

微酸性电解水对宣威火腿切片杀菌效果的研究

赵德昆¹, 高薇珊², 谭雷姝³, 范江平¹, 叶章颖², 和劲松^{1*}

(1. 云南农业大学食品科学技术学院, 昆明 650201; 2. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058;
3. 昆明冶金高等专科学校, 昆明 650033)

摘要: **目的** 研究微酸性电解水(slightly acidic electrolyzed water, SAEW)处理对云南宣威火腿切片的杀菌效果。**方法** 将宣威火腿切片与 SAEW 按不同时间(2.5、5、7.5、10 min)、不同料液比(1:2、1:5、1:10 g/mL)和不同温度(25、40、60 °C)进行浸泡处理, 通过菌落总数变化反映其杀菌效果, 并通过感官品质、颜色和硬度等指标, 探讨 SAEW 杀菌处理对宣威火腿切片品质的影响。**结果** SAEW 对宣威火腿切片表面微生物有较强杀菌效果, 并随处理时间的延长、料液比的增加和温度的升高, SAEW 的杀菌效力不断增强。当料液比为 1:10 g/mL, 浸泡处理 10 min, 火腿切片表面菌落数由最初的 1.57 Log CFU/g 降至 0.79 Log CFU/g; 随着料液比的增加, 火腿切片浸泡处理 10 min, 表面菌落数从最初的 1.57 Log CFU/g 依次降至 1.27、1.01 和 0.79 Log CFU/g; 温度对 SAEW 杀菌有一定协同作用, 随温度升高, 样品表面菌落总数显著降低($P < 0.05$); SAEW 处理对火腿切片的感官品质、颜色和硬度均没有显著影响。**结论** SAEW 处理不仅能够有效控制火腿切片中微生物危害, 还能保证其品质不被破坏, 具有良好的开发潜力。

关键词: 微酸性电解水; 宣威火腿; 杀菌

Sterilization effects of sliced Xuanwei ham treated with slightly acidic electrolyzed water

ZHAO De-Kun¹, GAO Wei-Shan², TAN Lei-Shu³, FAN Jiang-Ping¹, YE Zhang-Ying², HE Jin-Song^{1*}

(1. Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3. Kunming Metallurgy College, Kunming 650033, China)

ABSTRACT: Objective To study the sterilization effects of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) on the sliced Xuanwei ham. **Methods** The aerobic bacterial count was analyzed under different soaking times (2.5, 5, 7.5, 10 min), different ratio of sample to SAEW (1:2, 1:5, 1:10 g/mL) and different temperatures (25, 40, 60 °C). Moreover, effects of SAEW on meat quality were also evaluated from sensory quality, color and hardness. **Results** SAEW had a strong bactericidal activity against microorganisms on ham. As the soaking time prolonged, the amount of SAEW increased and the action temperature increased, the bactericidal effect of SAEW was intensified. The aerobic bacterial count on surface of sliced ham was decreased from 1.57 Log CFU/g to 0.79 Log CFU/g when ratio of sample to

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)、中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2015QNA6006)

Fund: Supported by the Yunnan Provincial Department of Education Research Fund (2014Z081), the Innovative and Technological Enterprise Project of Yunnan Province Technology Hall (2016RA040), the National Natural Science Foundation of China (31371875) and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2015QNA6006)

*通讯作者: 和劲松, 副教授, 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, Associate Professor, College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China. E-mail: hejinsong@mail.tsinghua.edu.cn

SAEW was 1:10 g/mL and soaking times was 10 min. As ratio of sample to SAEW increased, the aerobic bacterial count on surface of sliced ham was dropped from 1.57 Log CFU/g to 1.27, 1.01, 0.79 Log CFU/g in sequence when soaking times was 10 min. The synergistic effect of SAEW combined with temperature was exhibited. With the increase treatment temperature, the aerobic bacterial count on sample had declined significantly ($P < 0.05$). Moreover, there were no significant differences between the sliced Xuanwei ham treated by SAEW and the untreated, from sensory quality, color and hardness, respectively. **Conclusion** SAEW, a new technology with good development potential, can control the microbiological hazard and also maintain the quality of samples.

