂之一。

本文选取机器清洗中的超声波清洗, 与柠檬酸清洗剂清洗以及二者结合清洗, 对其清洗前后菌落数及理化指标进行检测, 为工厂进行克氏原螯虾清洗及后续加工生产具有实际生产意义及提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

原料为购于湖北省武汉市白沙洲水产品批发市场的新鲜小龙虾, 每只重 30~35 g。每组每次处理量为 10~20 只。

柠檬酸 (分析纯), 国药集团化学试剂有限公司; NaCl (分析纯), 国药集团化学试剂有限公司; 平板计数琼脂, 青岛高科技工业园海博生物技术有限公司; 紫红胆盐葡萄糖琼脂培养基, 青岛高科技工业园海博生物技术有限公司; 三糖铁琼脂, 青岛高科技工业园海博生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

TGL-24MC 台式高速冷冻离心机, 长沙平凡仪器仪表有限公司; PEN3 电子鼻, 德国 AIRSENSE 公司; 7890A-5975C GC-MS, 美国 Agilent Technologies 公司; KQ5200DE 超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司; Ta-XT 2i/50 质构仪, 英国 Stable Micro System 公司; PH 计, 赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品的制备

从市场采购的鲜活小龙虾置于少量碎冰中迅速运回实验室, 确保回到实验室小龙虾依然具有活力; 将小龙虾等量分为四组, UL 组 (超声波清洗组) 使用超声波清洗, 超声功率为 200 W, 清洗时间为 10 min; CA 组 (清洗剂清洗) 使用柠檬酸作为清洗剂, 采用浸泡清洗, 柠檬酸质量分数为 0.6%, 虾水质量比为 1:6, 浸泡时间 20 min; CA+UL 组 (清洗剂超声结

合); CK 组 (对照组) 不清洗。

1.3.2 菌落总数

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》, 结果表示为菌落总数的对数 (lg CFU/g)。

1.3.3 假单胞菌

参照 Na 等^[12]的方法, 将 5 g 虾尾肉剪碎放入含有 45 mL 无菌稀释液和无菌玻璃珠的锥形瓶中, 均质摇匀, 经充分振摇后连续制备 10 倍系列稀释液。选择适宜稀释梯度的样品液吸取 1 mL 样品匀液于无菌平皿内, 每个稀释度做两个平板, 倒入紫红胆盐葡萄糖琼脂培养基, 待琼脂凝固后将平板翻转, 在 20 °C 恒温培养箱内培养 3 d 对培养后形成的菌落计数, 并表示为菌落数的对数 (lg CFU/g)。

1.3.4 霉菌和酵母

参照 GB 4789.15-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》第一法 霉菌和酵母平板计数法, 结果表示为菌落数的对数 (lg CFU/g)。

1.3.5 硫化细菌

参照 Na 等^[12]的方法, 将 5 g 虾尾肉剪碎放入含有 45 mL 无菌稀释液和无菌玻璃珠的锥形瓶中, 均质摇匀, 经充分振摇后连续制备 10 倍系列稀释液。选择适宜稀释梯度的样品液吸取 1 mL 样品匀液于无菌平皿内, 每个稀释度做两个平板, 倒入铁琼脂 (TSI), 待琼脂凝固后将平板翻转, 在 20 °C 培养箱内培养 3 d, 对培养后形成的菌落计数, 并表示为菌落数的对数 (lg CFU/g)。

1.3.6 嗜冷菌

参照 Na 等^[12]的方法, 将 5 g 虾尾肉剪碎放入含有 45 mL 无菌稀释液和无菌玻璃珠的锥形瓶中, 均质摇匀, 经充分振摇后连续制备 10 倍系列稀释液。选择适宜稀释梯度的样品液吸取 1 mL 样品匀液于无菌平皿内, 每个稀释度做两个平板, 倒入平板计数琼脂 (PCA), 待琼脂凝固后将平板翻转, 在 4 °C 培养箱内培养 3 d, 对培养后形成的菌落计数, 并表示为菌落数的对数 (lg CFU/g); 并取培养后的特征菌落在 37 °C 下验证培养, 37 °C 下无生长则计数有效。

