

# 微酸性次氯酸水对鲜切莴笋的保鲜作用效果

陈倩茹<sup>1</sup>, 于一凡<sup>1</sup>, 照那木拉<sup>2</sup>, 张静静<sup>2</sup>, 云雪艳<sup>1</sup>, 董同力嘎<sup>1\*</sup>

(1. 内蒙古农业大学食品科学与工程学院, 内蒙古呼和浩特 010018)

(2. 上海万籁环保科技股份有限公司, 上海 201612)

**摘要:** 鲜切果蔬的保质期短, 容易受到食源性病原菌的污染。该研究以鲜切莴笋为试材, 基于单因素和正交试验, 研究微酸性次氯酸水 (Slightly Acidic Hypochlorous Water, SAHW) 对鲜切莴笋的保鲜作用及对贮藏品质的影响。采用 SAHW 有效氯浓度、处理温度、处理时间及处理方式 4 个因素, 在基于单因素试验的基础上, 进行四因素三水平正交试验, 并验证最佳处理方式对鲜切莴笋在贮藏期间的感官品质、菌落总数、抗坏血酸 (Vitamin C, Vc) 含量和丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 含量的影响。结果表明, SAHW 对鲜切莴笋具有较好的保鲜作用, 各因素影响为处理方式 > 处理时间 > SAHW 有效氯浓度 > 处理温度。最佳保鲜处理方式为在 15 °C 下有效氯质量浓度为 50 mg/L 的 SAHW 震荡浸泡 5 min, 此处理组合下感官评分为 5.22,  $a^*$  值为 -2.73, 菌落总数为 3.79 lg CFU/mL, 并在贮藏期间有效保持了鲜切莴笋的感官品质, 在贮藏第 25 天时, 菌落总数仅为 0.72 lg CFU/mL, 抑制了菌落总数的增长、Vc 为 14.5 mg/100 g 和 MDA 为 0.26 nmol/g, 显著降低了 Vc 的损失和 MDA 的积累, 延长了鲜切莴笋保质期, 为 SAHW 用于鲜切莴笋保鲜剂提供科学依据。

**关键词:** 微酸性次氯酸水; 鲜切莴笋; 正交试验; 保鲜效果

文章编号: 1673-9078(2024)05-134-141

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.5.0343

## Effect of Slightly Acidic Hypochlorous Acid Water on the Preservation of Fresh-cut Lettuce

CHEN Qianru<sup>1</sup>, YU Yifan<sup>1</sup>, ZHAO Namula<sup>2</sup>, ZHANG Jingjing<sup>2</sup>, YUN Xueyan<sup>1</sup>, DONG Tungalag<sup>1\*</sup>

(1.College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

(2.Shanghai Wanlay Environmental Technology Co. Ltd., Shanghai, 201612, China)

**Abstract:** Fresh-cut fruits and vegetables have a short shelf life and are prone to contamination by foodborne pathogens. In this study, fresh-cut lettuce was used as the test material, and based on single factor and orthogonal experiments, the preservation effect of slightly acidic hypochlorous water (SAHW) on fresh-cut lettuce and its influence on storage quality were studied. Using four factors SAHW available chlorine concentration, treatment temperature, treatment time and treatment method, on the basis of single factor experiments, a four-factor three-level orthogonal test was conducted to verify the effect of the best treatment on the sensory quality, total bacterial count, ascorbic acid (Vc) content and Malondialdehyde (MDA) content of fresh-cut lettuce during storage. The results showed that SAHW had a good preservation effect on fresh-cut lettuce,

引文格式:

陈倩茹,于一凡,照那木拉,等.微酸性次氯酸水对鲜切莴笋的保鲜作用效果[J].现代食品科技,2024,40(5):134-141.

CHEN Qianru, YU Yifan, ZHAO Namula, et al. Effect of slightly acidic hypochlorous acid water on the preservation of fresh-cut lettuce [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(5): 134-141.

收稿日期: 2023-03-23

基金项目: 内蒙古青年科技人才发展项目 (创新团队) (NMGIRT2310); 校企横向课题 (RH1900007172)

作者简介: 陈倩茹 (1988-), 女, 硕士, 实验师, 研究方向: 食品保鲜、食品微生物, E-mail: 382283456@qq.com.

通讯作者: 董同力嘎 (1972-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品保鲜与储运、食品包装, E-mail: dongtlg@imau.edu.cn

and the influencing factors were the treatment method>treatment time>effective chlorine concentration of SAHW>treatment temperature. The best preservation treatment was shaking and soaking in the SAHW with an effective chlorine concentration of 50 mg/L for 5 min at 15 °C. Under this treatment, the sensory score was 5.22, the  $a^*$  value was -2.73, and the total bacterial count was 3.79 lg CFU/mL. This treatment maintained effectively the sensory quality of fresh-cut lettuce during storage. On the 25th day of storage, the total bacterial count was only 0.72 lg CFU/mL (indicating the inhibition of the growth of bacterial colonies), Vc was 14.5 mg/100 g, and the MDA was 0.26 nmol/g, indicating the reduction of Vc loss and MDA accumulation significantly and extension of the shelf life of fresh-cut lettuce. The results provide a scientific basis for SAHW to be used as a preservative agent for fresh-cut lettuce.

