

微酸性电解水对鲜切云南红梨贮藏品质影响研究

赵德昆¹, 李凌飞¹, 谭雷妹², 颜晓齐¹, 范江平¹, 叶章颖³, 和劲松^{1*}

(1. 云南农业大学食品科学技术学院, 云南省高校食品加工与安全控制重点实验室, 昆明 650201;
2. 昆明冶金高等专科学校, 昆明 650033; 3. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058)

摘要: **目的** 研究微酸性电解水(slightly acidic electrolyzed water, SAEW)处理对鲜切云南红梨贮藏过程中品质的影响。**方法** 以 SAEW 中有效氯质量浓度、料液比和处理时间为自变量, 样品表面菌落总数的死亡数量级为响应值, 应用响应面法优化其最佳处理条件。按该优化条件对红梨鲜切品进行处理并置于 4 °C 环境中贮藏, 定期测定菌落总数、维生素 C 含量、总糖含量、多酚氧化酶活性、质量损失率及 pH 值, 探讨 SAEW 处理对鲜切云南红梨贮藏品质的影响。用无菌水处理做空白对照。**结果** SAEW 的最佳处理条件为: 有效氯质量浓度 30.00 mg/L、料液比 1:15 (m:V)、处理时间 3.69 min。在此条件下, SAEW 处理能够有效控制云南红梨鲜切品表面微生物数量, 并延缓其贮藏过程中维生素 C 含量和总糖含量的衰减, 抑制多酚氧化酶活性, 而对质量损失率与 pH 均无显著影响。**结论** SAEW 在控制鲜切水果表面微生物危害和延缓品质衰减方面均有一定潜力, 相关结果将为 SAEW 在鲜切水果加工中的应用提供理论依据。

关键词: 微酸性电解水; 云南红梨; 鲜切水果; 贮藏品质

Effects of slightly acidic electrolyzed water on storage quality of fresh-cut Yunnan red pear

ZHAO De-Kun¹, LI Ling-Fei¹, TAN Lei-Shu², YAN Xiao-Qi¹, FAN Jiang-Ping¹,
YE Zhang-Ying³, HE Jin-Song^{1*}

(1. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Key Laboratory of Food Processing and Safety Control of Universities in Yunnan Province, Kunming 650201, China; 2. Kunming Metallurgy College, Kunming 650033, China; 3. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) on storage quality of fresh-cut Yunnan red pear. **Methods** The conditions of SAEW sterilization on fresh-cut Yunnan red pear were optimized by response surface methodology using available chlorine concentration, ratio of material to liquid and processing time as independent values respectively and the order of magnitude of death microorganism as response value. During the storage period, the microorganism colonies number, vitamin C concentration, total sugar concentration, mass lose rate and pH value of samples treated with optimal conditions at 4 °C were periodically determined. Sterile

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金重点项目(2014Z081)、云南省科技厅创新引领与科技型企业培养计划项目(2016RA040)、国家自然科学基金项目(31371875)、北京工商大学食品质量与安全北京实验室开放课题资助项目

Fund: Supported by Yunnan Provincial Department of Education Research Fund (2014Z081), Innovative and Technological Enterprise Project of Yunnan Province Technology Hall (2016RA040) and National Natural Science Foundation of China (31371875) and the fund of the Beijing Laboratory for Food Quality and Safety, Beijing Technology and Business University

*通讯作者: 和劲松, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为食品非热加工与安全控制。E-mail: hejinsong@mail.tsinghua.edu.cn

*Corresponding author: HE Jin-Song, College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China. E-mail: hejinsong@mail.tsinghua.edu.cn

water treatment was used as control. **Results** The optimum processing parameters of SAEW treatment were as follows: available chlorine concentration of 30.00 mg/L, ratio of material to liquid of 1:15 (*m*:*V*), and processing time of 3.69 min. Under these conditions, the growth of microorganisms on surface of samples treated with SAEW was inhibited effectively, the decrement of vitamin C and total sugar were also respectively inhibited, and the activity of polyphenol oxidase in samples treated with SAEW was inhibited, but there were no significant differences in the mass lose rate and the pH value between the quality of fresh-cut Yunnan red pear treated by SAEW and the sterile water. **Conclusion** SAEW has the potential to control microbial damage to fresh-cut fruit surface and delay quality degradation during storage, and the results will provide theoretical basis for the application of SAEW in fresh-cut fruit processing.

KEY WORDS: slightly acidic electrolyzed water; Yunnan red pear; fresh-cut fruits; storage quality

1 引言

云南红梨是云南省内产量较大的一种特色水果,对其进行鲜切处理,不仅能够满足现代人的生活节奏,还能增加产品种类和附加值,延长产业链^[1]。然而,由于水果在鲜切过程中易被微生物污染,从而对食品安全构成威胁,并伴随着品质下降快等问题,因此,为解决这一问题,鲜切水果常采用乳酸钙、抗坏血酸钙和丙酸钙等钙盐处理,但对水果本身风味会造成一定影响^[2,3]。

目前,酸性电解水(acidic electrolyzed water, AEW)已被用于食品清洗领域^[4],它是一种将稀氯化钠溶液或稀盐酸电解成的具有杀菌功效的功能水。根据 pH 值、有效氯质量浓度(available chlorine concentration, ACC)和氧化还原电位(oxidation-reduction potential, ORP)的不同,酸性电解水可以分为强酸性电解水(pH 值<2.7, ACC 为 20~200 mg/L, ORP 为 900~1200 mV)、弱酸性电解水(pH 值为 2.7~5.0, ACC 为 10~60 mg/L, ORP 为 700~900 mV)和微酸性电解水(pH 值为 5.0~6.5, ACC 为 10~30 mg/L, ORP 为 700~900 mV)^[5,6]。微酸性电解水(slightly acidic electrolyzed water, SAEW)具有瞬时、广谱、高效、安全、无残留等杀菌特点,且对皮肤无刺激性,已于 2002 年 6 月被日本厚生劳动省认定为食品添加剂^[7]。近年来 SAEW 倍受国内外关注,在生鲜果蔬杀菌方面也取得了一定的研究进展, Koide 等^[8]、Abadias 等^[9]、Issa-Zacharia 等^[10]、李华贞等^[11]、胡朝晖等^[12]分别用微酸性电解水对鲜切卷心菜、鲜切生菜、鲜切草莓、菠菜、鲜切莲藕进行杀菌处理,结果均表明其具有较好的杀菌效果。此外,周然等^[13]用微酸性电解水对水蜜桃进行处理,结果表明其对水蜜桃果肉有一定的护色效果;马焱娜等^[14]研究了 SAEW 处理对杨梅微生物数目的影响,结果表明 SAEW 处理能保持杨梅的口感和营养价值;凌建刚等^[15]研究了 SAEW 处理对茭白微生物状态的影响,结果也表明 SAEW 在茭白杀菌防腐方面具有一定的潜力。目前,关于 SAEW 处理对鲜切水果贮藏品质影响的报道甚少。