1.3.7 嗜温菌

参照 Na 等^[12]的方法, 将 5 g 虾尾肉剪碎放入含有 45 mL 无菌稀释液和无菌玻璃珠的锥形瓶中, 均质摇匀, 经充分振摇后连续制备 10 倍系列稀释液。选择适宜稀释梯度的样品液吸取 1 mL 样品匀液于无菌平皿内, 每个稀释度做两个平板, 倒入平板计数琼脂 (PCA), 待琼脂凝固后将平板翻转, 在 37 °C 培养箱内培养 3 d, 对培养后形成的菌落计数, 并表示为菌落

数的对数 (lg CFU/g)。

1.3.8 pH 值和质构特性

称取 10 g 小龙虾虾尾肉剪碎, 加入 100 g 的蒸馏水, 均质后离心取上清液, pH 计校准后测定上清液的 pH 值。

将小龙虾的整条虾尾剥壳后置于质构仪的装载平台上。使用 P/2 圆柱探针, TPA 模式测量尾巴的质构特性 (硬度、弹性、粘聚性和咀嚼度)。测试参数: 测试前速度为 5.0 mm/s; 测试速度, 1.0 mm/s; 返回速度, 5.0 mm/s; 压缩距离 3.0 mm, 触发力 5 g。每个样品做 6 次平行, 取平均值。

1.3.9 气味

准确称取样品 2.0 g 于 20 mL 进样瓶中, 加盖密封, 加入 2 mL 浓度为 0.18 g/mL 的 NaCl, 置于 50 mL 进样瓶中。顶空平衡温度为 35 °C, 平衡 30 min。电子鼻测定条件: 注射针温度 50 °C, 进气量 150 mL/min, 测定时间 120 s, 清洗时间 100 s, 特征值提取时间点设定为 118~120 s。每个样品做 3 次平行。

1.3.10 挥发性物质

参考葛孟甜等^[13]方法略有改动。采, 用顶空固相微萃取分离挥发性物质。称取虾肉 2 g, 置于 5 mL 顶空瓶中, 于 40 °C 磁力搅拌水浴锅中平衡 15 min。用已活化好的 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头顶空吸附 40 min。待吸附完毕后, 取出插入 GC-MS 进样口注射解吸 5 min。

色谱条件: DB-1 ms 弹性石英毛细管柱 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm), 氦气作为载气, 流量 1.0 mL/min, 不分流模式进样, 进样口温度 240 °C。起始柱温 50 °C, 保持 1 min, 10 °C/min 升温至 100 °C, 5 °C/min 升温至 200 °C, 最后以 8 °C/min 升温至 240 °C, 保持 5 min。

质谱条件: 接口温度 280 °C, 离子源温度 230 °C, 四极杆温度 150 °C; 离子化方式: 电子轰击电离; 电子能量 70 eV, 质量范围 35~350 u。

1.4 数据处理

数据处理均使用 Excel 数据处理, 采用 DPS 进行差异显著性分析, 并采用 Origin 2017 进行作图。微生物测定样品取三次平行, 每个梯度取三次平行; 质构特性测定样品每组五次平行; 其余测定皆取三组平行。

2 结果与讨论

2.1 清洗方式对克氏原螯虾菌落总数的影响

不同清洗方式对克氏原螯虾菌落总数的影响如图 1 所示。未经清洗的克氏原螯虾菌落总数为 5.09 lg CFU/g。其他三种清洗方式的菌落总数显著降低 ($P < 0.05$);

其中 CA 组和 UL 组的菌落总数无显著性差异, 但比 CK 组的菌落总数下降 0.81 lg CFU/g 和 0.69 lg CFU/g, 说明清洗剂清洗和超声波清洗对克氏原螯虾都可以达到减菌的效果。Pedrós-Garrido 等^[14]发现, 在超声波处理下, 可使鲑鱼菌落总数最大降低幅度为 0.80~1.50 lg CFU/g。杨振泉等^[15]报道, 超声波协同流水清洗克氏原螯虾显著减少了菌落总数的含量。图中 CA+UL 组的菌落总数为 3.95 lg CFU/g, 显著低于其他三组 ($P<0.05$), 并且比 CK 组低 1.12 lg CFU/g; 这可能是由于边浸泡边超声使得克氏原螯虾所携带的微生物菌群更易除去。