**Key words:** slightly acidic hypochlorous water (SAHW); fresh-cut lettuce; orthogonal test; preserved effect

近年来,消费者对方便、健康生活方式的需求大大增加,推动了鲜切果蔬消费量的快速增长,年增长率约为4%<sup>[1]</sup>,这使鲜切行业的供应量显著扩大。然而,果蔬经过清洗、去皮、切分等加工过程后,易被假单胞菌、沙门氏菌、大肠杆菌等致病菌和腐败菌侵染,出现食品安全隐患,导致营养流失、切面褐变、组织软化等问题。微生物或其毒素的污染易使人体发生胃肠道紊乱、食物中毒等健康问题,甚至导致死亡<sup>[2]</sup>。因此,自鲜切食品上市以来,如何保存和延长保质期始终是研究者的主要重点<sup>[3]</sup>。

目前,鲜切果蔬的保鲜方式有物理方法(如低温贮藏、气调保鲜、辐照、涂膜等),化学方法(如含氯化合物、亚硫酸盐、多菌灵等)<sup>[4-7]</sup>,但会产生能耗高及化学物质残留问题<sup>[8]</sup>。含氯化合物是用于新鲜果蔬消毒最常见的消毒剂,用来控制果蔬表面的微生物负载和采后果蔬的损失<sup>[9]</sup>。然而,其杀菌效率低及可能产生致癌和致突变副产物,使其在使用中具有安全隐患。

微酸性次氯酸水(SAHW)是一种含氯化合物,pH值为5.0~6.5,主要成分是次氯酸分子(HOCl),其分子形式是含氯杀菌剂中杀菌效果最强的<sup>[10]</sup>。与次氯酸钠(NaOCl)和过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)相比,HOCl具有许多优点,在有效的抗菌浓度范围内不致敏、无刺激性,对哺乳动物的细胞毒性较低<sup>[11,12]</sup>。HOCl是人类中性粒细胞发挥其抗菌作用的主要成分,可以直接接触皮肤,入口无害,相比其他含氯化合物,更容易穿透细菌细胞壁,破坏细胞膜,快速杀死病原体<sup>[13]</sup>。由于其强大的抗菌效果、环保功能和“公认的安全”优势,已成为较好的化学消毒剂替代品<sup>[14]</sup>。有研究表明,SAHW对食源性病原体的抗菌作用的研究,如大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌和肠炎沙门氏菌<sup>[15,16]</sup>。Song等<sup>[17]</sup>研究了微酸性电解水对鲜切卷心菜的最佳处理方式及其对表面致腐菌的杀菌作用,质量浓度

22.17 mg/L于10 °C处理180 s可以有效杀灭表面病原菌;Ding等<sup>[18]</sup>认为,SAHW处理的消毒效果高于NaClO和HCl。目前关于SAHW对于鲜切莴笋的保鲜作用鲜有研究,基于SAHW的安全性和杀菌性,可以作为鲜切果蔬的消毒前处理。

本研究将SAHW应用于鲜切莴笋保鲜,通过单因素和正交试验,确定了SAHW最佳处理浓度、处理时间、处理温度,确定最佳处理组合,并研究其对鲜切莴笋感官品质、菌落总数、Vc和MDA的影响,为SAHW应用于鲜切果蔬的保鲜方面提供科学支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

鲜切莴笋,购自呼和浩特东瓦窑菜市场;牛肉膏蛋白胨培养基、盐酸(HCl)、三氯乙酸(TCA)、生理盐水(质量分数为0.85% NaCl)、所用试剂均为国产分析纯,购于国药试剂公司。

WLY-210非电解微酸性次氯酸水设备,上海万籁环保科技股份有限公司;UV-2450紫外分光光度计,日本岛津公司;WPL-230BE电热恒温培养箱,天津市泰斯特仪器有限公司;101-3A恒温干燥箱,上海乐傲实验仪器有限公司;SX-500高压蒸汽灭菌锅,日本TOMY公司;XC-30自动菌落计数器,上海海恒机电仪器有限公司;HR40-IIA2生物安全柜,青岛海尔特种电器有限公司;HC-2518R高速冷冻离心机,安徽中科中佳科学仪器有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 SAHW的制备

使用SAHW发生器制备,将质量分数为6%的NaClO和质量分数为6%的HCl混合,分别制备有效氯质量浓度为20、50、80、110 mg/L的SAHW,

设置参数见表 1。

表 1 SAHW 的制备参数

SAHW 有效氯 质量浓度/(mg/L)	NaClO 设定数值	HCl 设定数值	pH 值
20.0	57.0	32.5	6.5
50.0	23.5	20.2	6.5
80.0	15.3	17.4	6.4
110.0	12.4	13.8	6.5