本研究选取云南红梨为原料,研究 SAEW 处理对其贮藏过程中微生物及相关贮藏品质参数的影响,以探究 SAEW

在控制微生物污染和在鲜切水果贮藏品质中的应用前景。

2 材料与方法

2.1 材料与设备

云南红梨:购于云南农业大学附近的农贸市场,选取成熟度一致、大小均一、无机械损伤和病虫害的新鲜云南红梨。

微酸性电解水(自制);硫代硫酸钠、碘化钾、维生素 C、葡萄糖、冰乙酸、草酸、三氯乙酸、苯酚、98%浓硫酸、可溶性淀粉、氯化钠、36%~38%盐酸、无水乙醇(分析纯,四川西陇化工有限公司);平板计数琼脂(分析纯,广东环凯微生物科技有限公司)。

HD-240L 型“水神”微酸性次氯酸水生成机(上海旺旺集团);Seven-Multi 型 pH/电导率/离子综合测试仪(上海梅特勒-托利多仪器有限公司);PL303 电子天平(上海梅特勒-托利多仪器有限公司);YXQ-SG41-280A 高压蒸汽灭菌锅(上海生银医疗仪器仪表有限公司);SPX-150B-Z 恒温生化培养箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂);JJCJ-CJ-1FD 超洁净工作台(苏州市金净化设备科技有限公司);720 可见分光光度计(上海尤尼柯仪器有限公司);DKS 恒温水浴锅(嘉兴中新医疗仪器有限公司);BCD-256KFB 冰箱(青岛海尔股份有限公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 SAEW 的制备及其理化特性参数的测定

以体积分数为 9%稀盐酸溶液作为辅液,自来水为原水,用“水神”微酸性次氯酸水生成机电解生成 SAEW。设备运行约 30 min,待电流稳定后采集 SAEW 用于实验。采用 Seven-Multi 型 pH/电导率/离子综合测试仪对 SAEW 的 pH 值和 ORP 进行测定,ACC 采用碘量法进行测定^[16]。

2.2.2 原材料处理

选取成熟度一致、无病虫害和机械损伤的云南红梨,经去皮、去核后切成大小为 2 cm × 2 cm × 1 cm 的均匀块状,放置于无菌操作台中备用。

2.2.3 SAEW 处理条件优化

以菌落总数死亡的数量级为指标,分别选取有效氯

浓度、料液比和处理时间进行单因素实验,并在单因素实验基础上筛选最佳处理条件以进行后续贮藏实验。

2.2.4 鲜切云南红梨贮藏过程中样品品质变化

将云南红梨鲜切品与 SAEW 按筛选出的最佳条件进行处理,沥干 5 min 后,分别装于 0.04 mm 厚的 1 号无菌聚乙烯塑料薄膜中,并置于(4±1) °C 的冷库中进行贮藏实验,定期对菌落总数、维生素 C 含量、总糖含量、多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)活性、质量损失率及 pH 值 6 个指标进行测定,以此确定 SAEW 处理对鲜切云南红梨品质的影响。每组处理进行 3 次重复,并以无菌水处理为对照组进行实验。

菌落总数: 菌落总数的测定方法参照 GB 4789.2-2010《食品微生物学检验-菌落总数测定》^[17]。

维生素 C 含量: 采用碘量法进行测定^[18]。准确称取 20 g 处理后的红梨样品,放入果汁机中,加入 30 mL 提取液(2%草酸、5%冰乙酸、5%三氯乙酸按 1:1:1 体积混合),制成果汁后,倒入 250 mL 的锥形瓶中,另取 70 mL 提取液分 3 次冲洗果汁机,清洗液转入锥形瓶中,加入 2 mL 淀粉溶液,立即用 I₂ 标准溶液滴定至呈现稳定的蓝色,记录滴定值。

总糖含量: 采用苯酚-硫酸比色法进行测定^[19]。称取 10 g 处理后的红梨样品,加入 100 mL 蒸馏水,40 °C 下超声提取 30 min。待澄清后依次加 1 mL 水、1 mL 苯酚和 5 mL 浓硫酸,静置 30 min 后在 620 nm 波长处测定吸光度,总糖量以葡萄糖计。

多酚氧化酶活性: 参照曹建康^[20]的方法,称取 2.0 g 样品置于离心管中,加入 10 mL 提取磷酸缓冲液,4 °C 下 12000 g 离心 20 min,取上清液进行测定。PPO 活性为 420 nm 波长处每分钟每克样品光密度的变化。

质量损失率: 采用称量法^[21]。以最初果实质量与每次测定果实质量之差占最初果实质量的百分比表示。

pH 值: 称取处理后的红梨样品 20 g,放入果汁机中,加入 20 mL 水制成提取液,取 10 mL 样品提取液于小烧杯中,用 pH 计对样品提取液进行测定,记为其 pH 值^[22]。

2.2.5 数据处理

应用 Design-Expert(Ver. 7.0, Statease 公司)进行优化处理,Excel(Ver. 2003, Microsoft 公司)软件和 Origin 软件(Ver. 8.0, OriginLab 公司)分别进行数据分析和画图处理。利用 SPSS(Ver. 18.0, SPSS 公司)进行显著性分析,显著性水平选取 $P=0.05$,结果以平均值±标准差表示。