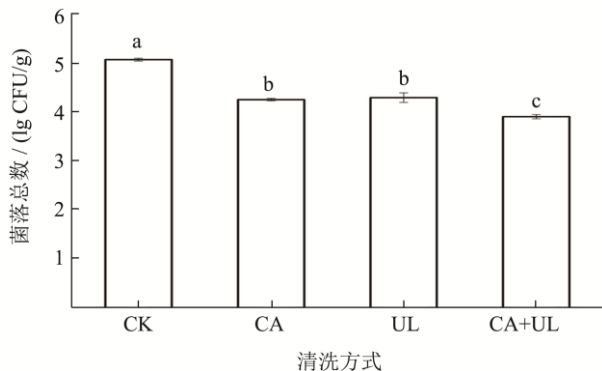


图1 清洗方式对菌落总数的影响

Fig.1 Effect of cleaning methods on the total viable count

注: CK 为对照组; CA 为清洗剂清洗; UL 为超声波清洗; CA+UL 为清洗剂结合超声清洗。图中不同的小写字母表示组内具有显著差异 ($P<0.05$)。下图同。

2.2 假单胞菌的变化

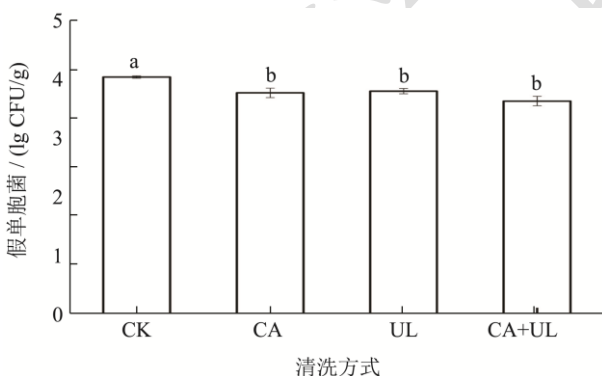


图2 清洗方式对假单胞菌的影响

Fig.2 Effect of cleaning methods on *Pseudomonas*

如图2所示, 与 CK 组相比, CA、UL 以及 CA+UL 组的克氏原螯虾假单胞菌呈现显著下降的趋势 ($P<0.05$), 但这三种清洗方式间无显著性差异 ($P>0.05$)。假单胞菌是肉类腐败过程中最主要腐败菌之一^[16], CK 组的假单胞菌为 4.01 lg CFU/g。CA 组的假单胞菌低于 CK 组, 可能是由于清洗剂中的柠檬酸对假单胞菌的生长繁殖有抑制效果; 这与姜春新

等^[17]的研究结果一致, 低浓度的柠檬酸能有效抑制两种致病假单胞菌生物被膜的形成, 并降低其被膜的厚度, 能够降低假单胞菌蛋白酶的活性。超声波作用可以使表面的微生物脱落、甚至失活, 但其对微生物去污染的效果不明显; 与 CK 组相比, 超声波处理仅使克氏原螯虾的假单胞菌下降了 0.25 lg CFU/g。超声波处理是将菌体的生物被膜从接触表面上脱离下来, 从而达到减菌的效果, 这与冯婷等的研究结果一致^[18], 超声波单独作用于鸡肉表面可使假单胞菌生物被膜减少 0.80 lg CFU/g。CA+UL 组的减菌效果与 CA 和 UL 组无显著性差异, 说明清洗剂协同超声波处理对减菌并无增效的效果。

