

引文格式: 庞文婷, 李思佳, 尹家辉, 等. 中温微酸性电解水并联对鲜切苹果贮藏品质的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2023, 38(6): 997–1005. DOI: [10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).202305040](https://doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).202305040)

中温微酸性电解水并联对鲜切苹果 贮藏品质的影响*

庞文婷[#], 李思佳[#], 尹家辉, 高 晴, 和劲松^{**}

(云南农业大学 食品科学技术学院, 云南 昆明 650201)

摘要:【目的】研究中温微酸性电解水 (slightly acidic electrolyzed water, SAEW) 并联对鲜切苹果贮藏品质的影响。【方法】以 SAEW 中有效氯质量浓度 (available chlorine mass concentration, ACC)、料液比、处理时间和处理温度为自变量, 苹果鲜切片表面菌落总数的死亡数量级为响应值, 应用响应面法得到最佳处理条件; 按该条件对苹果鲜切片进行处理, 并置于 4 ℃ 冰箱贮藏, 每隔 2 d 对菌落总数、维生素 C 含量、硬度、亮度和失重率进行测定。【结果】中温 SAEW 并联加工鲜切苹果的最佳处理条件为: 温度 35 ℃, 浸泡时间 6 min、料液比 1 : 10 (g : mL), ACC 为 30 mg/L。在此条件下处理苹果鲜切片, 其表面菌落总数的平均对数值由 6.54 降为 4.76, 可有效抑制苹果褐变, 延缓维生素 C 含量的衰减, 对失重率无显著影响。【结论】中温 SAEW 并联加工技术既可控制苹果鲜切片表面微生物的总量, 又可延长其贮藏期。研究结果可为中温 SAEW 并联加工技术在水果鲜切片贮藏中的应用提供理论依据。

关键词: 微酸性电解水; 中温; 苹果鲜切片; 贮藏品质

中图分类号: S661.101

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X (2023) 06-0997-09

Effect of Medium Temperature Slightly Acidic Electrolyzed Water in Parallel on Storage Quality of Fresh-cut Apple

PANG Wenting, LI Sijia, YIN Jiahui, GAO Qing, HE Jinsong

(College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: [Purpose] To study the effects of medium temperature slightly acidic electrolyzed water (SAEW) in parallel on the storage quality of fresh-cut apples. [Methods] The available chlorine mass concentration (ACC), solid-liquid ratio, treatment time and treatment temperature in SAEW were used as independent variables, and the death order of magnitude of colonies on the surface of fresh apple slices was used as the response value, the response surface method was used to obtain the best treatment conditions. The fresh apple slices were treated according to this condition and stored in a refrigerator at 4 ℃, the total number of colonies, vitamin C content, hardness, brightness and weight loss rate were measured every two days. [Results] The optimum conditions of the medium-temper-

收稿日期: 2023-05-29

修回日期: 2023-11-13

网络首发日期: 2023-12-26

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (32060573); 云南省重大科技专项 (202202AE090019); 云南省农业联合专项 (202301BD070001-106)。

作者简介: [#]对本文贡献等同, 为并列第一作者。庞文婷 (1998—), 女, 广西钦州人, 在读硕士研究生, 主要从事营养与食品安全研究。E-mail: 2761030963@qq.com; 李思佳 (1995—), 女, 云南保山人, 在读硕士研究生, 主要从事食品非热加工与安全控制研究。E-mail: 1206642396@qq.com

^{**}通信作者 Corresponding author: 和劲松 (1970—), 男, 云南丽江人, 博士, 教授, 主要从事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研究。

E-mail: hejinsong1970@qq.com

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/53.1044.S.20231225.1004.001>



ature SAEW parallel processing of fresh-cut apples were as follows: temperature was 35 °C, soaking time was six minutes, solid-liquid ratio was 1 : 10 (g : mL), ACC was 30 mg/L. Under these conditions, the average logarithm of the total number of colonies on the surface of fresh apple slices decreased from 6.54 to 4.76, which could effectively inhibit apple browning, delay the attenuation of vitamin C content, and had no significant effect on the weight loss rate. [**Conclusion**] The medium-temperature SAEW parallel processing technology can not only control the total amount of microorganisms on the surface of fresh apple slices, but also prolong their storage period. The research results can provide a theoretical basis for the application of medium-temperature SAEW parallel processing technology in the storage of fresh fruit slices.

Keywords: slightly acidic electrolyzed water; medium-temperature; fresh-cut apples; storage quality

近年来, 苹果在全球范围内的产销量居高不下, 中国苹果的产量也在快速增长^[1]。苹果中含有丰富的维生素、有机酸、多酚、黄酮、多糖、微量元素和矿物质, 是日常生活中不可缺少的水果之一^[2]。目前, 市面上的苹果产品主要是苹果醋、苹果汁和苹果干等, 不能满足人们快节奏生活对新鲜苹果的需求。将苹果制成鲜切片不仅能满足现代人快节奏的生活, 还能增加产品的种类和附加值, 延伸苹果的产业链。然而, 苹果鲜切片在贮藏过程中易受微生物的污染, 使其品质下降, 进而引发食品安全危机, 危害人体健康。为解决这一问题, 水果鲜切片常用食品添加剂^[3-6]和低温冷藏^[7]的方式处理, 但不可避免地对水果风味造成一定影响或贮藏时间达不到预期效果, 因此, 亟需开发一种不影响水果品质的贮藏技术。