KEY WORDS: slightly acidic electrolyzed water; Xuanwei ham; sterilization

1 引言

宣威火腿是我国最具代表性的传统干腌火腿之一,因产于云南宣威而得名。其形似琵琶,皮薄肉厚,肥瘦适中,具有鲜、酥、脆、嫩、香等特点,香气成分包括43种芳香化合物,并富含19种氨基酸,11种维生素和9种微量元素,具有较高的营养价值^[1-3]。

随着人民生活水平的提高,即食食品进入人们的生活,开袋即食的生食火腿产作为一种休闲食品正逐渐受到消费者青睐。然而,与西式火腿相比,我国传统干腌火腿在制作过程中,通常在自然条件下发酵成熟,导致微生物污染机会多,同时,在生食产品开发中,切片、包装等加工过程也存在一定微生物风险^[4,5]。因此,寻找出能够控制微生物安全风险、保证生食火腿特有风味和口感的杀菌技术已成为亟待解决的问题,这对于推动生食火腿产业的发展具有重要意义。

近年来,酸性电解水(electrolyzed functional water, EFW)被用于食品清洗领域,它是稀氯化钠溶液或稀盐酸在电场作用下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)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)^[6]。其中,微酸性电解水(slightly acidic electrolyzed water, SAEW)是一种新型功能水,其有效氯几乎完全以杀菌效果极强的次氯酸分子形式存在,杀菌能力是次氯酸根的80~150倍^[7],已被应用于医疗^[8,9]及农业^[10-13]领域。此外,由于SAEW具有无残留、制取方便、对人体无害、不刺激皮肤等特点^[14,15],已于2002年6月10日被日本厚生劳动省指定作为食品添加剂的杀菌剂^[16],并逐渐被应用在食品领域^[17-19],是一种理想的食品消毒保鲜剂。目前国内外关于SAEW的研究主要集中在对各类微生物杀灭效果^[20-23]以及对鲜切果蔬品质^[24,25]的影响,而对鲜食肉品中应用的研究却鲜有报道。

本研究以云南宣威火腿为原料,探讨SAEW处理对

宣威火腿切片表面杀菌效果及其影响因素,并对其品质影响进行分析,以期控制火腿中微生物危害找到一种安全、有效的新方法。

2 材料与方法

2.1 材料与设备

干腌宣威火腿(6~10个月的“新腿”):购于云南农业大学附近农贸市场。

微酸性电解水(ACC=24.25 mg/L, pH=6.06, ORP=812 mV); 硫代硫酸钠、碘化钾、冰乙酸、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(苏州市金净净化设备科技有限公司); CR-400型色差仪(日本Konica Minolta公司); TA.XT Express质构仪(英国Stable Micro Systems公司)。

2.2 试验方法

2.2.1 SAEW的制备及其理化特性参数的测定

配制体积分数为9%的盐酸溶液作为辅液,以自来水为原水,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用于试验。电解水样品的pH值和氧化还原电位采用Seven-Multi型pH/电导率/离子综合测试仪进行测定,ACC采用碘量法进行测定^[26]。

2.2.2 原料准备与处理

在无菌操作台中,用无菌刀具将火腿切割为3 cm×3 cm×1 cm的均匀片状,称重,确保每片火腿质量为(10.00±0.20) g,备用。

分别将火腿切片与SAEW按不同时间(2.5、5、7.5、

10 min)、不同料液比(1:2、1:5、1:10 g/mL)和不同温度(25、40、60 °C)进行浸泡处理, 处理结束时, 取出并置于无菌操作台中沥干 10 min 后, 进行微生物分析。