2.3 霉菌和酵母的变化

图3为不同清洗方式对克氏原螯虾霉菌酵母数量变化的影响。与对照组相比, 经过清洗的克氏原螯虾的霉菌酵母数量呈现显著下降的趋势。与 CK 组相比, CA+UL 组的下降幅度最大, 霉菌酵母数量减少了 0.66 lg CFU/g。CA 组和 UL 组都有减菌的效果, 并且与 CA+UL 组的差异不明显, 说明清洗剂结合超声处理有显著性减菌的效果, 但与单独浸泡清洗的方式无显著性差异。这与夏必帮等^[19]的研究是一致的, 超声波对于霉菌酵母的减少有明显的效果。

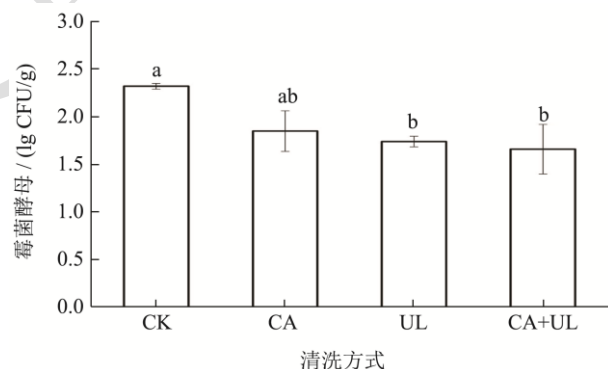


图3 清洗方式对霉菌酵母的影响

Fig.3 The effect of cleaning method on mold and yeast

2.4 产硫化氢菌的变化

如图4所示, 不同清洗方式处理的克氏原螯虾产硫化氢细菌数均低于对照组, 说明清洗剂清洗、超声波清洗以及结合清洗均可有效延缓微生物生长, 从而降低微生物对虾肉中蛋白质和脂肪的分解作用, 进而延缓虾肉的腐败变质。CK 组得产硫化氢菌数量为 4.50 lg CFU/g, 其他三组均低于对照组, 并且 CA+UL 组的产硫化氢菌数量最少, 为 3.60 lg CFU/g; 说明清洗剂结合超声波清洗的效果最佳, 能够有效延缓微生物的生长。研究表明, 腐败希瓦氏菌是典型的产硫化

氢细菌，也是水产品中常见的优势腐败菌^[16]。产硫化氢菌会促使食品产生挥发性含硫化合物，会促使食品产生挥发性含硫化合物，使得克氏原螯虾风味变差。综上，说明清洗剂结合超声清洗处理的克氏原螯虾能够有效延缓腐败并且减弱风味的劣变。

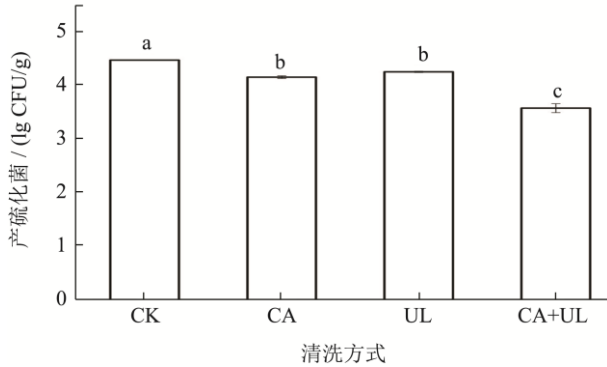


图4 清洗方式对产硫化氢菌的影响

Fig.4 Effect of cleaning methods on hydrogen sulfide producing bacteria

2.5 嗜冷菌的变化

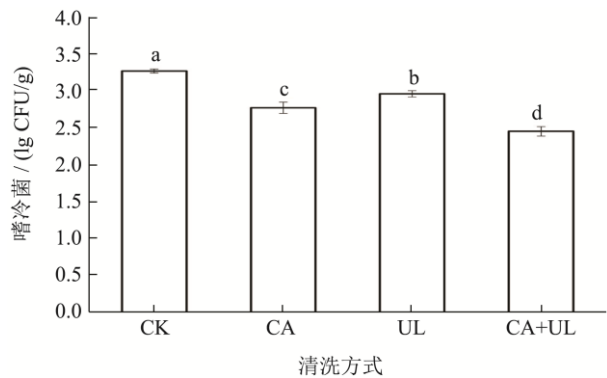


图5 清洗方式对嗜冷菌的影响

Fig.5 Effect of cleaning methods on psychrophilic bacteria

清洗方式对克氏原螯虾嗜冷菌的影响如图5所示，CK组的嗜冷菌为3.28 lg CFU/g。与CK组相比，CA、UL以及CA+UL组的克氏原螯虾嗜冷菌数量呈现显著下降的趋势 ($P < 0.05$)。其中UL组相比于其他两组，嗜冷菌数量较多，主要是因为嗜冷菌是在低