微酸性电解水 (slightly acidic electrolyzed water, SAEW) 是一种由稀盐酸电解而成、无色无臭的氧化还原产物, pH 值为 5.0~6.5^[8], 其有效氯的杀菌能力是相同浓度下次氯酸根离子的 80~150 倍^[9]。日本厚生劳动省和美国食品药品监督管理局已允许 SAEW 作为食品添加剂中的消毒剂^[10-11]。目前, 国内外关于 SAEW 在食品领域的研究主要集中在食品保鲜^[12]和杀菌消毒^[13]等方面, 近年来 SAEW 常被用于去除果蔬表面的微生物, 保持食品贮藏期间的品质^[14-20]。食品加工行业杀菌的方式多采用热杀菌, 但高温会使食品中的营养成分流失, 相较而言, 中温对食品的损害较小, 但目前鲜有关于中温 SAEW 并联技术对鲜切水果贮藏品质影响的报道。本研究以云南昭通苹果为材料, 探究中温 SAEW 并联加工对控制苹果鲜切片表面微生物的污染及其贮藏过程中品质

参数的影响, 研究结果可为控制鲜切品表面微生物及改善水果贮藏品质提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试苹果购自农贸市场, 选取果实成熟度一致、大小相同且无机械损伤和病虫害的新鲜昭通苹果, 经去皮、去核后切成 2 cm×2 cm×1 cm 的匀块状鲜切片。

碘化钾、可溶性淀粉、36%~38% 盐酸和草酸均为分析纯, 购自天津风船化学试剂科技有限公司; 抗坏血酸和碘均为分析纯, 购自上海试四赫维化工有限公司; 氯化钠为分析纯, 购自天津市鼎盛鑫化工有限公司; 2,6-二氯靛酚为分析纯, 购自天津恒兴试剂公司; 结晶紫中性红胆盐琼脂 (VRBA), 购自广东环凯微生物科技有限公司; 马铃薯葡萄糖琼脂 (PDA), 购自海盛思生化科技有限公司; 无水乙醇为分析纯, 购自天津市富宇精细化工有限公司。

1.2 仪器与设备

HD-240L 型水神微酸性次氯酸发生器, 上海旺旺集团; HH-8 数显恒温水浴锅, 国华电器有限公司; GY-1 水果硬度计, 浙江托普仪器有限公司; DHP-9082B 恒温培养箱, 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; LDZM-60KCS 立式压力蒸汽灭菌器, 上海申安医疗器械厂; JJCJ-CJ-1FD 超洁净工作台, 苏州市金净净化设备科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 SAEW 的制备及其理化特性参数的测定

SAEW 以自来水为原水, 辅以 6% 稀盐酸, 用水神微酸性次氯酸水发生器电解生成, 采集设备电流运行稳定后的 SAEW 用于试验。采用碘量法^[21]

对 SAEW 的有效氯质量浓度 (available chlorine mass concentration, ACC) 进行测定。

1.3.2 菌种的活化及苹果鲜切片接种

用接种环取 1 环保藏在培养基内的菌液接种到灭菌冷却后的肉汤培养基中, 将其放置于恒温振荡器中, 在 37 ℃ 条件下培养 24 h 得到活化的菌悬液。选取大小一致的苹果鲜切片放置于超净操作台, 用移液枪吸取上述菌悬液 1 mL, 均匀滴加到苹果鲜切片表面, 接种量为 10^{6.54} CFU/g, 接种后的苹果鲜切片在超净工作台放置 20 min。

1.3.3 苹果鲜切片的杀菌处理及菌落总数测定

在一定条件下, 分别选取不同 ACC、料液比、浸泡时间和处理温度进行单因素试验。在 25 ℃、30 mg/L ACC、浸泡 5 min 条件下, 以不同料液比 (1 : 5、1 : 10、1 : 15 和 1 : 20, g : mL) 进行处理; 在 25 ℃、30 mg/L ACC、料液比 1 : 10 (g : mL) 条件下, 以不同浸泡时间 (3、6、9 和 12 min) 进行处理; 在 30 mg/L ACC、料液比 1 : 10 (g : mL)、浸泡 5 min 条件下, 以不同温度 (25、35、45 和 55 ℃) 进行处理; 在 25 ℃、料液比 1 : 10 (g : mL)、浸泡 5 min 条件下, 以不同 ACC (10、20、30 和 40 mg/L) 进行处理。按以上条件分别处理苹果鲜切片并测定表面菌落总数, 以无菌水处理为对照, 每个处理重复 3 次。

1.3.4 Box-Behnken 响应面试验设计

根据单因素试验结果, 选取处理温度 (A)、浸泡时间 (B)、料液比 (C) 和 ACC (D) 为主要影响因素 (表 1), 以菌落总数死亡数量级 *Y* 为响应值, 使用 Box-Behnken 进行优化并得到最佳条件。

表 1 试验因素水平及编码			
Tab. 1 Test factor level and coding			
因素 factor	水平 level		
	-1	0	1
A: 处理温度/℃ temperature	25	35	45
B: 浸泡时间/min soak time	3	6	9
C: 料液比 (g : mL) ratio of solid to liquid	1 : 5	1 : 10	1 : 15
D: 有效氯质量浓度/(mg·L ⁻¹) available chlorine mass concentration (ACC)	10	20	30

1.3.5 苹果鲜切片贮藏品质的测定

利用优化后的最佳处理条件对苹果鲜切片进行处理, 再将其分装于无菌聚乙烯塑料薄膜中并密封, 置于 4 ℃ 冰箱贮藏 12 d, 每隔 2 d 测定 1 次菌落总数、硬度、维生素 C 含量、亮度和失