3 结果与分析

3.1 SAEW 最佳处理条件优化

3.1.1 不同因素对处理效果的影响

(1) 有效氯浓度对处理效果的影响

为探讨 SAEW 有效氯浓度对鲜切红梨的杀菌效果,

将鲜切云南红梨与不同有效氯浓度(10.00、20.00、30.00、40.00 mg/L)的 SAEW 按 1:10 (*m:V*)料液比混合,浸泡处理 3 min 后,测定其表面菌落总数,结果以表面菌落总数的死亡数量级表示。

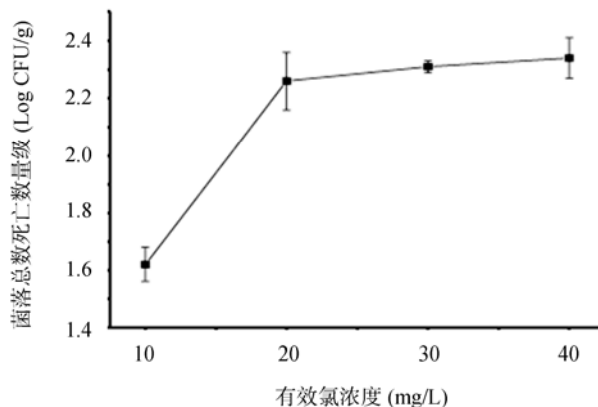


图 1 不同有效氯浓度对菌落总数死亡数量级的影响($n=3$)

Fig. 1 Effect of different concentrations of ACC on total reduction of colonies number in fresh-cut Yunnan red pear ($n=3$)

由图 1 可看出, SAEW 的有效率浓度对鲜切云南红梨的杀菌效果有显著影响。鲜切品表面菌落总数的死亡数量级随着有效氯浓度的增加而逐渐增加,经显著性分析表明,当料液比在 20.00~40.00 mg/L 时,菌落总数死亡数量级没有显著变化。因此较佳的有效氯浓度为 20.00 mg/L,此时能够达到最佳的处理效果。

(2) 料液比对处理效果的影响

为探讨鲜切云南红梨与 SAEW 料液比对杀菌效果的影响,将鲜切云南红梨与 20.00mg/L 的 SAEW 分别按 1:5、1:10、1:15、1:20 (*m:V*)的料液比混合,浸泡处理 3 min 后,测定其表面菌落总数,结果以表面菌落总数的死亡数量级表示。

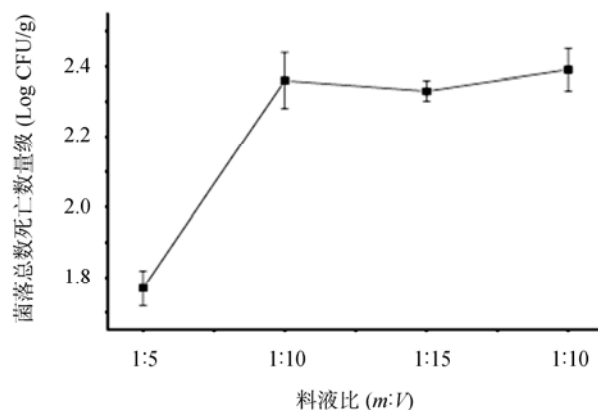


图 2 不同料液比对菌落总数死亡数量级的影响($n=3$)

Fig. 2 Effect of different ratios of material to liquid on total reduction of colonies number in fresh-cut Yunnan red pear ($n=3$)

由图 2 可看出, SAEW 与鲜切品的料液比对鲜切云南红梨的杀菌效果有显著影响, 表面菌落总数的死亡数量级随着料液比增加而逐渐增加, 显著性分析表明, 当料液比达到 1:10 ($m:V$)之后, 菌落总数死亡数量级没有显著变化。因此处理的较适料液比为 1:10 ($m:V$)。

(3) 处理时间对处理效果的影响

为探讨处理时间对杀菌效果的影响, 将鲜切云南红梨与 20.00 mg/L 的 SAEW 按 1:10 ($m:V$)的料液比混合, 分别浸泡 3、6、9、12 min 后, 测定其表面菌落总数, 结果以表面菌落总数的死亡数量级表示。

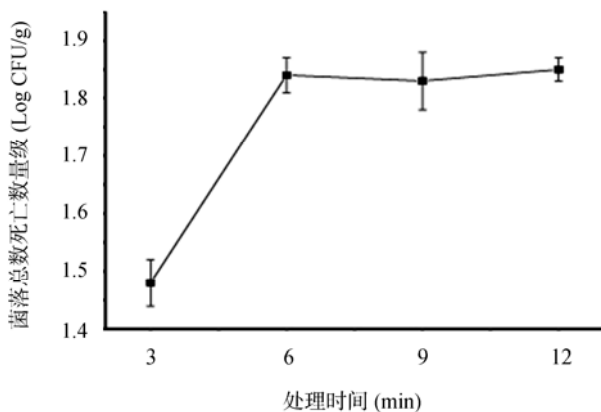


图 3 不同料液比对菌落总数死亡数量级的影响($n=3$)

Fig. 3 Effect of different processing time on total reduction of colonies number in fresh-cut Yunnan red pear ($n=3$)

由图 3 可看出, 处理时间对鲜切云南红梨的杀菌效果有显著影响, 表面菌落总数的死亡数量级随处理时间延长呈先增加后平缓的趋势, 当处理时间达到 6 min 后, 菌落总数死亡数量级没有显著变化。因此, 处理的较佳时间为 6 min。

3.1.2 SAEW 处理条件优化

通过对影响 SAEW 杀菌的因素进行考察, 有效氯浓度、处理料液比和处理时间均为主要的影响因素, 因此采用 Box-Behnken 模型, 选取这 3 种影响因素为主要的因子(自变量), 云南红梨鲜切品表面菌落总数的死亡数量级 Y 为响应值进行优化。实验因子编码及水平见表 1。

表 1 实验因素水平及编码

Table 1 Coded variables and their coded levels in response surface analysis

因素	编码值	真实值	水平		
			-1	0	1
有效氯质量浓度(mg/L)	A	X_1	10.00	20.00	30.00
料液比(g/mL)	B	X_2	1:5	1:10	1:15
处理时间(min)	C	X_3	3	6	9