温环境下生存，而超声波处理产热，破坏了低温酶的活性，影响了嗜冷菌保持正常生长所需的新陈代谢活动^[20]。CA组的嗜冷菌含量显著低于UL组，说明清洗剂清洗能够一定程度上的减少嗜冷菌的数量。CA+UL组处理的克氏原螯虾嗜冷菌含量最低，为2.46 lg CFU/g，说明清洗剂清洗结合超声波清洗，能够显著减少嗜冷菌的数量。

2.6 嗜温菌的变化

清洗方式对克氏原螯虾嗜温菌的影响如图6所示，CK组的嗜温菌数量最多，达5.11 lg CFU/g。其他三种清洗方式的嗜温菌数量小于CK组。甲壳类产品嗜温菌可接受的上限为6 lg CFU/g，说明这三种清洗方式使得克氏原螯虾的嗜温菌数量均在可接受的范围内。CA组与UL组的嗜温菌数量分别为4.93 lg CFU/g和4.69 lg CFU/g，无显著性差异；UL组与CA+UL组的嗜温菌数量分别为4.69 lg CFU/g和4.57 lg CFU/g，无显著性差异；但CA组与CA+UL组的嗜温菌数量分别为4.93 lg CFU/g和4.57 lg CFU/g有显著性差异，说明清洗剂浸泡结合超声波处理比单纯的清洗剂清洗效果更好。

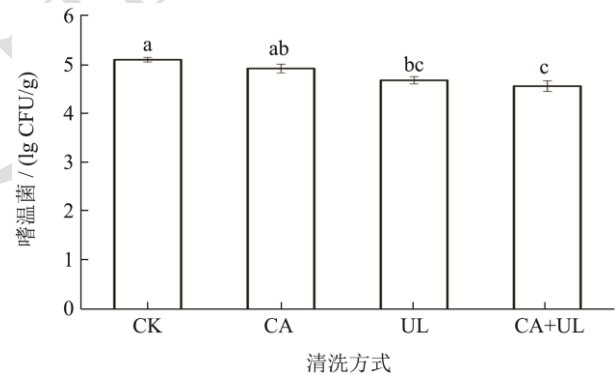


图6 清洗方式对嗜温菌的影响

Fig.6 Effect of cleaning methods on mesophilic bacteria

2.7 pH值和质构特性的变化

表1 清洗方式对克氏原螯虾pH值和质构特性的影响

Table 1 Effects of cleaning methods on pH value and TVB-N value of *Procambarus clarkii*

项目	CK	CA	UL	CA+UL
pH	7.03±0.01 ^d	7.13±0.01 ^b	7.16±0.00 ^a	7.06±0.01 ^d
硬度/g	1 245.86±241.71 ^b	1 379.75±36.94 ^{ab}	1 299.54±201.71 ^{ab}	1 662.17±205.23 ^a
弹性	0.76±0.01 ^a	0.77±0.02 ^a	0.69±0.02 ^b	0.76±0.00 ^a
粘聚性	0.46±0.01 ^d	0.49±0.01 ^c	0.52±0.01 ^b	0.58±0.02 ^a
咀嚼度	303.96±54.78 ^c	509.55±39.97 ^b	545.48±43.47 ^b	724.35±63.83 ^a