重率, 以确定中温 SAEW 并联加工对苹果鲜切片贮藏品质的影响。每个指标每次重复测定 3 次, 并以无菌水处理作为对照。

(1) 菌落总数: 测定和计数均参照 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》^[22], 结果用 lg(CFU/g) 表示, 菌落总数死亡数量级 (*Y*) 的计算公式为:

$$Y = \lg \left(\frac{N_0}{N} \right)。$$

式中: *N*₀ 为处理前样品表面菌落总数, *N* 为处理后样品表面菌落总数。

(2) 硬度: 用 GY-1 水果硬度计测量。测量前调节硬度计, 使驱动指针与表盘的刻度线“2”对齐。测量时均匀用力使指针垂直于苹果鲜切片表面, 匀速压入苹果中, 当压头的刻度线正好全部没入苹果鲜切片时停止。此时得到的读数即水果的硬度, 重复测量 3 次。

(3) 失重率: 采用称量法测定, 并按照公式计算。失重率=(贮藏前质量-贮藏后质量)/贮藏前质量×100%。

(4) 亮度: 用色差仪定期测定苹果鲜切片表面, 结果以亮度 (*L*^{*}) 表示^[23]。

(5) 维生素 C 含量: 采用 2,6-二氯酚滴定法^[24]测定, 并按照公式计算:

$$X = \frac{(V - V_0) \times T \times A}{m} \times 100。$$

式中: *X* 为维生素 C 含量, mg/100 g; *V* 为滴定苹果鲜切片滤液所消耗的 2,6-二氯酚溶液体积, mL; *V*₀ 为滴定空白所消耗的 2,6-二氯酚溶液体积, mL; *T* 为每毫升 2,6-二氯酚溶液相当于维生素 C 的毫克数, mg/mL; *A* 为稀释倍数; *m* 为试样质量, g。

1.4 数据统计与分析

使用 Design-Expert 优化最佳处理条件; 使用 Excel 软件进行数据处理; 使用 Origin 软件绘图; 使用 SPSS 进行显著性分析, 显著性水平取 *P*=0.05。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 料液比对表面菌落总数的影响

由图 1 可知: 鲜切苹果表面菌落总数的死亡数量级随料液比的增加而增加, 样品经料液比

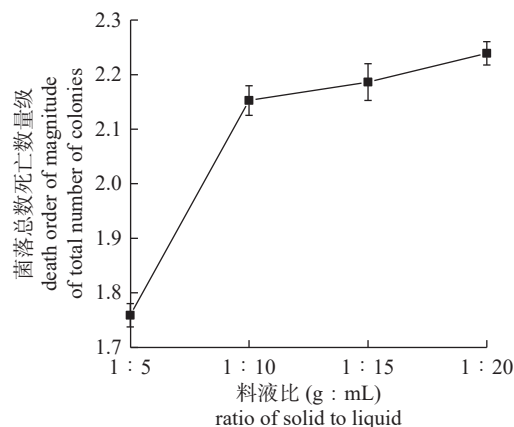


图 1 不同料液比对菌落总数死亡数量级的影响

Fig. 1 Effects of different ratios of solid to liquid on the death order of magnitude of the total number of colonies

1 : 5、1 : 10、1 : 15 和 1 : 20 (g : mL) 浸泡处理 5 min 后, 表面菌落总数的死亡数量级分别增加至 1.76、2.15、2.19 和 2.24。显著性分析表明: 当料液比达到 1 : 10 后, 菌落总数死亡数量级无显著性差异 ($P>0.05$), 根据最小剂量最低成本达到最优效果原则, 选择料液比 1 : 10 (g : mL) 为响应面试验的零水平。

2.1.2 处理时间对表面菌落总数的影响

由图 2 可知: 苹果鲜切片表面的菌落总数死亡数量级随着处理时间的增加而逐渐增加。在 3~6 min 内, 菌落总数死亡数量级由 1.07 增加至 1.51, 且有显著性差异 ($P<0.05$), 而 6~12 min 内菌落总数死亡数量级无显著性差异 ($P>0.05$)。综

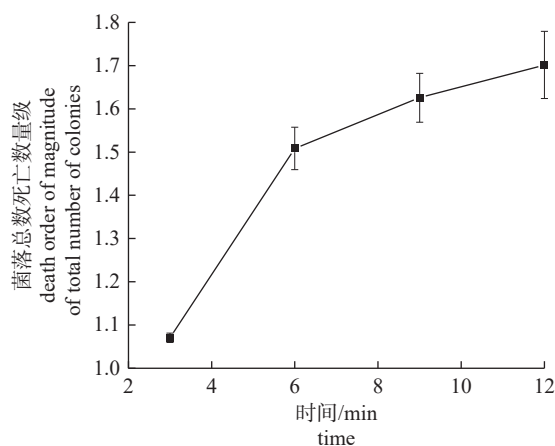


图 2 不同处理时间对菌落总数死亡数量级的影响

Fig. 2 Effects of different treatment time on the death order of magnitude of the total number of colonies

合考虑, 选择处理时间 6 min 为宜。

2.1.3 处理温度对表面菌落总数的影响

由图 3 可知: 随着处理温度的升高, 苹果鲜切片表面菌落总数死亡数量级逐渐增加, 样品经 25、35、45 和 55 °C 浸泡处理 5 min 后, 表面菌落总数的死亡数量级分别增加至 1.48、1.77、1.81 和 1.88。显著性分析显示: 在 25~35 °C 之间菌落总数死亡数量级有显著性差异 ($P<0.05$), 在 35~45 °C 之间菌落总数死亡数量级无显著性差异 ($P>0.05$)。综合考虑, 选择 35 °C 为最佳处理温度。