微生物分析采用平板菌落计数法^[27]。将浸泡后的宣威火腿切片放入装有 90 mL 无菌生理盐水的三角瓶内, 充分振荡 3 min 后, 按 10 倍稀释法进行稀释, 将菌悬液涂布于平板计数琼脂培养基上, 于 37 °C 培养 24 h 后计数。

2.2.3 SAEW 浸泡对宣威火腿切片品质的影响

(1) 宣威火腿切片感官评定

参照 Vermeiren^[28]的方法, 稍加修改。评定小组由 6 人组成, 选取经不同时间、不同料液比处理后的火腿切片, 按照表 1 所示标准分别对其色泽、滋味和质地进行感官评定。

(2) 宣威火腿切片颜色的测定

选取经不同时间、不同料液比处理后的火腿切片, 对其颜色变化进行分析。

应用自动色差仪测定火腿的 L 、 a 、 b 值, 样品测定前进行白板校正。据 CIE(国际照明委员会)及 GB7921-1987 规定, 采用 MINOLTA 公司 CIE. LAB 全自动色差计(CR-400 Chromameter), 光源为 D65(相当于色温为 6500 K 的白昼光), 以标准板标定, 测定切片火腿 L 值(明暗度, 反映色泽的亮度), a 值(Hunter 标度中的 a 轴值, 正数代表红色, 负数代表绿色), b 值(Hunter 标度中的 b 轴值, 正数代表黄色, 负数代表蓝色)^[29]。

(3) 宣威火腿切片硬度的测定

选取不同时间、不同料液比处理后的火腿切片, 使用质构仪对其硬度进行品质分析。对火腿肉质组织纹理同一方向的位置进行测定。

测试条件: 选用平角探头, 触发点负载 5.0 g, 测前速度为 60.0 mm/min, 测中速度为 200.0 mm/min, 测后速度为 600.0 mm/min, 位移距离为 30.0 mm。每个处理组取 3 个样品测定。

2.2.4 统计处理

应用 Origin 软件(Ver.8.0, OriginLab 公司)进行画图分析; 应用 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 处理时间对 SAEW 杀菌效果的影响

为探讨处理时间对 SAEW 的杀菌效果, 在常温(25 °C)下, 将火腿切片与 SAEW 按 1:10 g/mL 料液比混合, 浸泡处理 2.5、5、7.5、10 min, 测定其表面菌落总数。

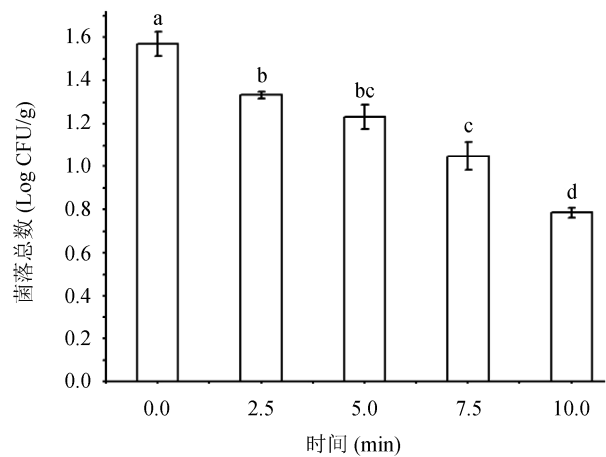


图 1 处理时间对 SAEW 杀菌效果的影响

Fig. 1 Effect of sterilization time on ham sliced with SAEW

如图 1 所示, 火腿切片表面的菌总数随处理时间的增加呈下降趋势。当料液比为 1:10 g/mL 时, 浸泡处理 10 min, 火腿切片表面菌落总数由最初的 1.57 Log CFU/g 降至 0.79 Log CFU/g, 显著性分析表明, 随贮藏时间的延长, 样品表面的菌落总数均显著减少($P < 0.05$)。

李华贞等^[30]用有效氯质量浓度为 28.75 mg/L 的 SAEW 浸泡菠菜, 结果发现菠菜表面微生物总数随处理时间的延长显著降低。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, 火腿切片表面的菌落总数随之降低。