注：CK为对照组；CA为清洗剂清洗；UL为超声波清洗；CA+UL为清洗剂结合超声清洗，下表同。表中不同的小写字母表示组内具有显著差异 ($P < 0.05$)。

不同清洗方式对克氏原螯虾 pH 值和质构特性的影响如表 1 所示, CK 组的 pH 值为 7.03, 经清洗剂清洗后, CA 和 UL 组均使 pH 值有显著升高的趋势, 而 CA+UL 组与 CK 组无显著性差异, 这与上述微生物的结果相似, CA+UL 处理后对整体微生物有抑制效果, 使得 pH 值维持在与 CK 组相似的水平上。CK 组、CA 和 UL 组的硬度无显著性差异; CA、UL 和 CA+UL 组硬度无显著性差异。清洗前后对克氏原螯虾弹性也无显著性的差异。经过清洗后, 克氏原螯虾的粘聚性和咀嚼度都有显著升高的趋势, 并且经过清洗剂结合超声波处理的硬度、弹性、粘聚性和咀嚼度都最大, 说明整体来看结合清洗使得克氏原螯虾的肉质变差, CA+UL 组肉质变化较为明显, 这可能是由于超声波的空化作用导致虾壳结构空隙变大, 少量清洗剂进入虾肉组织影响了虾肉肌原纤维间的作用, 使得虾肉整体肉质下降。这与苏艳玲等^[21]的研究是一致的, 清洗会使食品品质有所下降。

2.8 气味的变化

克氏原螯虾经清洗后的气味变化如图 7 所示。第一主成分 (PC1) 的贡献率为 99.84%, 第二主成分 (PC2) 的贡献率为 0.11%, 累计贡献率达到 99.95%; 因此, 可以将图中样品之间所呈现的气味关系视为原

始数据中存在的关系。如图 7 所示, 三种清洗方式对克氏原螯虾的气味分布图无重叠现象, 说明其存在显著性的差异。其中经过 CA 组处理的克氏原螯虾气味与经过 UL 以及 CA+UL 组处理的克氏原螯虾气味有显著性的差异; 而 UL 以及 CA+UL 组处理的克氏原螯虾气味差异不显著, 说明超声对于克氏原螯虾气味的改变贡献较大, 可能超声对于产硫化菌及霉菌酵母的抑制较强, 从而导致气味差异; CA 组的气味变化可能是由于柠檬酸的去腥效果^[22]从而导致克氏原螯虾气味产生一定的差异性变化。

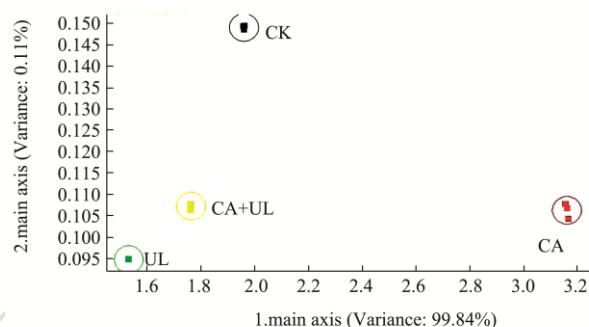


图 7 克氏原螯虾经清洗后气味的变化

Fig.7 Odor changes of *Procambarus clarkii* after cleaning

2.9 挥发性物质的变化

表 2 清洗方式对克氏原螯虾挥发性物质的影响

Table 2 Effects of cleaning methods on volatile compounds of *Procambarus clarkii*

挥发性物质	保留时间/min	不同清洗方式的峰面积 (×10 ⁶)			
		CK	CA	UL	CA+UL
乙醛	11.98			2.30	5.34
丁醛	22.13			0.55	
戊醛	26.80		591.90		
己醛	6.16		0.54	0.62	
壬醛	30.81	8.58	8.82	3.29	5.28
癸醛	26.18	3.12	1.89		2.72
4-甲基-1-戊醇	51.45			1.31	
正己醇	9.56		0.46		
2-乙基己醇	26.42	6.87		55.92	
1-辛醇	19.87		4.33		
2-壬酮	20.59			5.97	3.20
甲基庚烯酮	17.76	14.56	10.39	5.55	8.56
双戊烯	9.75	3.48		6.54	6.00
罗勒烯	18.93			2.15	
环氧乙烷	3.99		2.93	2.69	1.69
2-氨基丁烷	13.76		75.32	22.08	587.43
正辛烷	32.39	1.98		11.39	0.32
正十三烷	31.59			0.80	