注: $A=(X_1-20)/10$; $B=(X_2-10)/5$; $C=(X_3-6)/3$

利用 Design-Expert 软件进行回归分析, 得到菌落总数死亡的数量级 Y 对自变量有效氯浓度(A)、处理料液比(B)、处理时间(C)的二次多项回归模型方程为:

$$Y=1.68+0.95A+0.21B+0.076C+0.082AB+0.10AC-0.19BC-0.045A^2+0.023B^2+0.12C^2。$$

对该模型进行方差分析, 结果见表 2。由表 2 可知: 模型项 $F=358.91$, $P<0.0001$, 表明模型极显著; 失拟项 $F=4.88$, $P=0.074>0.05$, 差异不显著, 说明残差由随机误差引起; $r^2=0.9858$, $r_{adj}^2=0.9774$ 说明模型可以解释 97.74% 响应值的变化, 模型拟合程度好, 实验误差小。

综上所述, 处理时间是影响 SAEW 杀菌效果的重要因素, 随处理时间的延长, 鲜切云南红梨表面的菌落总数不断减少。根据回归模型作出相应的响应面见图 4。根据图 4a 可知, 当处理时间为 6 min 时, 料液比不变, 随着有效氯浓度的增加, Y 逐渐增加; 有效氯浓度不变, 随着料液比的增大, Y 也逐渐变大, 对比发现, 有效氯浓度曲面陡于料液比曲面, 表明 SAEW 杀菌过程中有效氯浓度是主要影响因素; 根据图 4b 可知, 当料液比为 1:10 ($m:V$)时, 处理时间不变, Y 随有效氯浓度增加逐渐增大; 有效氯浓度不变, Y 也随处理时间的延长而迅速增大, 对比发现, 有效氯浓度的影响大于处理时间的影响。根据图 4c 可知, 当有效氯浓度为 20.00 mg/L 时, 料液比不变的条件下, 随处理时间的延长, Y 值先迅速增大, 后呈缓慢上升的趋势; 处理时间保持不变时, Y 值随料液比的增加而逐渐增大; 同时处理过程中料液比的影响明显大于处理时间的影响。综合表明, 影响云南红梨鲜切品表面菌落总数死亡数量级变化的最主要原因是有效氯浓度, 其次是处理料液比, 最后是处理时间。

表 2 回归模型方差分析

Table 2 Analysis of variance (ANOVA) for regression equation

响应值	变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著水平
Y 菌落总数死亡数量级 (Log CFU/g)	模型	7.76	6	1.29	116.07	<0.0001	显著
	残差	0.11	10	0.011			
	失拟项	0.098	3	0.016	4.88	0.074	不显著
	纯误差	0.013	4	0.0012			
	总和	7.87	16	0.0033			

$$r^2=0.9858, r_{adj}^2=0.9774$$

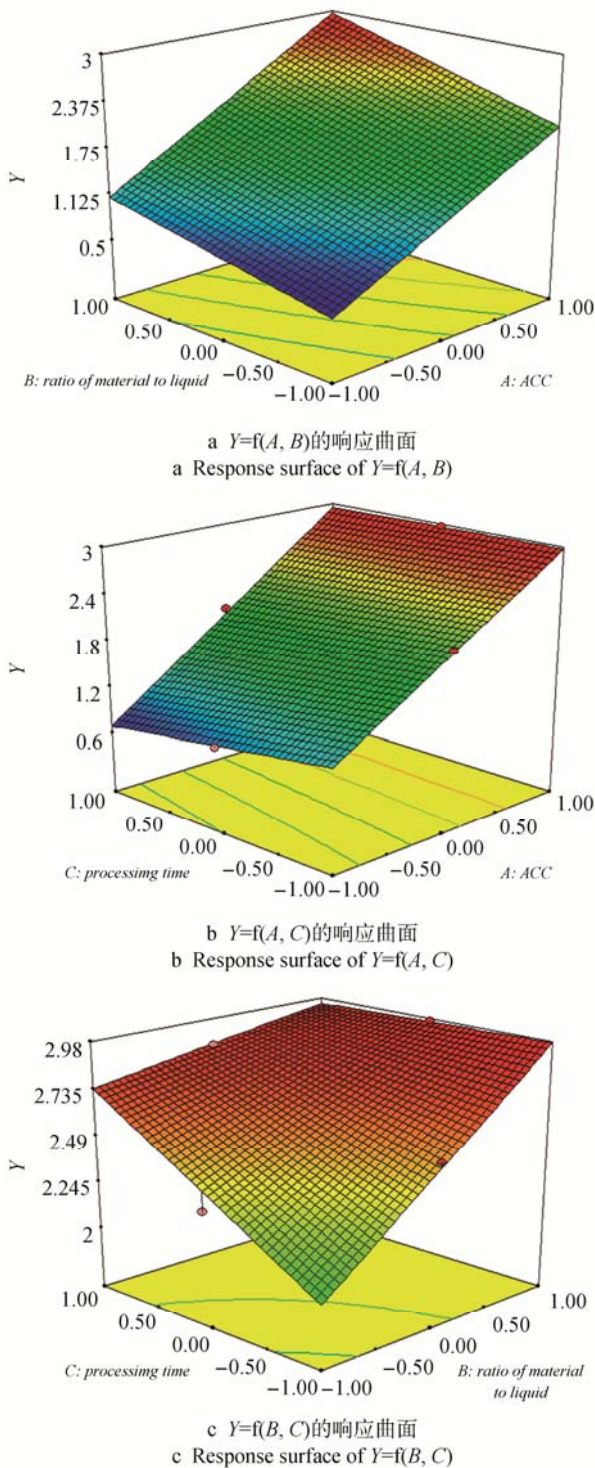


图 4 SAEW 杀灭鲜切云南红梨表面菌落总数的响应曲面
Fig. 4 Response surface of prediction model for SAEW sterilization on colonies number of fresh-cut Yunnan red pear

通过软件分析, 得到红梨鲜切品杀菌的最佳条件为: SAEW 中有效氯浓度 30.00 mg/L, 处理时料液比 1:15 (m:V), 处理时间 3.69 min, 在此工艺条件下计算所得菌落总数死

亡数量级的理论值为 2.97 Log CFU/g。进行 3 次验证实验, 得到实际平均菌落总数死亡数量级为 2.92 Log CFU/g, 两者相对误差为 1.68%。处理后能够使红梨鲜切品表面的微生物数量控制在 50 CFU/g 以内, 具有明显的处理效果。综上可知该模拟得到的最佳杀菌条件准确可行。

