

# 微酸性电解水对采后香葱抑菌特性及贮藏品质的影响

焦贺<sup>1</sup>, 孟敌<sup>1</sup>, 韩颖<sup>1</sup>, 王馨渝<sup>1</sup>, 李鹏霞<sup>2,3</sup>, 胡花丽<sup>2,3</sup>, 李国锋<sup>1,2,3,\*</sup>, 刘玲<sup>1,\*</sup>  
(1.沈阳农业大学食品学院, 辽宁 沈阳 110866; 2.江苏省农业科学院农业设施与装备研究所, 江苏 南京 210014;  
3.农业农村部农产品冷链物流技术重点实验室, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 为探究微酸性电解水 (slightly acidic electrolyzed water, SAEW) 对香葱采后贮藏品质的影响, 本实验分析低温 ( $4\pm 1$ ) °C 贮藏条件下不同质量浓度 (0、100、200 mg/L 和 300 mg/L) SAEW 浸泡处理 5 min 后香葱采后抑菌特性及贮藏品质的变化。结果显示, 较对照和其他质量浓度 (100 mg/L 和 300 mg/L) SAEW 处理相比, 200 mg/L SAEW 浸泡处理更好地维持了采后香葱的外观品质并抑制了其菌落总数的增长。进一步的研究结果显示, 200 mg/L SAEW 浸泡处理可有效抑制香葱中质量损失率和腐烂率的增加, 减缓叶绿素、VC、可溶性糖以及可溶性蛋白含量的下降, 减少有害物质总游离氨基酸、丙二醛和亚硝酸盐的积累。综上, 200 mg/L SAEW 浸泡处理不仅能有效抑制低温贮藏期间香葱中菌落总数的增长, 而且可有效延缓该过程中香葱营养品质的流失, 从而提高香葱的保鲜效果。因此, SAEW 可作为一种维持采后香葱贮藏品质, 延缓其衰老进程的有效杀菌、保鲜措施。

**关键词:** 微酸性电解水; 香葱; 杀菌; 贮藏品质

## Effect of Slightly Acidic Electrolyzed Water Treatment on Microbial Growth Inhibition and Storage Quality of Postharvest Chives

JIAO He<sup>1</sup>, MENG Di<sup>1</sup>, HAN Ying<sup>1</sup>, WANG Xinyu<sup>1</sup>, LI Pengxia<sup>2,3</sup>, HU Huali<sup>2,3</sup>, LI Guofeng<sup>1,2,3,\*</sup>, LIU Ling<sup>1,\*</sup>  
(1. Food Science College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2. Institute of Facilities and Equipment in Agriculture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3. Key Laboratory of Cold Chain Logistics Technology for Agro-product, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** To explore the effect of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) on the storage quality of postharvest chives, the changes in the microbial load and storage quality of postharvest chives subjected to SAEW immersion treatment at different concentrations (0, 100, 200 and 300 mg/L) for 5 minutes were analyzed during low temperature ( $4\pm 1$ ) °C storage. The results showed that immersion treatment with 200 mg/L SAEW was more effective in maintaining the organoleptic quality of chives and inhibiting the increase of the total number of colonies when compared with the other groups. Furthermore, 200 mg/L SAEW treatment was able to inhibit the increase of mass loss and rot rate, slow down the decrease of chlorophyll, vitamin C, soluble sugar, and soluble protein contents, and reduce the accumulation of total free amino acids, malondialdehyde (MDA) and nitrite in chives. It is evident that immersion treatment with 200 mg/L SAEW can not only effectively inhibit microbial growth on chives during low-temperature storage, but also effectively delay the loss of nutrients in chives, thus improving the quality preservation of chives. Therefore, SAEW can be used as an effective sterilization and preservation method to maintain the storage quality and delay the aging process of postharvest chives.

**Keywords:** slightly acidic electrolyzed water; chive; sterilization; storage quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20230315-148

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2024) 09-0197-07

收稿日期: 2023-03-15

基金项目: 江苏省农业自主创新资金项目 (CX (22) 1014); 江苏省现代农业-面上项目 (BE2022368)

第一作者简介: 焦贺 (1997—) (ORCID: 0009-0003-1974-7155), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬保鲜与加工。

E-mail: 596967907@qq.com

\*通信作者简介: 李国锋 (1972—) (ORCID: 0000-0002-6238-0251), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为果蔬保鲜与加工。

E-mail: ligf@jaas.ac.cn

刘玲 (1973—) (ORCID: 0000-0002-6256-9206), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品质量安全。

E-mail: liuling4568@syau.edu.cn

引文格式:

焦贺, 孟敌, 韩颖, 等. 微酸性电解水对采后香葱抑菌特性及贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(9): 197-203.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20230315-148. <http://www.spkx.net.cn>

JIAO He, MENG Di, HAN Ying, et al. Effect of slightly acidic electrolyzed water treatment on microbial growth inhibition and storage quality of postharvest chives[J]. Food Science, 2024, 45(9): 197-203. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20230315-148. <http://www.spkx.net.cn>

香葱是一种典型的百合科类蔬菜, 因其质地柔嫩、味清香微辣、可调味去腥等特点而成为一种广受欢迎的食品调味品<sup>[1]</sup>。另外, 香葱中含有丰富的黄酮类化合物、含硫化合物、甾体化合物、多糖等活性成分, 在抗血小板凝集、抑菌、抗氧化等方面具有一定的功效, 也是一种兼具营养及药用价值的蔬菜<sup>[2]</sup>。然而, 在采后贮藏过程中, 香葱组织易发生干枯、腐烂, 导致葱叶失水、失绿黄化及营养物质降解劣变等问题。