续表 2

挥发性物质	保留时间/min	不同清洗方式的峰面积 ($\times 10^6$)			
		CK	CA	UL	CA+UL
十四烷	35.90		1.00	249.80	
十五烷	39.99	1.80	0.90		
十七烷	46.91				
十八烷	48.63		0.97		
十九烷	50.04	0.92			1.24
1,3-二甲基丁胺	11.2		0.19		
N-甲基异丙基胺	13.581			180.00	20.03
硫脲	8.06		33.52	107.26	79.95

克氏原螯虾经清洗后的挥发性物质变化如表 2 所示。CK 组共检出 8 种挥发性物质, CA 组和 UL 组分别检出 14 种和 17 种挥发性物质, CA+UL 组共检出 12 种挥发性物质。在整个过程中共检测出 6 种醛, 其中壬醛和戊醛占比较大; 其中壬醛是油酸氧化的产物, 具有脂肪和柑橘的风味, 而 UL 和 CA+UL 组的壬醛峰面积较低, 说明经过超声波清洗的克氏原螯虾能够显著降低壬醛的峰面积。CA 组的戊醛峰面积为 591.90×10^6 , 而其他组中未检出戊醛, 说明戊醛是清洗剂清洗的克氏原螯虾的特征性挥发性物质。醇类物质中, 饱和醇的阈值较高, 对鱼体风味影响小。不饱和醇及长链醇具有独特的蘑菇和金属气味。其中 2-乙基己醇仅在 CK 组和 UL 组中检测到。烃类化合物主要来自脂肪酸烷基自由基的均裂, 阈值较高, 对虾的风味影响不大。而虾中的烯烃经反应可转变为酮类或醛类, 增强虾的风味。CA+UL 组的烯烃峰面积较大, 可增强虾的风味。从已有的研究中可以知道, 由于微生物的作用, 虾的蛋白质被分解产生胺类物质^[23]; 而 UL 组和 CA+UL 组的 N-甲基异丙基胺的峰面积较高, 说明经超声波处理会使虾的蛋白质被分解^[24], 导致产生不良风味。经过清洗后的虾均出现 2-氨基丁烷, 2-氨基丁烷可做保鲜剂, 这表明经过清洗后的虾保存时间有可能延长。

3 结论

本实验以克氏原螯虾为原料, 通过不同的清洗方式后测定其细菌群落变化以及理化指标的变化。结果表明三种清洗方式对于细菌群落减少均有效果。但在这三种清洗方式中, 清洗剂结合超声清洗对于细菌群落的减少效果最好, 对于霉菌酵母, 产硫化菌, 嗜冷菌的减少也有较好效果, 且较好维持了克氏原螯虾的质构特性及 pH, 清洗剂对于嗜冷菌的减少效果明显, 而超声清洗后霉菌酵母也明显减少, 与清洗剂结合超声清洗效果相当, 但是清洗剂清洗与超声比清洗对于

一些细菌减少的效果不太明显, 且经过清洗后虾肉品质有所降低。而经过不同清洗方式处理后, 克氏原螯虾的气味尤其在挥发性物质上与对照组相比均有差异, 并伴随部分不良气味风味物质的产生。而通过清洗后, 三种清洗方式均使虾肉的肉质有一定程度的降低, 气味也有一定的差异性, 且会有一些不良风味产生。因此, 结合虾肉细菌群落结果与理化性质来看, 超声波与清洗剂结合清洗的效果更优一些。通过本研究, 实际生产加工中可以根据其不同需要选择合适的清洗方式。