因此, 采用有效氯浓度为 30.00 mg/L 的 SAEW (pH=6.06, ORP=812 mV), 料液比为 1:15 (m:V), 处理时间为 3.69 min 对鲜切红梨样品进行处理, 以进行后续实验。

3.2 鲜切云南红梨贮藏过程中样品品质变化

3.2.1 SAEW 处理对鲜切云南红梨表面微生物的影响

微生物因素是影响食品安全的重要因素, 而菌落总数是反映食品中微生物数目的常规指标, 因此, 明确该指标对保证鲜切水果的安全性极为重要。

由表 3 可知, 在贮藏过程中, 鲜切红梨样品表面的菌落总数随贮藏时间的延长而增加。在 0~3 d, 经 SAEW 处理后的红梨样品表面菌落总数明显低于无菌水处理, 分别从 1.65 Log CFU/g 和 2.15 Log CFU/g 增加至 3.75 Log CFU/g 和 4.87 Log CFU/g。从第 3 d 以后, 经两种方式处理后的样品表面的菌落总数无显著性差异, 到第 13 d 时分别达到 5.41 CFU/g 和 5.72 Log CFU/g。

王军霞等^[23]研究了酸性电解水对鲜切香菜表面微生物的影响, 结果表明, 酸性电解水能够高效杀灭鲜切香菜表面的微生物, 且在 0~4 d 内能够有效减缓微生物的生长, 与对照组对比发现, 在贮藏实验结束时, 经酸性电解水处理的鲜切香菜表面微生物数量最少, 其结果与本文结果相一致。综上所述, SAEW 处理有较好的杀菌效果, 且处理后的鲜切云南红梨样品中微生物生长受到抑制, 在贮藏的前 3 d 内有显著的抑制效果。

3.2.2 SAEW 处理对鲜切云南红梨中维生素 C 含量的影响

水果中含有丰富的维生素 C, 它既是维持人体机能的一种重要物质, 同时也是水果的重要营养指标^[24]。维生素 C 的损失是影响产品营养质量的主要因素, 因此是反映鲜切水果品质的重要指标。

图 5 可知, 样品中维生素 C 含量随着贮藏时间的延长呈先升高后降低的趋势, 在第 1 d 时到达最大值, 在贮藏期的前 3 d, 与无菌水处理效果相比, SAEW 处理效果没有显著差异 ($P>0.05$), 而从第 3 d 开始, 两种处理方式对维生素 C 含量的影响非常显著 ($P<0.01$), 表明 SAEW 处理能够延缓维生素 C 的衰减。对比发现, 当贮藏至第 13 d 时, 经 SAEW 处理的样品中维生素 C 含量为 3.47 mg/100 g, 衰减量为最高含量时的 7.77%, 而经无菌水处理的样品中维生素 C 含量则降低至 2.06 mg/100 g, 衰减量为最高含量时的 21.60%。

在第 1 d 样品中维生素 C 含量均上升达到峰值, 可能是由于鲜切处理造成的机械损伤, 促进了果实中乙烯的合

表 3 SAEW 处理对鲜切云南红梨表面菌落总数的影响($n=3$)
Table 3 Effect of microorganism colonies number on fresh-cut Yunnan red pear treated with SAEW ($n=3$)

处理方式	菌落总数(Log CFU/g)						
	0 d	1 d	3 d	6 d	9 d	11 d	13 d
SAEW 处理	1.65±0.01 ^b	2.38±0.09 ^b	3.75±0.07 ^b	4.59±0.11 ^a	4.81±0.18 ^a	4.94±0.14 ^a	5.41±0.19 ^a
无菌水处理	2.15±0.05 ^a	4.08±0.06 ^a	4.87±0.15 ^a	4.96±0.13 ^a	5.38±0.17 ^a	5.58±0.12 ^a	5.72±0.26 ^a

注: 肩标不同小写字母表示同一贮藏时间实验组与对照组数据差异显著($P<0.05$)。

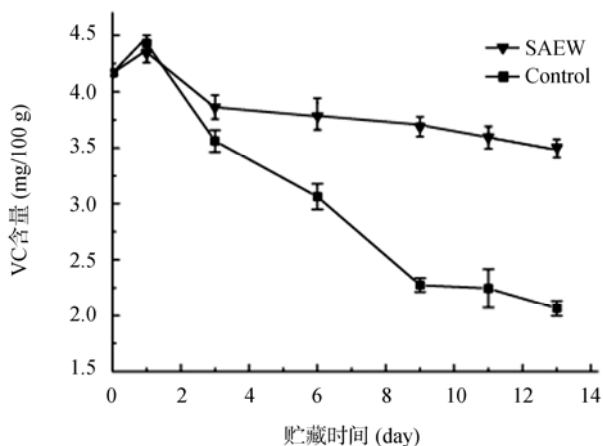


图 5 SAEW 处理对鲜切云南红梨中 VC 含量变化的影响($n=3$)
Fig. 5 Effect of SAEW treatment on vitamin C content in fresh-cut Yunnan red pear ($n=3$)

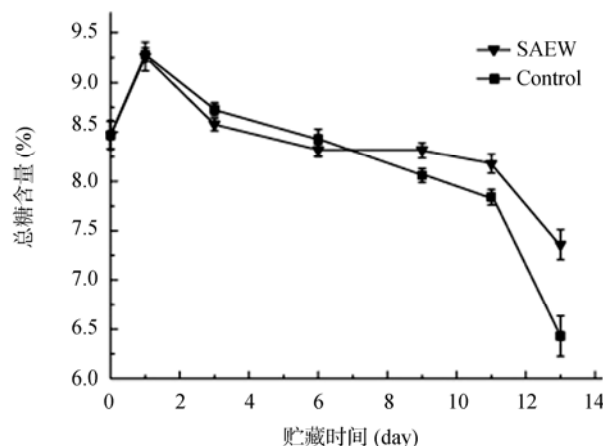


图 6 SAEW 处理对鲜切云南红梨中总糖含量变化的影响($n=3$)
Fig. 6 Effect of SAEW treatment on total sugar content in fresh-cut Yunnan red pear ($n=3$)