### 1.2.2 鲜切莴笋SAHW单因素试验

以鲜切莴笋为试验材料, 在不同温度(5、15、30、45℃)下, 将其分别置于不同有效氯质量浓度(20、50、80、110 mg/L)的SAHW中, 分别浸泡5、10、15、20 min后于4℃贮藏, 每两天测定一次鲜切莴笋表面菌落总数; 固定各因素水平为有效氯质量浓度为20 mg/L、处理温度为25℃、浸泡时间为10 min。

### 1.2.3 鲜切莴笋SAHW正交试验

在单因素试验的基础上, 以SAHW的有效氯质量浓度、处理时间、处理方式和处理温度为因素, 采用 $L_9(4)^3$ 正交试验对SAHW保鲜工艺进行优化。

### 1.2.4 SAHW处理对鲜切莴笋感官品质的影响

选择10名经过培训的食品科学与工程专业研究生, 对鲜切莴笋的硬度、颜色、褐变及气味进行打分<sup>[19]</sup>。

### 1.2.5 菌落总数的测定

参照GB4789.2-2016《食品微生物学检验 菌落总数测定》<sup>[20]</sup>, 对照与处理组分别取25 g鲜切莴笋加入225 mL的生理盐水, 均匀震荡后, 取1 mL于培养皿中, 加入(25±5) mL灭菌后的培养基, 待凝固后放入培养箱, 于30℃恒温培养。用全自动菌落计数器计数, 换算为对数值, 计算得出杀灭对数值。每组3个平行, 试验重复3次。

### 1.2.6 抗坏血酸(Vc)含量

参照马宏飞等<sup>[21]</sup>试验方法, 分别取10 g鲜切莴笋于研钵中, 各加10 mL体积分数为1%的HCl溶液, 匀浆后转移到50 mL容量瓶中, 稀释至刻度后混匀, 转移至10 mL离心管中, 以5 000 r/min离心20 min后, 取上清液待测。取1 mL待测液加入盛有2 mL体积分数为10%的HCl到50 mL容量瓶中, 稀释至刻度后摇匀。以蒸馏水为空白对照, 在最大吸收波长处测定吸光度, 依据标准方程, 计算出样品中的Vc含量(mg/100 g)。

$$B = \frac{C \times V_{\text{总}} \times V_{\text{待测}} \times 100}{V_1 \times W_{\text{总}} \times 1000} \quad (1)$$

式中:

$B$ ——果蔬的Vc含量, mg/100 g;

$C$ ——依标准曲线方程计算得出的Vc的质量浓度,  $\mu\text{g/mL}$ ;

$V_1$ ——测定吸光度时吸取的样品溶液体积, mL;

$V_{\text{总}}$ ——吸取样品的定容总体积, mL;

$V_{\text{待测}}$ ——待测样品的总体积, mL;

$W_{\text{总}}$ ——果蔬样品的质量, g。

### 1.2.7 丙二醛(MDA)含量

取1 g鲜切莴笋加入5 mL质量浓度为100 g/L TCA溶液后进行研磨。在4℃、10 000 g的冷冻离心机中离心20 min。取2 mL上清液(对照组加入2 mL质量浓度为100 g/L TCA溶液), 加入质量浓度为0.67%的TBA溶液2 mL, 混合, 于沸水浴20 min, 冷却后离心。分别测定在450、532及600 nm波长处的吸光值, 计算混合液中丙二醛的含量:

$$D = [6.45 \times (\text{OD}_{532} - \text{OD}_{600}) - 0.56 \text{OD}_{450}] \times \frac{V}{V_s \times M} \quad (2)$$

式中:

$D$ ——混合液中丙二醛的摩尔浓度, mmol/g;

$V$ ——样品提取液的总体积, mL;

$V_s$ ——测定时所取样品的提取液体积, mL;

$M$ ——样品的质量, g。

## 1.3 数据处理

利用SPSS软件进行单因素方差分析, 结果以平均值±标准差表示,  $P < 0.05$ 代表差异显著, 使用Origin软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 SAHW的处理单因素试验

#### 2.1.1 SAHW的有效氯浓度对贮藏期间鲜切莴笋菌落总数的影响

贮藏期间不同有效氯浓度的SAHW对鲜切莴笋菌落总数的影响如图1所示, 随着贮藏时间的延长, 菌落总数随着有效氯浓度呈正相关, 贮藏第4天时, SAHW有效氯质量浓度为20~110 mg/L的菌落总数分别为2.6、1.6、1.2 lg CFU/mL, 对照组为3.5 lg CFU/mL, 显著高于处理组; 到贮藏第10天时, 有效氯质量浓度为110 mg/L SAHW的菌落总数最低, 为1.9 lg CFU/mL, 有效氯质量浓度在50和80 mg/L的SAHW的菌落

总数无显著差异；有效氯质量浓度为 110 mg/L 时浓度偏高，处理后的鲜切莴笋有轻微次氯酸水气味，因此选择有效氯质量浓度为 20、50 和 80 mg/L 进行进一步的正交试验。