表 1 火腿切片感官评分标准表
Table 1 Sensory evaluation standard of ham sliced

感官	色泽	滋味	质地
5分(优)	色泽均匀, 呈愉悦的红色	呈产品特有风味, 无不良气味, 细嫩鲜嫩, 咸淡适中	切片平整, 紧密有弹性, 有少许气孔
4分(良)	色泽均匀, 呈红色	呈产品特有风味, 无不良气味, 肉质嫩, 略咸略淡	切片平整, 紧密, 有少许气孔
3分(中)	色泽均匀, 略显白色	呈产品特有风味, 无不良气味, 肉质咀嚼一般, 略咸略淡	切片平整, 松散, 有气孔
2分(差)	色泽不均匀, 呈淡白色	略有异味, 肉质黏, 过咸或过淡	切片不平整, 松散, 有气孔
1分(劣)	色泽不均匀, 呈灰白色	有异味, 肉质黏, 过咸或过淡	切片不平整, 松散, 有大量气孔

3.2 处理料液比对 SAEW 杀菌效果的影响

为探讨料液比对 SAEW 杀菌效果的影响,在常温(25 °C)下,分别将火腿切片与 SAEW 按 1:2、1:5、1:10 g/mL 的料液比混合,浸泡处理 10 min 后,测定其表面菌落总数。

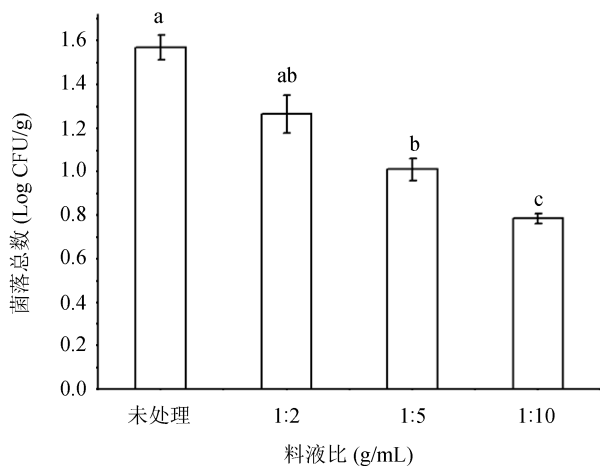


图2 料液比对 SAEW 杀菌效果的影响

Fig. 2 Effect of ratio of liquid to material on ham sliced with SAEW

如图2所示,火腿切片表面的菌落总数随料液比的增加而减少,样品经 1:2、1:5、1:10 g/mL 的料液比浸泡处理 10 min 后,表面菌落总数分别降低至 1.27、1.01 和 0.79 Log CFU/g。经显著性分析表明,在料液比为 1:5 和 1:10 g/mL,处理时间为 10 min 的条件下,杀菌效果显著($P < 0.05$)。

莫根永等^[31]研究了不同料液比条件下,强酸性电解水对南美白对虾的减菌效果,结果表明杀菌效果随电解水用量的增加而增强。综合表明,料液比是影响 SAEW 杀菌效果的重要因素,在一定范围内,料液比越高,杀菌效果越好。

3.3 处理温度对 SAEW 杀菌效果的影响

为探讨温度对 SAEW 杀菌效果的影响,将火腿切片

与 SAEW 按 1:10 g/mL 料液比混合,在 25、40、60 °C 条件下浸泡处理 10 min 后,测定其菌落总数。

由图3可知,随着 SAEW 温度的升高,火腿切片表面菌落总数呈下降趋势。当料液比为 1:10 g/mL,在 25、40、60 °C 条件下处理 10 min 后,样品表面的菌落总数均有显著性的降低($P < 0.05$),分别降至 0.79、0.63 和 0.41 Log CFU/g。

谢军等^[32]研究了 20 °C 和 50 °C 下,酸性电解水对于虾体面的杀菌情况,从其结果可以看出,50 °C 的酸性电解水比室温放置的酸性电解水杀菌效果好。综上表明,温度对 SAEW 的杀菌作用具有一定协同效应,且随温度的升高,协同效果逐渐增强。