成, 激活了苯丙氨酸解氨酶, 从而导致维生素 C 含量迅速升高。于晓霞等^[25]研究了不同清洗液对鲜切哈密瓜中维生素 C 保存率的影响, 结果表明酸性电解水能有效抑制鲜切哈密瓜的呼吸速率, 减缓了维生素 C 的损耗。王丹等^[26]也研究了不同清洗剂处理对鲜切菠菜中维生素 C 含量的影响, 发现当储藏时间到达第 10 d 时, 弱酸性电解水处理的鲜切菠菜维生素 C 含量显著高于无菌水处理的样品。在本研究中, SAEW 处理能够延缓云南红梨鲜切品中维生素 C 含量的降低, 可能是由于 SAEW 处理能够抑制其中部分酶的活性所致。

3.2.3 SAEW 处理对鲜切红梨中总糖含量的影响

总糖是食品生产中的常规分析项目, 它反映的是食品中可溶性单糖和低聚糖的总量, 其含量高低对产品的色、香、味、组织形态和营养价值有一定影响, 因此也是评价电解水对鲜切水果品质影响效果的重要指标。

由图 6 可知, 随贮藏时间的延长, 样品中总糖含量呈先增加后降低的趋势, 在第 1 d 时达到最高。显著性分析结果表明, 在贮藏期的 0~6 d 内, 经 SAEW 处理后的样品中总糖含量与对照组相比均无明显差异($P>0.05$), 从第 9 d 开始, 两种处理间差异均逐渐显著($P<0.05$)。当贮藏至第 13 d 时, 实验组样品中总糖含量为 7.36%, 而对照组样品中总糖含量则降至 6.43%。

结果表明, SAEW 处理能够延缓云南红梨鲜切品中总糖含量的降低, 可能是由于 SAEW 处理可使样品中微生物生长受到抑制, 并使其呼吸强度保持在较低水平, 从而保证了总糖含量损失少。朱军伟等^[27]研究了不同清洗条件对切割黄瓜中可溶性固形物含量的影响, 发现其含量随贮藏天数的增加呈下降趋势, 其中酸性电解水处理组中可溶性固形物含量下降最慢。此外, 在贮藏过程中, 可能是由于水果受到机械损伤而发生乙烯作用, 加速果实的成熟过程, 所以总糖含量先呈现上升趋势^[28]。

3.2.4 SAEW 处理对鲜切红梨多酚氧化酶活性的影响

果实中的多酚氧化酶能够催化酚类与 O_2 反应生成醌, 果实发生酶促褐变的主要酶类, 对鲜切果蔬的感官品质有较为严重的损害, 因此它是鲜切水果品质的重要评价指标。

由图 7 可知, 随贮藏时间的延长, 多酚氧化酶活性呈先上升后下降趋势, 当贮藏至第 6 d 时, 经不同方式处理后的红梨样品中多酚氧化酶活性均达到最高峰。实验组中多酚氧化酶活性均低于对照组, 分析可知, 在贮藏至第 3 d 以后, 两组的多酚氧化酶活性差异显著($P<0.05$)。综上所述, SAEW 处理能够降低多酚氧化酶活性, 从而抑制鲜切云南红梨褐变。

3.2.5 SAEW 处理对鲜切红梨质量损失率的影响

由于水果采后的水分蒸腾作用是其一个重要的生命

现象, 水分损失到一定程度会导致产品出现明显的萎蔫和表皮起皱现象, 影响水果的品质, 缩短货架寿命, 因此, 质量损失率是鲜切水果贮藏品质变化的一个关键指标。

由图 8 可知, 在贮藏期间, 鲜切红梨的质量损失率均随贮藏时间的延长而增大。显著性分析表明, 在贮藏期内, SAEW 和无菌水浸泡处理对红梨样品的质量损失率均没有显著影响($P>0.05$), 当贮藏至第 13 d 时, 经两种方式处理后的红梨样品失重率分别为 6.00% 和 7.00%。

林永艳等^[29]研究了电解水和无菌水处理对鲜切生菜失重率的影响, 结果表明两种处理方法对失重率的影响没有明显的差异。本研究结果与其基本一致, 表明 SAEW 处理不会对红梨鲜切品的失重率造成显著影响。

3.2.6 SAEW 处理对鲜切红梨 pH 的影响

pH 是食品品质变化的一个重要指标, 通过其变化情况不仅能够反映出食品中的酸度, 还可间接反映出食品中物质的改变情况。

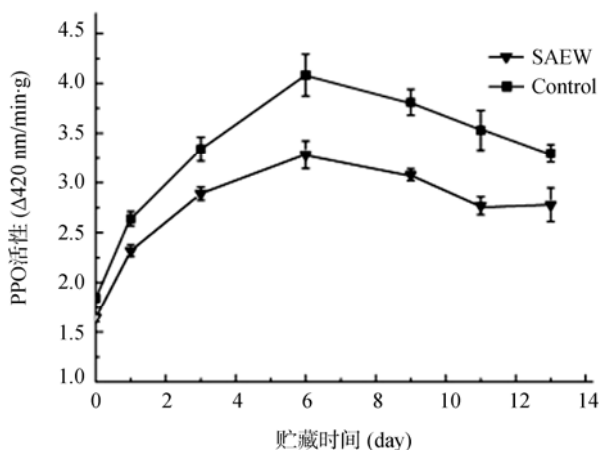


图 7 SAEW 处理对鲜切云南红梨多酚氧化酶活性的影响($n=3$)
Fig. 7 Effect of SAEW treatment on changes of PPO activity of fresh-cut Yunnan red pear ($n=3$)

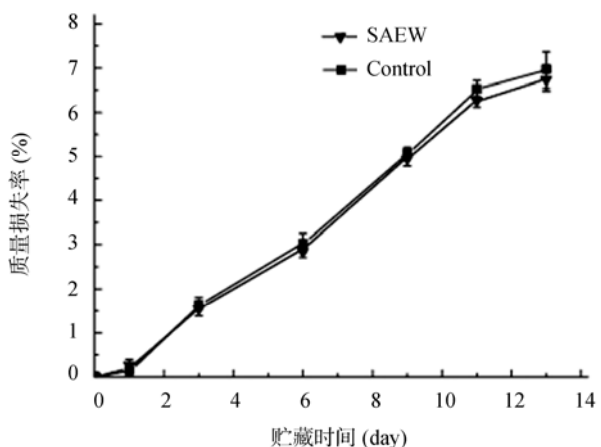


图 8 SAEW 处理对鲜切云南红梨质量损失变化的影响($n=3$)
Fig. 8 Effect of SAEW treatment on changes of mass loss rate of fresh-cut Yunnan red pear ($n=3$)