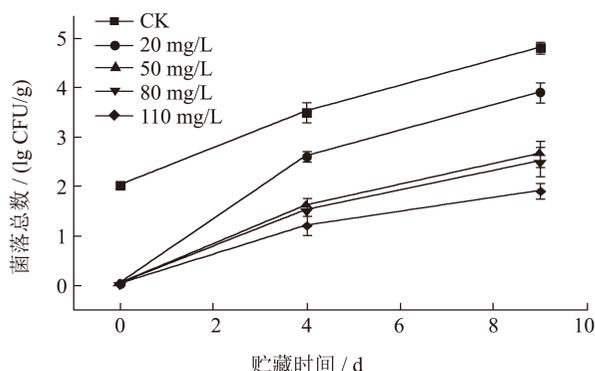


图1 鲜切莴笋在不同SAHW有效氯质量浓度下的菌落总数  
Fig.1 The microbial counts of fresh-cut asparagus lettuce in different SAHW concentration

### 2.1.2 SAHW的处理时间对贮藏期间鲜切莴笋菌落总数的影响

有效氯质量浓度为 50 mg/L 的 SAHW 对鲜切莴笋在不同处理时间后的菌落总数如图 2 所示。随着贮藏时间的延长，不同处理时间后鲜切莴笋的菌落总数均呈上升趋势，在贮藏第 4 天时，处理 0、5、10、15、20 min 的菌落总数分别为 2.98、1.89、1.85、1.98、1.88 lg CFU/mL，对照组显著高于处理组 ( $P < 0.05$ )，其他各组之间无显著差异。在贮藏时间为第 9 天时，处理 0~20 min 后的菌落总数分别为 3.75、2.09、2.53、1.98、2.73 lg CFU/mL，处理 5、10、15 min 的菌落总数无显著差异，处理 20 min 后的菌落总数反而显著上升，推测是由于处理时间的延长，次氯酸分子与鲜切莴笋表面接触的时间较长，可能破坏了鲜切莴笋的组织，导致其更易被腐败微生物侵染，菌落总数增多。

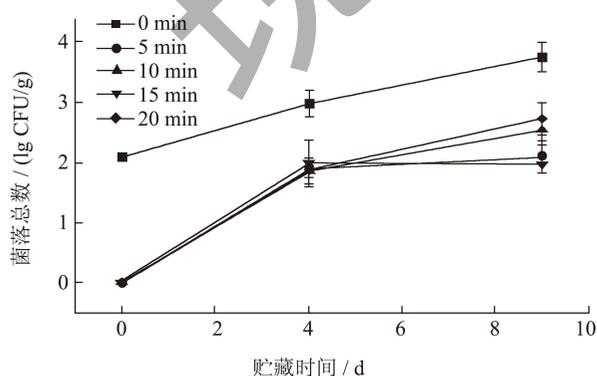


图2 鲜切莴笋在不同处理时间下的菌落总数  
Fig.2 The microbial counts of fresh-cut asparagus lettuce in different processing time

### 2.1.3 SAHW的处理温度对贮藏期间鲜切莴笋菌落总数的影响

贮藏期间不同温度的 SAHW 对鲜切莴笋菌落总数的影响如图 3 所示。随着贮藏时间的延长，菌落总数逐渐上升。在贮藏第 4 天时，5~45 °C 时的菌落总数分别为 2.98、0.94、1.40、1.18、1.84 lg CFU/mL，其中当 SAHW 处理温度为 5 °C 时的菌落总数最小。当贮藏第 9 天时，其菌落总数分别变为 3.75、2.49、2.82、3.08、3.08 lg CFU/mL，其中 5 °C 时的菌落总数最小，与贮藏第 4 天时的试验结果一致。Liu 等<sup>[22]</sup>研究发现，酸性电解水于 60 °C 浸泡处理鲜切胡萝卜 10 min 后，其表面沙门氏菌和大肠杆菌 O157:H7 分别降低了 0.9 lg CFU/g 和 1.14 lg CFU/g；经 80 °C 浸泡处理 10 min 后，鲜切胡萝卜表面沙门氏菌和大肠杆菌 O157:H7 分别降低了 3.0 lg CFU/g 和 3.5 lg CFU/g。说明处理温度和处理时间均可以影响杀菌效果，与本试验研究结果一致。

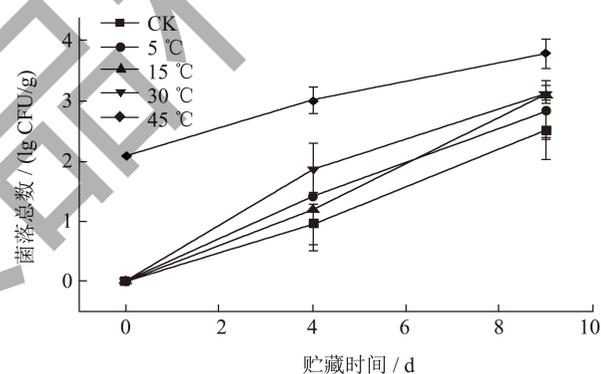


图3 鲜切莴笋在不同SAHW温度下的菌落总数

Fig.3 The microbial counts of fresh-cut asparagus lettuce in different SAHW temperature