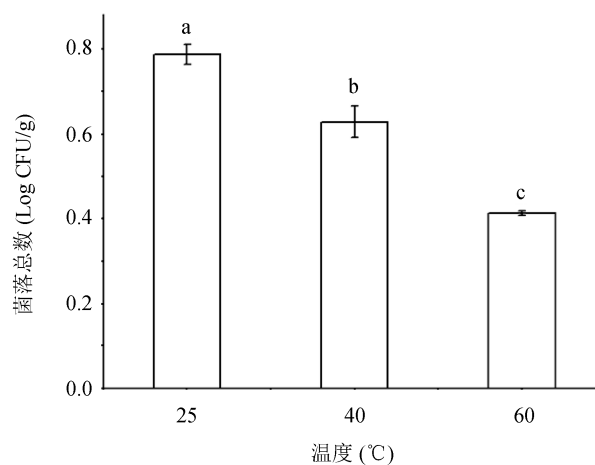


图3 温度对 SAEW 杀菌效果的影响

Fig. 3 Effect of sterilization temperature on ham sliced with SAEW

3.4 SAEW 处理对火腿切片品质的影响

3.4.1 SAEW 处理对火腿切片感官评价的影响

感官评价是人们对食品可接受性最直接、最重要的判断。为探讨 SAEW 的处理时间和料液比对火腿肉质感官评价的影响,选取同一批火腿样品切片,在常温下(25 °C)分别按 1:2、1:5、1:10 g/mL 的料液比与 SAEW 混合,处理 2.5、5、10 min 后,比较其色泽、滋味和质地的变化。

表2 微酸性电解水处理的火腿切片的感官评分
Table 2 Sensory scores of ham sliced with SAEW

处理方式	处理时间(min)	色泽	滋味	质地
SAEW/1:10	2.5	4.83±0.41	4.83±0.41	4.67±0.82
SAEW/1:10	5	4.67±0.52	4.50±0.55	4.33±0.41
SAEW/1:10	10	4.17±0.98	4.26±0.73	4.00±0.89
SAEW/1:2	10	4.17±0.79	4.33±1.03	4.17±0.41
SAEW/1:5	10	4.26±0.82	4.17±0.98	4.17±0.41
SAEW/1:10	10	4.17±0.98	4.26±0.73	4.00±0.89

表 3 微酸性电解水处理的火腿切片表面颜色
Table 3 Color of ham sliced treated with SAEW

处理方式	处理时间(min)	L 值	a 值	b 值
未处理	-	45.91±0.02	12.16±0.02	2.91±0.02
SAEW/1:10	2.5	45.91±0.01	12.18±0.02	2.95±0.02
SAEW/1:10	5	45.83±0.02	12.19±0.01	2.92±0.03
SAEW/1:10	10	45.86±0.03	12.16±0.03	2.89±0.02
SAEW/1:2	10	45.87±0.09	12.15±0.03	2.86±0.01
SAEW/1:5	10	45.62±0.09	12.15±0.02	2.86±0.03
SAEW/1:10	10	45.86±0.03	12.16±0.03	2.89±0.02

由表 2 可知, 在一定条件下, 经 SAEW 处理后的火腿切片色泽均匀, 无不良气味, 切面平整, 感官评分不会随处理时间的增加和处理料液比的增大而发生显著变化($P > 0.05$)。综合表明 SAEW 处理不会对火腿切片的感官品质造成不利影响。

3.4.2 SAEW 处理对火腿切片颜色的影响

食品外观是影响品质的重要因素, 其中颜色是影响消费者购买的关键因素。为探讨 SAEW 的处理时间和料液比对火腿肉质颜色的影响, 选取同一批火腿样品切片, 在常温下(25 °C)分别按 1:2、1:5、1:10 g/mL 的料液比与 SAEW 混合, 处理 2.5、5、10 min 后, 比较其颜色变化。