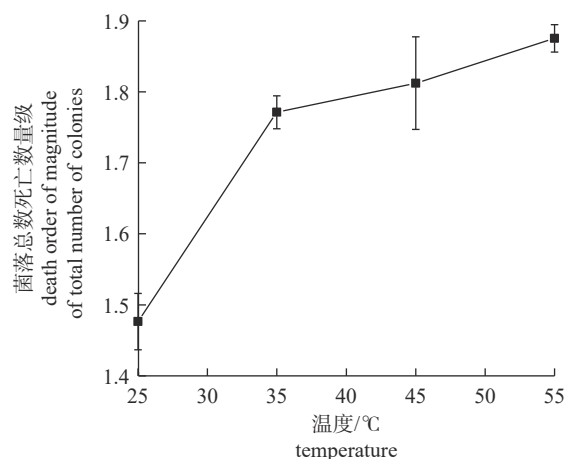


图 3 不同处理温度对菌落总数死亡数量级的影响

Fig. 3 Effects of different treatment temperatures on the death order of magnitude of the total number of colonies

2.1.4 有效氯质量浓度对表面菌落总数的影响

由图 4 可知: 菌落总数死亡数量级随 ACC 的增加而增加, 当 ACC 为 10~20 mg/L 时, 菌落总数死亡数量级由 1.49 增加至 1.65, 显著性分析表明: 苹果鲜切片表面菌落总数死亡数量级有显著性差异 ($P<0.05$); 当 ACC 为 20~40 mg/L 时, 苹果鲜切片表面菌落总数死亡数量级无显著性差异 ($P>0.05$)。当 ACC 为 20 mg/L 达到最佳处理效果, 故选择 20 mg/L 为最佳 ACC。

2.2 响应面优化结果

回归分析得到菌落总数死亡数量级 (Y) 关于处理温度 (A)、浸泡时间 (B)、料液比 (C) 和 ACC (D) 的二次多元回归方程为: $Y=1.57+0.51A+0.18B+0.10C+0.18D-0.07AB-0.15AC+0.13AD+0.11BC-0.13BD+0.04CD-0.28A^2-0.05B^2-0.08C^2-0.02D^2$ 。对该回归方程进行方差分析, 结果 (表 2) 显示: 回归方程的模型项 $F=16.94$, $P<0.0001$, 表明模

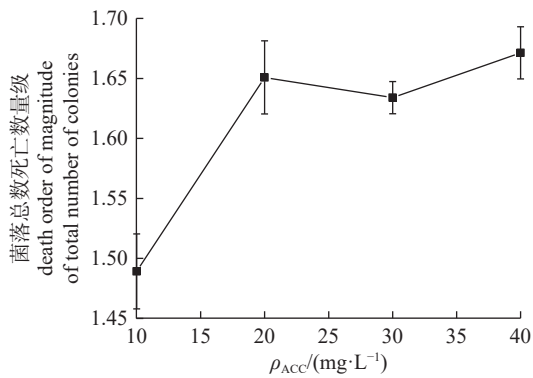


图 4 不同有效氯质量浓度 (ACC) 对菌落总数死亡数量级的影响

Fig. 4 Effects of different available chlorine mass concentrations (ACC) on the death order of magnitude of the total number of colonies

表 2 方差分析

Tab. 2 Variance analysis

响应值 response value	方差来源 source of variance	平方和 quadratic sum	自由度 degree of freedom	均方 mean square	F值 F-value	P值 P-value
Y	模型 model	4.89	14	0.35	16.94	<0.000 1**
	A	3.16	1	3.16	153.26	<0.000 1**
	B	0.39	1	0.39	19.02	0.000 7**
	C	0.12	1	0.12	6.01	0.027 9*
	D	0.39	1	0.39	18.67	0.000 7**
	AB	0.02	1	0.02	0.95	0.346 3
	AC	0.09	1	0.09	4.22	0.059 2
	AD	0.07	1	0.07	3.15	0.097 6
	BC	0.05	1	0.05	2.24	0.156 7
	BD	0.07	1	0.07	3.53	0.081 1
	CD	0.01	1	0.01	0.31	0.586 4
	A ²	0.51	1	0.51	24.96	0.000 2**
	B ²	0.02	1	0.02	0.72	0.409 1
	C ²	0.04	1	0.04	1.97	0.181 8
	D ²	0.00	1	0.00	0.08	0.787 5
	残差 residual error	0.29	14	0.02		
	失拟项 misfit term	0.25	10	0.03	2.68	0.177 4
	纯误差 pure error	0.04	4	0.01		
	总和 summation	5.18	28			

注: “*”表示差异显著; “**”表示差异极显著。
Note: “*” indicates significant differences; “**” indicates extremely significant differences.