## 2.2 SAHW处理正交试验

在单因素基础上，选择 SAHW 有效氯浓度、处理时间和处理温度为影响因素，以感官品质、 $a^*$ 、菌落总数为指标进行正交试验，正交因素水平如表 2 所示，正交试验设计及结果如表 3 所示。通过表 3 可知，各因素对鲜切莴笋杀菌及保鲜效果的影响作用大小为处理方式 > 处理时间 > SAHW 有效氯浓度 > 处理温度 ( $P < 0.05$ )。最佳保鲜杀菌条件为  $A_1B_2C_2D_2$ ，即 SAHW 有效氯质量浓度为 50 mg/L，处理温度为 15 °C，处理时间为 5 min，处理方式为震荡浸泡。此处理组合下鲜切莴笋的感官评分为 5.22， $a^*$  值为 -2.73，菌落总数为 3.79 lg CFU/mL。

表 2 试验因素及水平

Table 2 Factors and levels

水平	有效氯质量浓度/(mg/L)	温度/℃	时间/min	处理方式
1	20	5	5	浸泡
2	50	15	10	震荡浸泡
3	80	30	15	喷洒

### 2.3 SAHW最佳处理方式对鲜切莴笋贮藏期间的感官评分的影响

鲜切莴笋在贮藏期间的感官评分如图 4 所示。处理组和对数组的感官品质随着贮藏时间的延长均逐渐降低。贮藏第 5 天时, 对照组发生衰老黄化现象, 其感官评分较处理组显著下降 ( $P < 0.05$ ), 仅为 2.0 分, 处理组保持较好的感官特性, 感官评分为 9.2 分。贮藏结束时, 对照组发生脱水、变黄、硬化, 其感官品质严重下降。原因是腐败微生物的快速繁殖加速了鲜切莴笋的腐烂, 并且 PPO 的活性增强<sup>[23]</sup>。酚类化合物被氧化成红棕色醌, 在有氧条件下进一步与氨基酸反应形成黑色素并导致褐变<sup>[24]</sup>。而处理组保持着较好的外观特性。因此, 在 SAHW 最佳处理组合方式, 即有效氯质量浓度为 50 mg/L 的 SAHW 在 15 °C 下震荡浸泡处理 5 min, 可以有效保持鲜切莴笋的感官品质和食用品质, 具有较高的

应用价值。

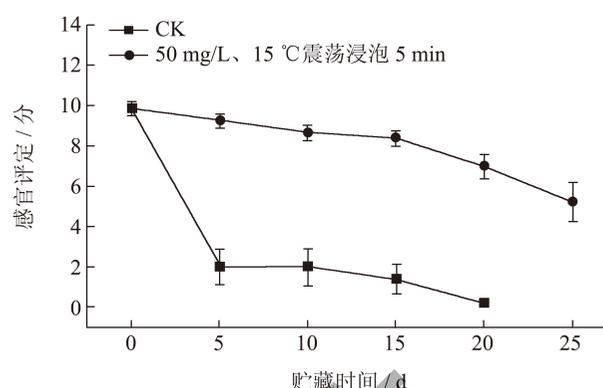


图 4 贮藏期间鲜切莴笋的感官评分

Fig.4 The sensory scores of fresh-cut asparagus lettuce during storage

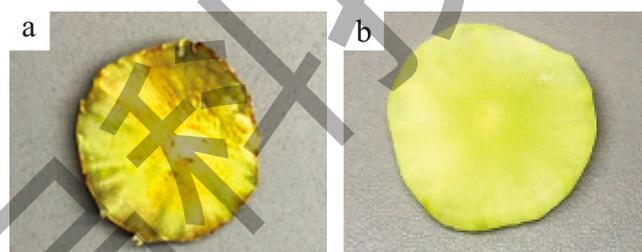


图 5 贮藏第 25 天时鲜切莴笋的外观品质

Fig.5 The appearance quality of fresh-cut asparagus lettuce on the 25 th day of the storage