由表 3 可知, 在一定条件下, 经 SAEW 处理后的火腿颜色(L 值、a 值、b 值)不会随处理时间的增加和处理料液比的增大而发生显著变化, 且与未处理火腿切片相比均未发现明显差异($P > 0.05$)。

杨楠等^[33]利用 SAEW 以 1:20 的料液比对虾仁浸泡 10 min 后, 发现虾仁的颜色随处理时间的增加无明显变化。此外, 朱叶等^[34]研究了酸性电解水浸泡对豆腐色泽的影响, 结果同样表明, 经酸性电解水处理后豆腐的 L 值、a 值、b 值与对照组的 L 值、a 值、b 值之间差异极小。综合表明, SAEW 处理不会对火腿切片表面的颜色造成影响。

3.4.3 SAEW 处理对火腿切片硬度的影响

火腿切片的质地对于火腿品质以及消费者可接受性等方面具有重要的决定作用, 其中硬度是衡量肉制品质构的重要指标, 因此对火腿切片表面硬度的测定就显得尤为重要。为探讨 SAEW 的处理时间和料液比对火腿肉质硬度的影响, 选取同一批火腿样品切片, 在常温下(25 °C)分别按 1:2、1:5、1:10 g/mL 的料液比与 SAEW 混合, 处理 2.5、5、10 min 后, 比较其硬度变化。

表 4 微酸性电解水处理的火腿切片硬度
Table 4 Hardness of ham sliced treated with SAEW

处理方式	处理时间(min)	硬度(N)
未处理	-	4735±105
SAEW/1:10	2	4655±114
SAEW/1:10	5	4641±113
SAEW/1:10	10	4639±105
SAEW/1:2	10	4663±100
SAEW/1:5	10	4645±98
SAEW/1:10	10	4639±105

从表 4 可以看出, 经 SAEW 处理的火腿切片表面硬度与未处理组相比几乎没有变化, 随处理时间和料液比的增加, 表面的硬度均逐渐降低, 但没有显著差异($P > 0.05$)。

周然等^[35]利用电解水对河豚鱼浸泡 5 min 后, 将其放置在 4 °C 条件下冷藏, 发现处理后河豚鱼肉的硬度几乎没有变化, 且电解水处理还能够有效减少冷藏过程中河豚鱼肉硬度的变化。综上表明, SAEW 浸泡能够保持火腿切片的硬度, 不会对其硬度产生不良的影响。

4 结 论

本研究结果表明, 采用 SAEW 对火腿切片进行浸泡处理, 有利于减少其表面微生物。在一定范围内, SAEW 对火腿切片表面微生物的杀菌效果随浸泡时间延长、料液比增加和温度升高而增强, 同时, 对火腿本身的感官品质、颜色和肉质硬度几乎不会造成影响。综上表明, 采用 SAEW