型极显著; 失拟项 $F=2.68$, $P=0.1774>0.05$, 差异不显著, 表明残差由随机误差引起; 模型的确

定系数 $R^2=0.9443$, $R^2_{\text{adj}}=0.8885$, 表明模型的拟合度较好, 且误差较小, 可以将此模型用于对苹果鲜切片表面菌落总数死亡数量级的分析和预测。

图 5 显示: 理论最佳处理温度 35 ℃、浸泡时间 6 min、料液比 1 : 10 (g : mL)、ACC 30 mg/L, 在此条件下得到菌落总数死亡数量级的理论值为 1.82。为确保优化条件的可行性, 在此优化条件下对苹果鲜切片进行处理, 并进行 3 次重复验证试验, 得到菌落总数死亡数量级的实际值为 1.78, 与理论值较为吻合, 说明可以按该优化条件对苹果鲜切片进行 12 d 的贮藏试验。

2.3 苹果鲜切片贮藏过程中的样品品质变化

2.3.1 对表面微生物的影响

由图 6 可知: 在贮藏过程中, 贮藏时间越长, 苹果鲜切片表面菌落总数越多。在 0~12 d 的贮藏时间内, 经中温 SAEW 并联加工处理的苹果鲜切片表面菌落总数的平均对数值由 0.74 增加到 2.34, 对照组的菌落总数平均对数值由 1.25 增加到 2.47, 对照组苹果鲜切片表面菌落总数明显高于中温 SAEW 并联处理的苹果鲜切片表面菌落总数。

2.3.2 对维生素 C 含量的影响

由图 7 可知: 对照组和处理组的苹果鲜切片维生素 C 含量随贮藏时间的增加而逐渐减少。贮藏 0~3 d, 对照组的维生素 C 含量高于处理组; 贮藏 3 d 后, 同一贮藏时间内处理组的苹果鲜切片维生素 C 含量均高于对照组, 表明处理组维生素 C 含量的流失速度比对照组缓慢。

2.3.3 对亮度变化的影响

由图 8 可知: 经过中温 SAEW 并联加工和蒸馏水处理后苹果鲜切片的亮度 (L^* 值) 随贮藏时间的延长均呈下降趋势, 表明苹果鲜切片的褐变随着贮藏时间的延长而加重。贮藏 1~12 d, 中温 SAEW 并联加工的苹果鲜切片 L^* 值的衰减速度明显比对照组缓慢; 相同贮藏时间下, 中温 SAEW 并联加工的苹果鲜切片的 L^* 值明显高于对照组 L^* 值。

2.3.4 对硬度的影响

由图 9 可知: 苹果鲜切片的硬度随贮藏时间的增加逐渐下降, 但经中温 SAEW 处理的苹果鲜切片的硬度变化幅度小于对照组。贮藏 0~12 d, 处理组和对照组的苹果鲜切片硬度分别从 8.50 kg/cm² 降低至 6.50 和 5.00 kg/cm²; 在相同的

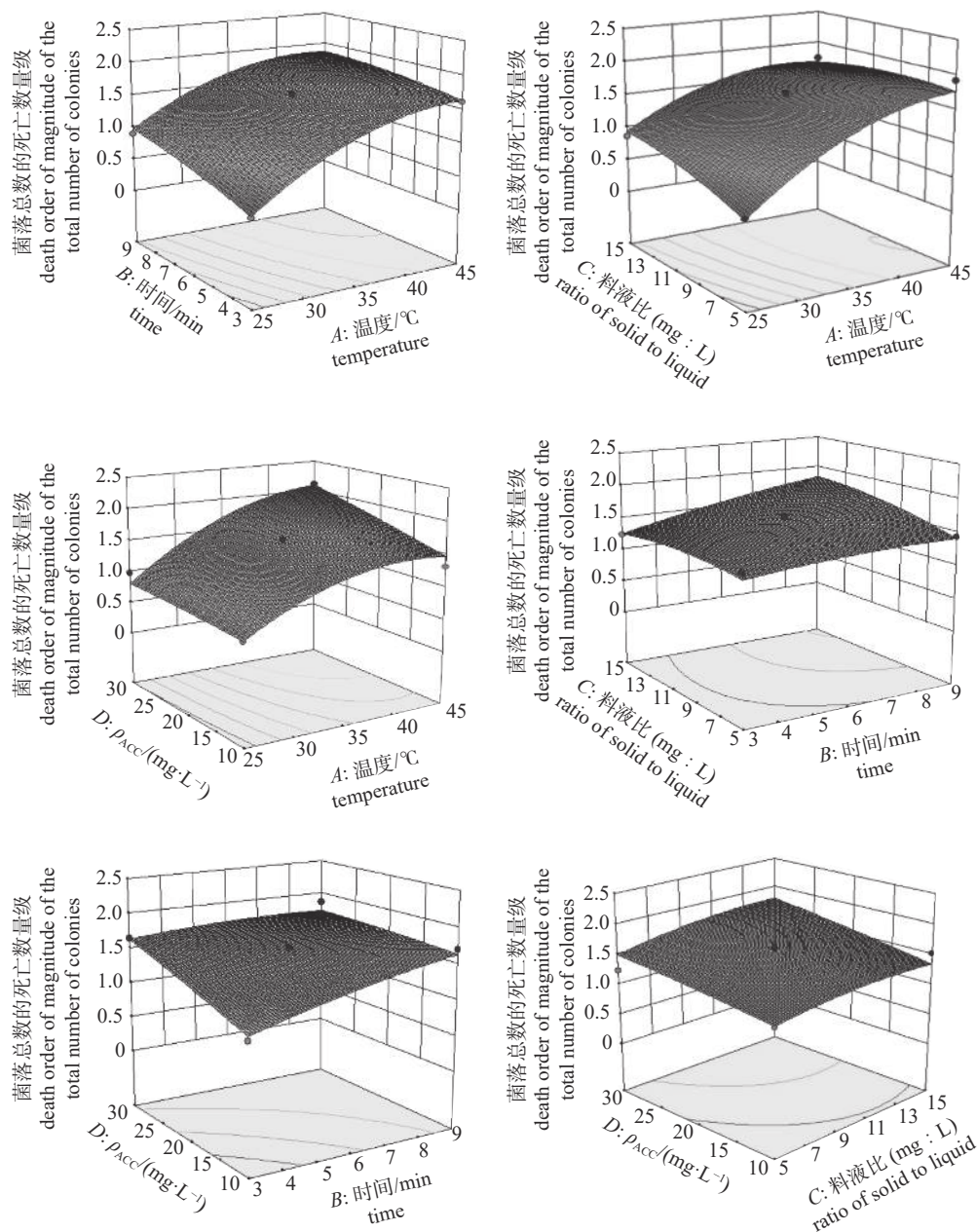


图 5 中温 SAEW 并联加工杀灭苹果鲜切片表面菌落总数的响应曲面

Fig. 5 Response surface of the parallel processing of medium temperature SAEW to kill the total number of colonies on the surface of fresh apple slices