注: (a) CK 15 °C ; (b) 50 mg/L 震荡浸泡 5 min。

表 3 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 正交试验结果

Table 3 Results of orthogonal experiment

组别	有效氯质量浓度/(mg/L)	时间/min	温度/℃	处理方式	感官评分	a*	菌落总数	综合得分
1	1 (20)	1 (5)	1 (5)	1 (浸泡)	4.8 ± 0.6 <sup>b</sup>	-3.6 ± 0.5 <sup>c</sup>	6.0 ± 0.8 <sup>d</sup>	2.1
2	2 (50)	1 (5)	2 (15)	2 (震荡浸泡)	5.2 ± 0.5 <sup>a</sup>	-2.7 ± 0.2 <sup>b</sup>	3.8 ± 1.1 <sup>a</sup>	2.9
3	3 (80)	1 (5)	3 (30)	3 (喷洒)	3.8 ± 0.6 <sup>c</sup>	-2.5 ± 0.1 <sup>b</sup>	7.1 ± 0.4 <sup>c</sup>	1.1
4	1 (20)	2 (10)	2 (15)	3 (喷洒)	1.7 ± 0.5 <sup>e</sup>	-2.5 ± 0.1 <sup>b</sup>	6.9 ± 1.0 <sup>d</sup>	0.5
5	2 (50)	2 (10)	3 (30)	1 (浸泡)	3.8 ± 0.4 <sup>c</sup>	-2.6 ± 0.5 <sup>b</sup>	5.3 ± 0.4 <sup>c</sup>	1.8
6	3 (80)	2 (10)	1 (5)	2 (震荡浸泡)	2.3 ± 0.5 <sup>d</sup>	-1.6 ± 0.9 <sup>a</sup>	4.5 ± 0.9 <sup>b</sup>	1.4
7	1 (20)	3 (15)	3 (30)	2 (震荡浸泡)	3.7 ± 0.5 <sup>c</sup>	-2.6 ± 0.2 <sup>b</sup>	4.7 ± 0.7 <sup>b</sup>	2.0
8	2 (50)	3 (15)	1 (5)	3 (喷洒)	4.4 ± 0.6 <sup>b</sup>	-2.9 ± 0.6 <sup>b</sup>	7.5 ± 0.9 <sup>c</sup>	1.2
9	3 (80)	3 (15)	2 (15)	1 (浸泡)	2.8 ± 0.7 <sup>d</sup>	-3.3 ± 0.2 <sup>c</sup>	4.3 ± 0.4 <sup>b</sup>	2.1
K <sub>1</sub>	1.5	2.0	1.6	2.0				
K <sub>2</sub>	2.0	1.2	1.8	2.1				
K <sub>3</sub>	1.5	1.8	1.6	0.9				
R	0.4	0.8	0.3	1.2				

注: 不同小写字母代表不同处理组间的显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

## 2.4 SAHW最佳处理组合方式对鲜切莴笋在贮藏期间菌落总数的影响

菌落总数能够反映鲜切莴笋在贮藏期间的微生物生长状况,是体现微生物污染的重要指标<sup>[25]</sup>。SAHW最佳处理组合方式对鲜切莴笋在贮藏期间菌落总数的变化如图6所示。由图6可知,随着贮藏时间的延长,对照组的菌落总数显著高于处理组,处理组在贮藏前10天保持菌落总数为0,对照组在贮藏第10天的菌落总数为6.03 lg CFU/mL。试验结果表明,SAHW最佳处理组合方式可以有效杀灭鲜切莴笋表面的微生物,抑制腐败菌的生长。Koide等<sup>[26]</sup>研究发现,经过SAHW(pH值为5.5,有效氯质量浓度为23 mg/L)在18℃浸泡处理鲜切胡萝卜10 min后,其表面酵母/霉菌总数和总好氧菌均降低0.6 lg CFU/mL,对鲜切胡萝卜的色泽、硬度、 $\beta$ -胡萝卜素含量和抗坏血酸等品质指标未造成显著影响。另外,李华贞等<sup>[27]</sup>研究酸性SHAW对菠菜、桃子及樱桃的杀菌作用和保鲜效果,发现酸性SHAW处理能使果蔬的表面微生物总数和霉菌的数量减少,从而提高果蔬的品质。

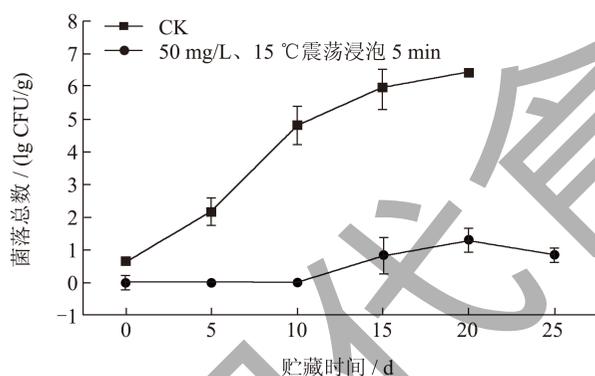


图6 贮藏期间鲜切莴笋菌落总数

Fig.6 Changes in microbial counts of fresh-cut asparagus lettuce during storage

## 2.5 SAHW最佳处理组合方式对鲜切莴笋在贮藏期间Vc含量的影响

Vc是鲜切莴笋的主要营养成分之一,很容易被氧化并在外部环境中流失,因此研究Vc的含量变化是可以衡量鲜切莴笋食用价值的重要指标。SAHW最佳处理组合方式对鲜切莴笋在贮藏期间的Vc含量变化如图7所示,贮藏期间两组Vc均呈下降趋势。第0天时,对照组的Vc含量略高于处理组,推测是由于在用SAHW震荡浸泡期间时的震荡机械冲击导致Vc的损失。贮藏第5天,对照