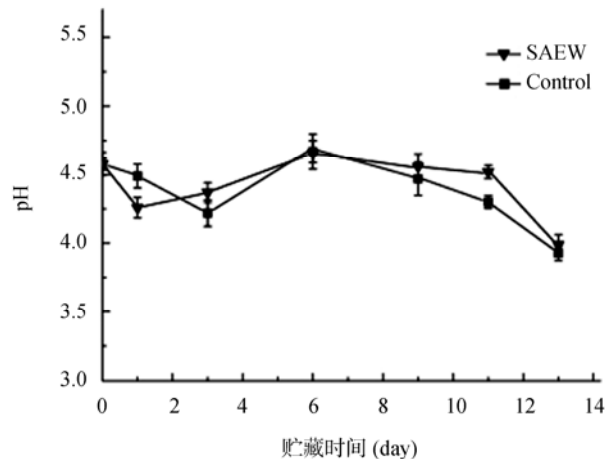


图 9 SAEW 处理对鲜切云南红梨 pH 变化的影响($n=3$)
Fig. 9 Effect of SAEW treatment on changes of pH value of fresh-cut Yunnan red pear ($n=3$)

从图 9 可知, 当贮藏至第 13 d 时, 经 SAEW 和无菌水处理的红梨样品 pH 分别从 4.51 和 4.58 变为 3.98 和 3.93, 显著性分析表明两种处理间无显著差异($P>0.05$)。综上所述, SAEW 浸泡处理不会对贮藏过程中鲜切云南红梨的 pH 造成影响。

4 结 论

SAEW 的最优处理条件为: 有效氯质量浓度 30.00 mg/L, 处理时料液比 1:15 ($m:V$), 处理时间 3.69 min; 在该条件下, SAEW 处理对云南红梨鲜切品表面微生物有较好的杀菌作用, 且在贮藏期的前 3 d 内有很明显的抑菌效果; 同时, SAEW 处理还可减缓红梨鲜切品贮藏过程中维生素 C 含量和总糖含量的衰减, 抑制多酚氧化酶活性, 而对其质量损失率与 pH 无显著影响。因此, 采用 SAEW 对鲜切云南红梨进行处理, 既可减少微生物污染, 又能延缓其贮藏品质的衰退。研究表明, SAEW 在控制果蔬中微生物危害及延缓其品质衰减方面具有很大开发价值, 可进行更为深入的研究, 使之能够应用于鲜切果蔬产业。

参考文献

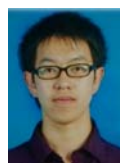
- [1] 林奇, 唐卿雁, 仇明华, 等. 云南红梨采后商品化处理技术[J]. 食品科技, 2006, 31(12): 158-161.
Lin Q, Tang QY, Qiu MY, et al. Commercialized processing technology of Yunnan red pear [J]. J Food Sci Technol, 2006, 31(12): 158-161.
- [2] Francisco LG, Gil MI, Pilar T, et al. Cross-contamination of fresh-cut lettuce after a short-term exposure during pre-washing cannot be controlled after subsequent washing with chlorine dioxide or sodium hypochlorite [J]. J Food Microbiol, 2010, 27(2): 199-204.
- [3] 梁晓璐. 鲜切梨贮藏品质变化及控制技术[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
Liang XL. Quality changes and control technology of fresh-cut pear