加工技术能够有效控制鲜切食品中微生物危害,具有良好的开发潜力,因此,可对其进行更为深入的研究,使之能够更好地应用于鲜切食品加工领域。

参考文献

- [1] 张新亮, 徐幸莲. 干腌火腿风味研究进展[J]. 食品科学, 2007, 28(8): 510-513.
Zhang XL, Xu XL. Research development of dry-cured ham flavor [J]. Food Sci, 2007, 28(8): 510-513.
- [2] 王燕, 朱仁俊. PCR-DGGE 技术及其在云南传统火腿微生物研究中的应用展望[J]. 肉类工业, 2012, (9): 50-52.
Wang Y, Zhu RJ. PCR-DGGE and its application and prospect in detecting microorganism in Yun-nan traditional ham [J]. Meat Ind, 2012, (9): 50-52.
- [3] 赵成法, 陈玉芹, 郝伟峰, 等. 干腌火腿加工工艺对其风味物质的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(9): 4082-4083.
Zhao CF, Chen YQ, Hao WF, et al. Effects of dry-cured ham processing technics on the flavor substance [J]. J Anhui Agric Sci, 2013, 41(9): 4082-4083.
- [4] 浦绍飞, 姜泽剑, 陈顺浩, 等. 宣威火腿加工工艺及关键质量控制点的研究[J]. 轻工标准与质量, 2015, (4): 24-26.
Pu SF, Jiang ZJ, Chen SH, et al. Research of processing technology and key quality control points on Xuanwei ham [J]. Standard Qual Light Ind, 2015, (4): 24-26.
- [5] 李想, 汪志君, 于海. 干腌火腿的加工工艺及其品质的影响因素[J]. 食品科技, 2010, 35(2): 114-117.
Li X, Wang ZJ, Yu H. Processing technology and the factors influencing the quality of dry-cured ham [J]. J Food Sci Technol, 2010, 35(2): 114-117.
- [6] 张甫生, 李蕾, 陈芳, 等. 非热加工在鲜切果蔬安全品质控制中的应用进展[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 329-334.
Zhang FS, Li L, Chen F, et al. Progress in applications of non-thermal processing technologies in ensuring safety and quality of fresh-cut fruits and vegetables [J]. Food Sci, 2011, 32(9): 329-334.
- [7] 王萌蕾, 陈复生, 杨宏顺, 等. 电生功能水对果蔬杀菌和保鲜效果研究进展[J]. 粮食与油脂, 2014, (5): 12-16.
Wang ML, Chen FS, Yang SH, et al. Research progress effect of electrolyzed water on sanitization and quality attributes of postharvest fruits and vegetables [J]. J Cereals Oils, 2014, (5): 12-16.
- [8] Yu Q, Yasumitsu A, Satoshi K, et al. Cleaning efficacy and dentin micro-hardness after root canal irrigation with a strong acid electrolytic water [J]. J Endodont, 2006, 32(11): 1102-1106.
- [9] 徐学玲, 赵晓燕, 张超, 等. 不同清洗液对草莓中微生物杀灭效果的研究[J]. 食品科学, 2013, 34(19): 58-61.
Xu XL, Zhao XY, Zhang C, et al. Bactericidal effect of different rinsing solutions on microorganisms in strawberries [J]. Food Sci, 2013, 34(19): 58-61.
- [10] 郑伟超, 李保明, 尚宇超, 等. 蛋种鸡场中性电解水带鸡喷雾消毒试验研究[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 270-273.
Zheng WC, Li BM, Shang YC, et al. Experimental study on spraying disinfection with neutral electrolyzed water in a layer breeding farm [J]. Transaction CSAE, 2010, 26(9): 270-273.
- [11] 朱志伟, 李保明, 李永玉, 等. 中性电解水对鸡蛋表面的清洗灭菌效果[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 358-362.
Zhu ZW, Li BM, Li YY, et al. Disinfection effect of neutral electrolyzed water for shell egg washing [J]. Transaction CSAE, 2010, 26(3): 358-362.
- [12] Susan M, William B III. Efficacy of electrolyzed oxidizing water against *Listeria monocytogenes* and *Morganella morganii* on conveyor belt and raw fish surfaces [J]. Food Control, 2012, 24(1-2): 214-219.
- [13] 曹薇, 张春玲, 李保明. 喷洒微酸性电解水对荞麦芽菜生长的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 159-164.
Cao W, Zhang CL, Li BM. Effect of spraying subacidic electrolyzed water on buckwheat sprouts growth [J]. Trans CSAE, 2012, 28(9): 159-164.
- [14] 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.
- [15] Park CM, Hung YC, Lin CS, et al. Efficacy of electrolyzed water in inactivating *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes* on shell eggs [J]. J Food Prot, 2005, 68(5): 986-990.
- [16] 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 Nursing Manag, 2008, 8(4): 7-11.
- [17] Hricova D, Stephan R, Zweifel C. Electrolyzed water and its application in the food industry [J]. J Food Prot, 2008, 71(9): 1934-1947.
- [18] Ye ZY, Qi FY, Pei LW, et al. Using slight acidic electrolyzed water for inactivation and preservation of raw frozen shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in the field processing [J]. J Appl Eng Agric, 2014, 30(6): 935-941.
- [19] 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, 28(18): 281-286.
- [20] Abigail M, Jaesung L, Melvin A P. Efficacy of neutral electrolyzed water for sanitization of cutting boards used in the preparation of foods[J]. J Food Eng, 2012, 10(4): 541-546.
- [21] Abadias M, Usall J, Oliveira M, et al. Efficacy of neutral electrolyzed water (NEW) for reducing microbial contamination on minimally processed vegetables [J]. Int J Food Microbiol, 2008, 123(1-2): 151-158.
- [22] Guentzel JL, Lam KL, Callan MA, et al. Reduction of bacteria on spinach, lettuce, and surfaces in food service areas using neutral electrolyzed oxidizing water [J]. J Food Microbiol, 2007, 25(1): 36-41.
- [23] 林婷, 王敬敬, 潘迎捷, 等. 酸性电解水对纯培养及食品中食源性致病菌杀菌效果比较研究[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 69-74.
Lin T, Wang JJ, Pan YJ, et al. Comparison of the bactericidal activity of acidic electrolyzed water against foodborne pathogenic bacteria in pure culture and foods [J]. J Food Sci, 2013, 34(15): 69-74.
- [24] 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. The application of slightly acidic electrolyzed water in the preservation of *Myrica Rubra* [J]. J Food Sci, 2015, 37(14): 253-257.
- [25] 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]. J Food Sci, 2015, 36(22): 250-254.