组Vc含量迅速下降,显著低于处理组( $P < 0.05$ ),为17.3 mg/100 g,而处理组与第0天相较无显著变化。在整体的贮藏期间,处理组的Vc均显著高于对照组,推测原因是pH值对Vc的稳定性影响更大,SAHW的酸性环境在贮藏初期对Vc起到一定的稳定作用。在贮藏第15天时,对照组鲜切莴笋出现腐败变质的现象,无法测定Vc的含量。

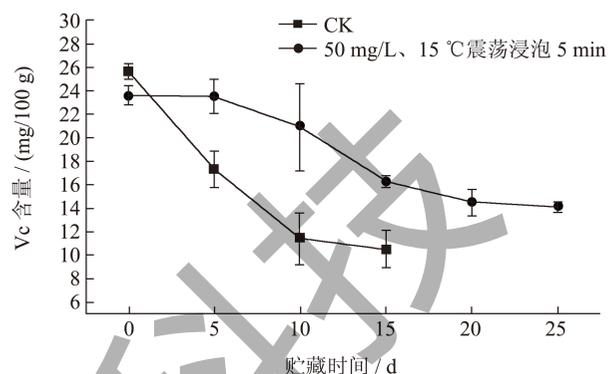


图7 贮藏期间鲜切莴笋Vc含量

Fig.7 Changes in Vc content of fresh-cut asparagus lettuce during storage

## 2.6 SAHW最佳处理组合方式对鲜切莴笋在贮藏期间丙二醛(MDA)含量的影响

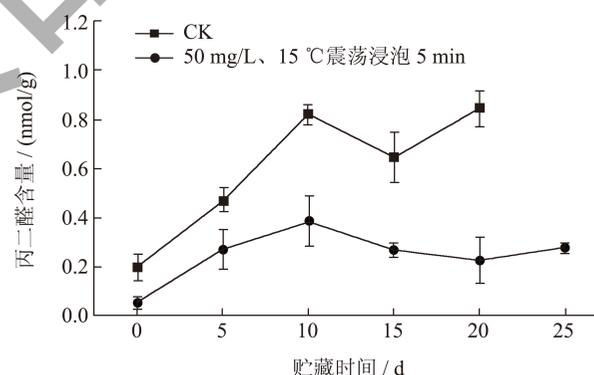


图8 贮藏期间鲜切莴笋丙二醛含量的变化

Fig.8 Changes in MDA content of fresh-cut asparagus lettuce during storage

在水果和蔬菜组织的成熟过程中,细胞中的超氧阴离子和羟基自由基可诱导膜脂质中的不饱和脂肪酸过氧化,使得细胞膜通透性增加,细胞损伤或死亡<sup>[28]</sup>。MDA是膜脂质过氧化的主要产物之一,反映细胞膜脂质过氧化的程度,决定果蔬的衰老<sup>[29]</sup>。由图8可知,随着贮藏时间的延长,对照组与处理组的MDA含量均呈上升趋势,与对照组相比,SAHW处理组的MDA增加缓慢。在贮藏第10天时,对照组鲜切莴笋的MDA含量已经达到

0.82 nmol/g, 比 SAHW 处理组高出 1.16 倍, 显著抑制了丙二醛的积累 ( $P < 0.05$ )。说明有效氯质量浓度为 50 mg/L 的 SAHW 在 15 °C 下震荡浸泡处理 5 min 能降低鲜切莴笋贮藏过程中脂质过氧化产物的形成, 减缓衰老进程。黄丽萍等<sup>[30]</sup>研究了微酸性电解水对蓝莓的保鲜效果研究发现, 与对照组相比, 微酸性电解水对蓝莓 MDA 的上升具有明显的抑制作用, 减缓氧化现象, 与本研究结果一致。

### 3 结论

研究发现, SAHW 对鲜切莴笋的最佳保鲜条件是 15 °C 下有效氯质量浓度为 50 mg/L 的 SAHW 震荡浸泡 5 min, 此处理组合下鲜切莴笋的感官评分为 5.22,  $a^*$  值为 -2.73, 菌落总数为 3.79 lg CFU/mL。SAHW 能够有效抑制鲜切莴笋表面微生物生长, 延缓其在贮藏过程中 Vc 的损失和 MDA 的积累, 防止其品质指标的下降, 延长鲜切莴笋保鲜期。同时, SAHW 克服了传统化学杀菌方式的环境不友好问题, 制备方式简单, 成本低廉, 在鲜切果蔬贮藏方面具有较大的开发价值, 为 SAHW 在鲜切果蔬的保鲜应用提供了科学依据。后续可进一步使用复配其他保鲜方式增强其保鲜和杀菌效果。