参考文献

- [1] 尤祯丹, 蒋玉涵, 陈传君, 等. 虾类劣变机制及其天然生物保鲜技术的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(9): 68-73.
- [2] Fu L, Wang C, Liu N, et al. Quorum sensing system-regulated genes affect the spoilage potential of *Shewanella baltica* [J]. Food Res Int, 2018, 107: 1-9.
- [3] 汤纯. 小龙虾细菌污染情况调查及控制技术[D]. 扬州: 扬州大学, 2020.
- [4] Bekaert K, Devriese L, Maes S, et al. Characterization of the dominant bacterial communities during storage of Norway lobster and Norway lobster tails (*Nephrops norvegicus*) based on 16S rDNA analysis by PCR-DGGE [J]. Food Microbiol, 2015, 46: 132-138.
- [5] 施颖尘, 陈宇琦. 小龙虾清洗设备与清洗剂的研究现状及发展趋势[J]. 中国渔业质量与标准, 2020, 10(4): 70-75.
- [6] 赵梦龙, 王平会, 甘俊武, 等. 超声波-紫外线-臭氧智能清洗机设计[J]. 科技创新与应用, 2020, 28: 25-27.
- [7] Park R, Choi M, Park E H, et al. Comparing cleaning effects of gas and vapor bubbles in ultrasonic fields [J]. Ultrason Sonochem, 2021, 76: 105-118.
- [8] Mazue G, Viennet R, Hihn J Y, et al. Large-scale ultrasonic cleaning system: Design of a multi-transducer device for boat

- cleaning (20 kHz) [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2011, 18(4): 895-900.
- [9] Yu C, Huang X, Fan Y, et al. A new household ultrasonic cleaning method for pyrethroids in cabbage [J]. *Food Science and Human Wellness*, 2020, 9(3): 304-312.
- [10] 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.
- [11] Oda S, Sakaguchi M, Yang X, et al. Ultrasonic treatment suppresses ethylene signaling and prolongs the freshness of spinach [J]. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 2021, 2: 100026.
- [12] Na S, Kim J H, Jang H J, et al. Shelf life extension of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using chitosan and epsilon-polylysine during cold storage [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 115: 1103-1108.
- [13] 葛孟甜, 李肖婵, 林琳, 等. 不同解冻方式对早熟蟹肉理化性质及挥发性风味物质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(8): 81-89.
- [14] Pedrós-Garrido S, Condón-Abanto S, Beltrán J A, et al. Assessment of high intensity ultrasound for surface decontamination of salmon (*S. salar*), mackerel (*S. scombrus*), cod (*G. morhua*) and hake (*M. merluccius*) fillets, and its impact on fish quality [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2017, 41: 64-70.
- [15] 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.
- [16] Angiolillo L, Conte A, Del Nobile M A. A new method to bio-preserve sea bass fillets [J]. *Int J Food Microbiol*, 2018, 271: 60-66.
- [17] 姜春新, 王雅莹, 洪小利, 等. 柠檬酸和乙酸对致病假单胞菌的抗生物被膜研究[J]. *核农学报*, 2021, 35(1): 120-127.
- [18] 冯婷, 孙京新, 邢新涛, 等. 超声波处理对生鲜鸡肉表面假单胞菌生物被膜的去污染作用[J]. *食品科技*, 2014, 39(7): 106-111.
- [19] 夏必帮, 朱文娟, 廖红梅, 等. 热辅助超声波处理对鲜榨火龙果汁品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(1): 6-10.
- [20] Bhatia R K, Ullah S, Hoque M Z, et al. Psychrophiles: A source of cold-adapted enzymes for energy efficient biotechnological industrial processes [J]. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, 9(1): 104607.
- [21] 苏艳玲, 赵毅, 官逍逍, 等. 不同清洗剂对鲜切生菜品质及贮藏期间微生物的影响[J]. *农产品加工*, 2021, 5: 6-10.
- [22] 陈亚玲, 王莉, 张平. 罗非鱼去腥工艺的研究[J]. *肉类工业*, 2020, 11: 21-24.
- [23] Campos C A, Rodriguez O, Losada V, et al. Effects of storage in ozonised slurry ice on the sensory and microbial quality of sardine (*Sardina pilchardus*) [J]. *Int J Food Microbiol*, 2005, 103(2): 121-130.
- [24] Cao H, Sun R, Shi J, et al. Effect of ultrasonic on the structure and quality characteristics of quinoa protein oxidation aggregates [J]. *Ultrason Sonochem*, 2021, 77: 56-85.