贮藏时间内, 处理组的苹果鲜切片硬度大于对照组, 说明 SAEW 处理能够减缓苹果的软化速度。

2.3.5 对失重率的影响

由图 10 可知: 贮藏期间苹果鲜切片的失重率均逐渐增加, 对照组的失重率高于处理组。在相同的贮藏时间, 处理组和对照组的失重率数值相近, 表明中温 SAEW 并联处理对苹果鲜切片的质量损失没有显著影响, 反而对失重率有一定的缓解作用。

3 讨论

本研究表明: 在有效氯、处理时间及温度一定的条件下, 随着料液比的增加, 杀菌效果显著, 可能是因为随着 SAEW 用量的增加, 使得苹果鲜切片浸泡更加充分, 接触面积增大, 从而杀菌效果增强。其中, 随着 ACC 的升高, 苹果鲜切片表面抑菌效果显著, ACC 是抑菌的关键因素, 这一结果与赵德锐等^[25]对云南鲜切红梨的研

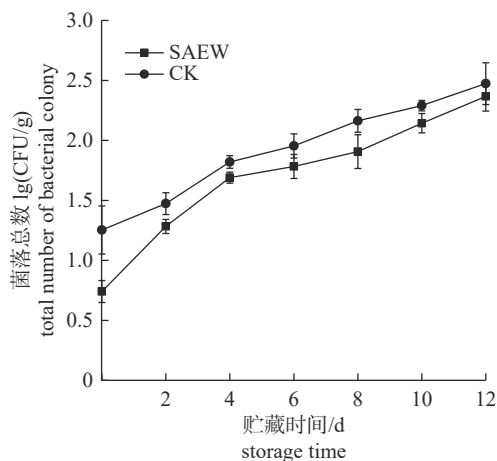


图 6 中温 SAEW 并联加工处理对苹果鲜切片表面菌落总数的影响

Fig. 6 Effects of parallel processing of medium-temperature SAEW on the total number of bacterial colonies on the surface of fresh apple slices

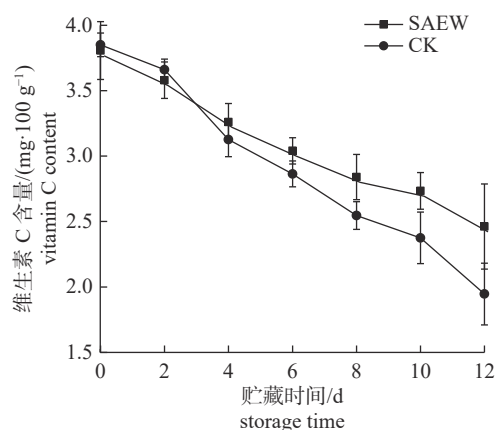


图 7 中温 SAEW 并联加工对苹果鲜切片中维生素 C 含量的影响

Fig. 7 Effects of parallel processing of medium-temperature SAEW on the content of vitamin C in fresh apple slices

究结果一致。有研究表明: 在不同料液比条件下, 强酸性电解水对微生物的杀菌效果随电解水用量的增加而增强^[26], 用酸性氧化电位水浸泡鲜参切片, 在一定的浸泡时间内杀菌效果显著^[27]; 用微酸性氧化电位水处理金黄色葡萄球菌与大肠杆菌, 在一定处理时间范围内, 处理时间越长杀菌效果越好^[28]。以上规律与本研究结果一致。为探究温度对苹果鲜切片表面菌落总数死亡数量级的影响, 本研究选择了不同温度处理苹果鲜切片, 结果表明随着温度的升高杀菌效果增强。有研究发现: 使用 SAEW 对微生物进行杀菌时, 温度越高杀菌效果越好^[29-30], 这可能是由于高温使

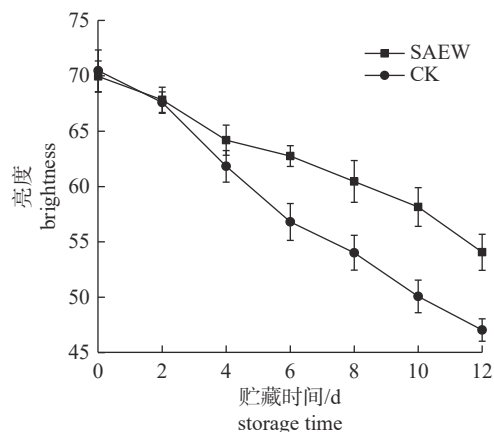


图 8 中温 SAEW 并联加工对苹果鲜切片亮度变化的影响

Fig. 8 Effects of parallel processing of medium-temperature and slightly acidic electrolyzed water on the brightness of fresh apple slices