### 参考文献

- [1] PAILLART M J M, VOSSSEN J M B M, LEVIN E, et al. Bacterial population dynamics and sensorial quality loss in modified atmosphere packed fresh-cut iceberg lettuce [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2017, 124, 91-99.
- [2] PAINTER J A, HOEKSTRA R M, AYERS T, et al. Attribution of foodborne illnesses, hospitalizations, and deaths to food commodities by using outbreak data, United States, 1998-2008 [J]. *Emerging Infectious Diseases*, 2013, 19: 407-415.
- [3] 胡叶静, 李保国, 张敏, 等. 鲜切果蔬保鲜技术及方法研究进展 [J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(22): 276-281.
- [4] WILSON M D, STANLEY A E, and ROSS T. Innovative processes and technologies for modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut fruits and vegetables [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2019, 59(3): 411-422.
- [5] ORTIZ-DUARTE G, PEREZ-CABRERA F, HERNANDEZ A, et al. Ag-chitosan nanocomposites in edible coatings affect the quality of fresh-cut melon [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2019, 147(1): 174-184.
- [6] SUN X X, ELIZABETH B, BAI J H. Applications of gaseous chlorine dioxide on postharvest handling and storage of fruits and vegetables-A review [J]. *Food Control*, 2019, 95: 18-26.
- [7] YAN P P, CHELLIAH R, JO K, et al. Research trends on the application of electrolyzed water in food preservation and sanitation [J]. *Processes*, 2021, 9(12): 2240.
- [8] DE CORATO U. Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, 60(6): 940-975.
- [9] GOMEZ-LOPEZ V M, LANNOO A S, GIL M I, et al. Minimum free chlorine residual level required for the inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and trihalomethane generation during dynamic washing of fresh-cut spinach [J]. *Food Control*, 2014, 42: 132-138.
- [10] HAKIMULLAH H, MD S A, NATTHANAN S, et al. Inactivation of bacteria on surfaces by sprayed slightly acidic hypochlorous acid water: *in vitro* experiments [J]. *Journal of Veterinary Medical Science*, 2016, 78: 1123-1128.
- [11] 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.
- [12] 陈倩茹, 周艳芳, 照那木拉, 等. 微酸性次氯酸水结合乳化剂酪蛋白酸钠对冷鲜肉主要腐败菌的抑菌作用 [J]. *食品科学*, 2023, 44(7): 74-80.
- [13] BLACK VEATCH. White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants. Fifth Edition [M]. Wiley Online Library, 2010.
- [14] HAN D, HUNG Y C, WANG L X. Evaluation of the antimicrobial efficacy of neutral electrolyzed water on pork products and the formation of viable but nonculturable (VBNC) pathogens [J]. *Food Microbiology*, 2018, 73: 227-236.
- [15] 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: 380-385.
- [16] CAO W, ZHU Z W, SHI Z X, et al. Efficiency of slightly acidic electrolyzed water for inactivation of *Salmonella enteritidis* and its contaminated shell eggs [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2009, 130: 88-93.
- [17] SONG H, LEE J Y, LEE H W, et al. Inactivation of bacteria causing soft rot disease in fresh cut cabbage using slightly acidic electrolyzed water [J]. *Food Control*, 2021, 128: 108217.
- [18] DING T, XUAN X T, LI J, et al. Disinfection efficacy

- and mechanism of slightly acidic electrolyzed water on *Staphylococcus aureus* in pure culture [J]. Food Control, 2016, 60: 505-510.
- [19] ADAY M S, CANER C. Understanding the effects of various edible coatings on the storability of fresh cherry [J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23: 441-456.
- [20] 国家食品药品监督管理总局,国家卫生和计划生育委员会.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[S].
- [21] 马宏飞,卢生有,韩秋菊,等.紫外分光光度法测定五种果蔬中维生素C的含量[J].化学与生物工程,2012,29(8):92-94.
- [22] LIU Q, JIN X X, FENG X, et al. Inactivation kinetics of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella typhimurium* on organic carrot (*Daucus carota* L.) treated with low concentration electrolyzed water combined with short-time heat treatment [J]. Food Control, 2020(13): 87-95.
- [23] MOON K M, KWON E B, LEE B, et al. Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products [J]. Molecules, 2020, 25(12): 2754-2769.
- [24] MARTINEZ M V, WHITAKER J R. Biochemistry and control of enzymatic browning [J]. Trends in Food Science & Technology, 1995, 6: 195-200.
- [25] ZHANG L K, LU Z X, WANG H X. Effect of gamma irradiation on microbial growth and sensory quality of fresh-cut lettuce [J]. International Journal of Food Microbiology, 2006, 106, 348-351.
- [26] KOIDE S, SHITANDA D, NOTE M, et al. Effects of mildly heated slightly acidic electrolyzed water on the disinfection and physicochemical properties of sliced carrot [J]. Food Control, 2011, 22(3-4): 452-456.
- [27] 李华贞,郑淑方,宋曙辉,等.酸性电解水对果蔬杀菌及保鲜效果的研究[J].现代食品科技,2011,27(3):361-365.
- [28] OZSAHIN A D, GOKCE Z, YILMAZ O, et al. The fruit extract of three strawberry cultivars prevents lipid peroxidation and protects the unsaturated fatty acids in the fenton reagent environment [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2012, 63, 353-357.
- [29] DING Q, HAN M Y, TIAN Y M. Effects of fruit cracking on accumulation of superoxide free radical and membrane lipid peroxidation of nectarine fruit during maturation [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2004, 24: 107-128.
- [30] 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):134-138.