- during storage [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.
- [4] Huang YR, Hung YC, Hsu SY, *et al.* Application of electrolyzed water in the food industry [J]. *J Food Control*, 2008, 19(4): 329–345.
- [5] Hricova D, Stephan R, Zweifel C. Electrolyzed water and its application in the food industry [J]. *J Food Prot*, 2008, 71(9): 1934–1947.
- [6] 堀田国元, 郭永明, 译. 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.
Horita Kunishimoto, Guo YM. Foundation application and development prospects of acidic electrolyzed water [J]. *J Chin Nurs Manag*, 2008, 8(4): 7–11.
- [7] Hao JX, Li HY, Wan YF, *et al.* Combined effect of acidic electrolyzed water (AcEW) and alkaline electrolyzed water (AIEW) on the microbial reduction of fresh-cut cilantro [J]. *J Food Control*, 2015, 50: 699–704.
- [8] Koide S, Takeda JI, Shi J, *et al.* Disinfection efficacy of slightly acidic electrolyzed water on fresh cut cabbage. [J]. *J Food Control*, 2009, 20(3): 294–297.
- [9] Abadias M, Usall J, Oliveira M, *et al.* Efficacy of neutral electrolyzed water (NEW) for reducing microbial contamination on minimally-processed vegetables [J]. *Inter J Food Microbiol*, 2008, 123(1–2): 151–158.
- [10] Issa-Zacharia A, Kamitani Y, Muhimbula H. Antimicrobial effect of slightly acidic electrolyzed water for inactivation of *Salmonella* spp. and *Escherichia coli* on fresh strawberries (*Fragaria L.*) [J]. *African J Microbiol Res*, 2010, 4(20): 2174–2180.
- [11] 李华贞, 刘海杰, 宋曙辉, 等. 微酸性电解水杀灭菠菜表面微生物的影响因素[J]. *食品科学*, 2011, 32(17): 95–99.
Li HZ, Liu HJ, Song SH, *et al.* Factors affecting the bactericidal effect of slightly electrolyzed oxidizing water on Spinach surface [J]. *J Food Sci*, 2011, 32(17): 95–99.
- [12] 胡朝晖, 吴彤娇, 李慧颖, 等. 微酸性电解水用于鲜切莲藕杀菌处理的实验研究[J]. *河北工业科技*, 2016, 33(1): 40–45.
Hu CH, Wu TJ, Li HY, *et al.* Experimental study on the disinfection of fresh-cut lotus root using slightly acidic electrolyzed water [J]. *Hebei J Ind Sci Technol*, 2016, 33(1): 40–45.
- [13] 周然, 谢晶, 高启耀, 等. 微酸性电解水结合壳聚糖对水蜜桃护色保鲜的效果[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(18): 281–286.
Zhou R, Xie J, Gao QY, *et al.* Effects of slightly acidic electrolyzed water and carboxymethyl chitosan preservative on flesh discoloration of peaches [J]. *Trans CSAE*, 2012, 23(18): 281–286.
- [14] 马焱娜, 李娇, 徐沁, 等. 弱酸性电位水在杨梅防腐保鲜中的应用[J]. *食品科学*, 2015, 37(14): 253–257.
Ma YN, Li J, Xu Q, *et al.* Application of slightly acidic electrolyzed water in the preservation of *Myrica Rubra* [J]. *Food Sci*, 2015, 37(14): 253–257.
- [15] 凌建刚, 李娇, 康孟利, 等. 弱酸性电位水在茭白防腐保鲜中的应用[J]. *食品科学*, 2015, 36(22): 250–254.
Ling JG, Li J, Kang ML, *et al.* Application of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) in preservation of *Zizania latifolia* stems [J]. *Food Sci*, 2015, 36(22): 250–254.
- [16] 张铁垣. 化验员手册(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
Zhang TY. Laboratory manual (Second edition) [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.
- [17] GB/T 4789.2-2010. 食品安全国家标准 食品微生物学检验-菌落总数测定[S].
GB/T 4789.2-2010. National food safety standard-Microbiological examination of food hygiene-Detection of aerobic bacterial count [S].
- [18] 武汉大学. 分析化学(第四版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
Wuhan university. Analytical chemistry (Fourth edition) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [19] 王永华. 食品分析(第二版) [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2014.
Wang YH. Analytical chemistry (Second edition) [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2014.
- [20] 曹建康. 果蔬采后生理生化实验指导(第二版) [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
Cao JK. Physiological and biochemical experiment instructor of postharvest fruit and vegetable (Second edition) [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [21] 张青, 张天民. 苯酚-硫酸比色法测定多糖含量[J]. *山东食品科技*, 2004, 6(7): 17–18.
Zhang Q, Zhang TM. Determine polysaccharide content with colorimetry of phenol and sulfuric acid [J]. *J Shandong Food Technol*, 2004, 6(7): 17–18.
- [22] 张美芳, 何玲, 冯金霞, 等. 银杏叶提取液复合涂膜对鲜切苹果品质的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(10): 263–267.
Zhang MF, He L, Feng JX, *et al.* Effects of composite coating consisting of *Ginkgo biloba* leaf extract and sodium alginate on quality of fresh-cut 'Red Fuji' apples [J]. *Food Sci*, 2014, 35(10): 263–267.
- [23] 王红霞, 张伟婵, 孟莉新. 水果中 Vc 含量的测定[J]. *宜春学院学报*, 2011, 33(4): 120–121.
Wang HX, Zhang WC, Meng LX. The determination of vitamin C in fruits [J]. *J Yichun Coll*, 2011, 33(4): 120–121.
- [24] Wang H, Luo Y, Feng H. Microbial reduction and storage quality of fresh-cut cilantro washed with acidic electrolyzed water and aqueous ozone [J]. *Food Res Inter*, 2004, 37(10): 949–956.
- [25] 于晓霞, 李燕, 宋星, 等. 不同清洗液对鲜切哈密瓜品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(4): 324–327.
Yu XX, Li Y, Song X, *et al.* Effect of cleaning solutions on the quality of fresh-cut Hami melons [J]. *J Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(4): 324–327.
- [26] 王丹, 张向阳, 马越, 等. 不同清洗剂对鲜切菠菜处理效果的影响 [J]. *食品工业*, 2015, 36(6): 113–116.
Wang D, Zhang XY, Ma Y, *et al.* Effect of different washing agents on the quality of fresh-cut Spinach [J]. *J Food Ind*, 2015, 36(6): 113–116.
- [27] 朱军伟, 谢晶, 林永艳, 等. 清洗条件对切割黄瓜贮藏品质和安全性的影响[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(20): 320–323.
Zhu JW, Xie J, Lin YY, *et al.* Effect of washing methods on quality and safety keeping of fresh-cut cucumbers [J]. *J Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(20): 320–323.

- [28] Navarro-Rico J, Artés-Hernández F, Gómez PA, *et al.* Neutral and acidic electrolysed water kept microbial quality and health promoting compounds of fresh-cut broccoli throughout shelf life [J]. *J Innov Food Sci Emerg Technol*, 2014, 21: 74–81.
- [29] 林永艳. 典型叶类蔬菜低温冷藏工艺的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
- Lin YY. Study on the preservation technology of typical leafy vegetables in low temperature [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



赵德锟, 硕士研究生, 主要研究方向为食品微生物与食品非热加工。
E-mail: 349842093@qq.com



和劲松, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品非热加工与安全控制、液态水功能与构造、食品蛋白凝胶化理论与功能凝胶开发等。
E-mail: hejinsong@mail.tsinghua.edu.cn

“水产品精深加工及水产安全”专题征稿函

随着经济全球化的发展, 水产品的国际贸易的增长加速。水产品是蛋白质、无机盐和维生素的良好来源, 营养丰富, 生理价值较高。水产品的精深加工和安全研究有利于发展渔业经济, 促进我国水产食品质量安全水平, 降低食品安全风险, 保障消费者权益。

鉴于此, 本刊特别策划了“水产品精深加工及水产安全”专题, 由浙江海洋大学邓尚贵教授担任专题主编, 围绕(1)水产品高值化加工技术、水产品副产物的综合利用技术; (2)水产品包装与新型杀菌技术; (3)水产品冷链与物流技术; (4)海洋生物活性物质开发和利用、新型海洋食品与海洋功能食品开发技术; (5)水产品加工过程质量安全控制技术; (6)水产品残留物分析检测技术与装备等或您认为本领域有意义的问题进行论述, 计划在2017年4月份出版。

鉴于您在该领域的成就, 邓尚贵教授和主编吴永宁研究员特邀请您为本专题撰写稿件, 综述、研究论文、研究简报均可, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。请在2017年3月1日前通过网站或Email投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoodsq@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部