- [26] 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.
- [27] 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].
- [28] Vermeiren L, Devlieghere F, Vandekinderen I, *et al.* The sensory acceptability of cooked meat products treated with a protective culture depends on glucose content and buffering capacity: A case study with *Lactobacillus* [J]. *J Meat Sci*, 2006 (74): 532-545.
- [29] 李里特. 食品物性学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
Li LT. Physical properties of foods [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998.
- [30] 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]. *Food Sci*, 2011, 32(17): 95-99.
- [31] 莫根永, 曹荣, 徐丽敏. 强酸性电解水用于对虾减菌化前处理的试验研究[J]. 渔业现代化, 2010, 37(3): 37-41.
Mo GY, Cao R, Xu LM. Study on application of strongly acidic electrolyzed water in sterilization of prawns [J]. *J Fish Mod*, 2010, 37(3): 37-41.
- [32] 谢军, 孙晓红, 潘迎捷, 等. 应用 PCR-DGGE 监测酸性电解水对虾的杀菌效果[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 1-7.
Xie J, Sun XH, Pan YJ, *et al.* Bactericidal efficacy of acidic electrolyzed water on shrimp as monitored by PCR-DGGE [J]. *Food Sci*, 2011, 32(9): 1-7.
- [33] 杨楠. 微酸性电解水对南美白对虾虾仁杀菌效果及品质影响的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
Yang N. Study on sterilization of slightly acidic electrolyzed water to white shrimp and effects on its qualities [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [34] 朱叶, 刘海杰, 李里特, 等. 酸性电解水对成品豆腐的杀菌效果及品质影响研究[J]. 食品科学, 2007, 28(8): 37-40.
Zhu Y, Liu HJ, Li LT, *et al.* Effects on pathogen reduction and Tofu quality treated with electrolyzed oxidizing water [J]. *Food Sci*, 2007, 28(8): 37-40.
- [35] 周然, 刘源, 谢晶, 等. 电解水对冷藏河豚鱼肉质构及品质变化的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 365-369.
Zhou R, Liu Y, Xie J, *et al.* Effects of electrolyzed water on texture and quality of obscure puffer fish (*Takifugu obscurus*) during cold storage [J]. *Trans CSAE*, 2011, 27(10): 365-369.

(责任编辑: 白洪健)

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