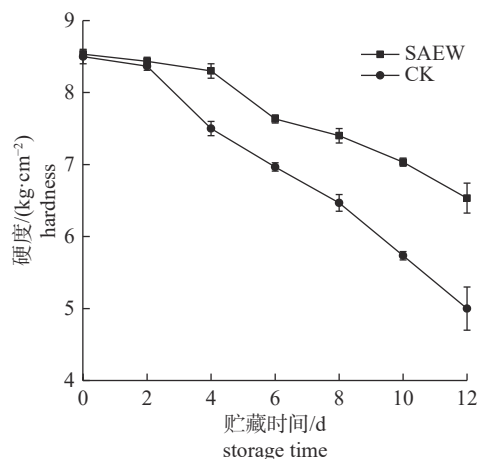


图 9 中温 SAEW 并联加工对苹果鲜切片硬度的影响

Fig. 9 Effects of parallel processing of medium-temperature and slightly acidic electrolyzed water on the hardness of fresh apple slices

部分微生物失活, 从而导致菌落总数死亡数量级增加, 但考虑到高温热杀菌会造成苹果鲜切片营养物质流失和感官品质损坏, 因此选择 35 °C 作为最佳处理温度。

本研究表明: 中温 SAEW 并联加工技术可有效抑制苹果鲜切片表面菌落总数的增长, 延缓苹果鲜切片的腐败, 这一结果与 SAEW 处理野生菌^[29]、采后西兰花^[31]、苹果^[32]和宣威火腿贮藏品质的影响结果^[33]一致。此外, SAEW 处理能减少果蔬中维生素 C 的流失^[34-35], 中温 SAEW 并联加工技术可以延缓苹果鲜切片的褐变速度, 与 SAEW 能够有效抑制面条和鲜切天麻在储存期间颜色劣

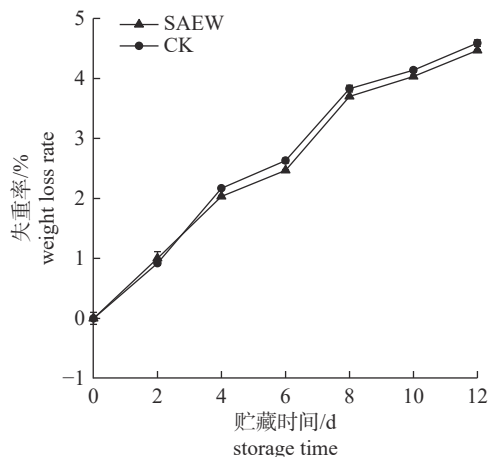


图 10 中温 SAEW 并联加工对苹果鲜切片失重率的影响
Fig. 10 Effects of medium temperature SAEW parallel processing on the weight loss rate of fresh apple slices

变的结果^[36-37]相似。中温 SAEW 并联处理苹果鲜切片后减缓了苹果鲜切片软化的速度,也有研究表明:使用 SAEW 对蓝莓进行保鲜,其处理组的硬度是对照组的 1.42 倍^[38],分析其原因是 SAEW 处理可抑制果胶酶的活性,减缓果胶分解,可以达到保持果实硬度的目的。中温 SAEW 并联处理不会对苹果鲜切片的失重率产生显著影响,这与林永艳^[39]对鲜切生菜失重率的研究结果一致。这些结果表明中温 SAEW 并联处理能够有效减少果蔬表面的微生物,延缓腐败过程,从而延长贮藏时间和提高贮藏品质,在控制果蔬微生物污染和延长货架期方面具有巨大潜力。

4 结论

中温 SAEW 并联的最佳处理条件为:处理温度 35 ℃,浸泡时间 6 min,料液比 1 : 10 (g : mL),有效氯质量浓度 30 mg/L。在此条件下,中温 SAEW 并联对苹果鲜切片表面的微生物有较好的杀菌作用,且在 4 d 内有良好的抑菌效果。同时,中温 SAEW 并联处理还可以减缓苹果鲜切片贮藏过程中维生素 C 含量的流失、褐变速度及软化速度,而对其失重率无显著影响。因此,采用中温 SAEW 并联对鲜切苹果片进行处理,可有效减少微生物污染,延缓苹果鲜切片腐败,延长其贮藏时间,达到增加货架期的目的。

[参考文献]

[1] 2021年度中国苹果产业发展报告(总篇)精简版[J]. 中国果菜, 2023, 43(1): 1. DOI: 10.19590/j.cnki.1008-1038.

2023.01.001.

- [2] 李启彭, 张福胜. 苹果营养成分及应用价值研究进展[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(1): 132. DOI: 10.16178/j.issn.0528-9017.20170142.
- [3] 周泽宁, 姜爱丽, 胡文忠, 等. 焦亚硫酸钠溶液处理对采后红地球葡萄生理代谢及安全性的影响[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(2): 18. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6221.2015.02.004.
- [4] ZHAO X Y, GUO S, ZHAO W T, et al. Regulation mechanism of sodium citrate on fresh-cut yam yellowing[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 191(2): 111965. DOI: 10.1016/J.POSTHARVBIO.2022.111965.
- [5] PLEȘOIANU A M, NOUR V. Pectin-based edible coating combined with chemical dips containing antimicrobials and antibrowning agents to maintain quality of fresh-cut pears[J]. Horticulturae, 2022, 8(5): 449. DOI: 10.3390/HORTICULTURAE8050449.
- [6] TROYO R, ACEDO A. Effects of calcium ascorbate and calcium lactate on quality of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*)[J]. International Journal of Agriculture, Forestry and Life Sciences, 2019, 3(1): 143.
- [7] SURIATI L, RUDIANTA I N. The characteristics of fresh-cut rambutan fruit during cold storage[J]. Asian Journal of Advances in Agricultural Research, 2022, 18(1): 30. DOI: 10.9734/AJAAR/2022/V18I130210.
- [8] 威铭, 罗自生, 王蕾, 等. 微酸性电解水在食品保鲜消毒领域的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(12): 3795. DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2020.12.016.
- [9] 曹泽钰. 微酸性电解水在食品安全领域的应用研究进展[J]. 中国消毒学杂志, 2020, 37(3): 229. DOI: 10.11726/j.issn.1001-7658.2020.03.024.
- [10] DENG L Z, MUJUMDAR A S, PAN Z L, et al. Emerging chemical and physical disinfection technologies of fruits and vegetables: a comprehensive review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(15): 2481. DOI: 10.1080/10408398.2019.1649633.
- [11] KIM C, HUNG Y C, BRACKETT R E. Efficacy of electrolyzed oxidizing (EO) and chemically modified water on different types of foodborne pathogens[J]. International Journal of Food Microbiology, 2000, 61(2/3): 199. DOI: 10.1016/S0168-1605(00)00405-0.
- [12] YAN P P, CHELLIAH R, JO K H, et al. Research trends on the application of electrolyzed water in food preservation and sanitation[J]. Processes, 2021, 9(12): 2240. DOI: 10.3390/PR9122240.
- [13] CHEN X Q, TANGO C N, DALIRI B M, et al. Disinfection efficacy of slightly acidic electrolyzed water combined with chemical treatments on fresh fruits at the industrial scale[J]. Foods, 2019, 8(10): 497. DOI: 10.3390/foods8100497.
- [14] KOIDE S, TAKEDA J I, SHI J, et al. Disinfection efficacy of slightly acidic electrolyzed water on fresh cut cabbage[J]. Food Control, 2009, 20(3): 294. DOI: 10.1016/j.foodcont.2008.05.019.
- [15] ABADIAS M, USALL J, OLIVEIRA M, et al. Efficacy of neutral electrolyzed water (NEW) for reducing microbial

- contamination on minimally-processed vegetables[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 123(1/2): 151. DOI: [10.1016/j.ijfoodmicro.2007.12.008](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.12.008).
- [16] 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. DOI: [10.7535/hbgykj.2016yx01008](https://doi.org/10.7535/hbgykj.2016yx01008).
- [17] 李华贞, 刘海杰, 宋曙, 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. DOI: [10.7506/spkx1002-6630-201117018](https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-201117018).
- [18] 刘培红, 陈艾, 高晴, 等. 微酸性电解水对鲜米线杀菌及保鲜效果的研究[J]. 食品工业, 2018, 39(12): 164.
- [19] 岑剑伟, 于福田, 杨贤庆, 等. 微酸性电解水对罗非鱼片保鲜效果的研究[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(18): 209. DOI: [10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021022](https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021022).
- [20] 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. DOI: [10.7506/spkx1002-6630-201614046](https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-201614046).
- [21] 张铁垣. 化验员手册[M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [22] GB 4789.2—2022. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定[S].
- [23] 师萱, 陈娅, 符宜谊, 等. 色差计在食品品质检测中的应用[J]. 食品工业科技, 2009, 30(5): 373.
- [24] GB 5009.86—2016. 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定[S].
- [25] 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. DOI: [10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2017.01.045](https://doi.org/10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2017.01.045).
- [26] 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. DOI: [10.3969/j.issn.1007-9580.2010.03.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9580.2010.03.009).
- [27] 徐艳阳, 鲁海玲, 陈云洁, 等. 酸性氧化电位水处理对鲜参切片的杀菌效果及色泽的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(22): 345. DOI: [10.13386/j.issn1002-0306.2021120211](https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021120211).
- [28] 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. DOI: [10.1016/j.foodcont.2017.03.050](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.050).
- [29] 詹苑, 高晴, 杨珍, 等. 微酸性电解水处理对野生菌贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(22): 281. DOI: [10.13386/j.issn1002-0306.2020030077](https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020030077).
- [30] 周智宇, 罗正娅, 高晴, 等. 微酸性电解水杀菌工艺优化及对云南鲜米线贮藏品质影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 204. DOI: [10.13386/j.issn1002-0306.2020030389](https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020030389).
- [31] 韩颖, 安容慧, 孙莹, 等. 微酸性电解水对采后西兰花贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(5): 338. DOI: [10.13386/j.issn1002-0306.2022050095](https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022050095).
- [32] GAO Q, YANG Z Y, BI B L, et al. Effects of slightly acidic electrolyzed water on the quality of fresh-cut apple[J]. Foods, 2023, 12(1): 39. DOI: [10.3390/foods12010039](https://doi.org/10.3390/foods12010039).
- [33] 赵德锟, 高薇珊, 谭雷妹, 等. 微酸性电解水对宣威火腿切片杀菌效果的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(10): 4059. DOI: [10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2016.10.034](https://doi.org/10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2016.10.034).
- [34] 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.
- [35] 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. DOI: [10.13386/j.issn1002-0306.2015.04.062](https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2015.04.062).
- [36] 陈锦程. 微酸性电解水对荞麦半干面条储存过程中微生物和品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
- [37] 唐志龙, HAMZAH A, 高晴, 等. 微酸性电解水凝胶对天麻鲜切片贮藏品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(8): 2625. DOI: [10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2022.08.055](https://doi.org/10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2022.08.055).
- [38] 黄丽萍, 靳学远, 李勇, 等. 微酸性电解水对蓝莓保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(10): 134. DOI: [10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90208](https://doi.org/10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90208).
- [39] 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.

责任编辑: 何馨成