近年来, 随着香葱鲜食需求数量及质量要求的提升, 提高香葱贮藏保鲜技术已经成为亟需解决的问题。Yoshihiro等<sup>[3]</sup>的研究表明, 在20 °C条件下, 10%或20% CO<sub>2</sub>处理香葱7 d可减少叶绿素的降解和总游离氨基酸的积累, 延缓叶片变黄衰老。Wu Chuanwan等<sup>[4]</sup>的研究表明, 0.5 μL/L的1-甲基环丙烯处理显著降低了采后香葱的质量损失率, 维持了较高的叶绿素和抗坏血酸含量, 降低了苯丙氨酸解氨酶、肉桂醇脱氢酶和过氧化物酶的活性, 抑制了木质素和纤维素的积累。但截至目前, 关于香葱采后腐烂的控制技术鲜有报道。

微酸性电解水 (slightly acidic electrolyzed water, SAEW) 是在直流电压下电解NaCl生成的一种水溶液。与常用的次氯酸钠相比, SAEW因克服了次氯酸钠用于食品消毒时存在的残留氯高、用后处理困难、生成有害物质三氯甲烷的缺点而广泛应用于果蔬、水产品、肉产品等保鲜中<sup>[5]</sup>。Hao Jianxiong等<sup>[6]</sup>以次氯酸钠溶液作为对照, 研究了SAEW对接种大肠杆菌和枯草芽孢杆菌的香菜样品中微生物的影响, 结果表明, SAEW对鲜切香菜具有较强的杀菌能力, 可替代次氯酸钠溶液。唐志龙等<sup>[7]</sup>的研究显示, SAEW凝胶在控制天麻鲜切片表面微生物的危害和延缓品质衰减方面有一定潜力。此外, 胡朝晖等<sup>[8]</sup>发现, 使用SAEW处理鲜切莲藕可以明显降低附着在产品上的各类微生物数量, 增加产品的食用安全性, 而且与强酸性电解水相比, SAEW有着更强的杀菌效果。然而, 目前尚鲜见SAEW处理对采后香葱抑菌保鲜方面的研究。

因此, 本实验以采后香葱为研究对象, 探究SAEW对采后香葱的抑菌效果及贮藏品质的影响, 旨在明确SAEW处理采后香葱抑菌及衰老特性, 为采后香葱的抑菌保鲜提供理论依据和技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

香葱采购于江苏省南京市玄武区孝陵卫集贸市场。采购后于1 h内送到江苏省农业科学院农业设施与装备研究所处理实验室。将整簇的香葱分离成单棵, 挑选新鲜、大小均匀的香葱作为实验材料。

浓盐酸、浓硫酸 上海凌峰化学试剂有限公司; 对氨基苯磺酸、考马斯亮蓝G-250 国药集团化学试剂有限公司; 茚三酮、2-硫代巴比妥酸、L-亮氨酸、L-抗坏血酸 上海麦克林生化科技有限公司; 无水乙醇 (分析纯) 上海久亿化学试剂有限公司; 冰醋酸 (分析纯) 西陇科学股份有限公司。

### 1.2 仪器与设备

CLD-35L-III次氯酸生成器 南京氯盾科技有限公司; 电子天平、Seven Multi pH计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; H3-16KR台式高速冷冻离心机 湖南可成仪器设备有限公司; TU-1810紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司; HH-4数显恒温水浴锅 常州万达升试验仪器有限公司; Tissuelyser-64多样品快速研磨仪 上海净信实业发展有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 SAEW的制备

使用次氯酸生成器, 以一定量的NaCl溶液和水作为原料, 通过电解模块进行脉冲循环电解 (pulse cycle electrolysis, PCE) 生成SAEW。使用pH计测定其pH值, 用碘量法测定其有效氯质量浓度 (SAEW的pH值为5.85, 有效氯质量浓度为300 mg/L)。实验中所需要的样品质量浓度以300 mg/L的SAEW加入水进行稀释。

#### 1.3.2 SAEW处理质量浓度的筛选

挑选符合实验要求的香葱随机分为4组, 每处理重复3次, 每组共180棵。分别采用0、100、200 mg/L和300 mg/L SAEW浸泡处理5 min。处理完毕后置于架子上沥干水分, 随后装入带孔的聚丙烯袋 (490 mm×300 mm, 20 μm) 中, 将包装好的香葱置于 (4±1) °C环境中贮藏, 在贮藏第5天进行取样, 每组随机选取20棵香葱, 选取每棵香葱中部 (10±1) cm的叶片作为实验材料, 进行表型观察和菌落总数的测定。

### 1.3.3 SAEW对香葱贮藏品质的影响

根据SAEW处理质量浓度的优选结果,将符合实验要求的香葱分为两组,每组240棵,分别采用200 mg/L的SAEW和自来水(对照,CK)浸泡处理5 min,处理完毕后置于架子上沥干水分,将两组香葱分别装入带孔的聚丙烯袋(490 mm×300 mm, 20 μm)中,置于(4±1)℃条件下贮藏7 d,隔天取样,每次每处理取60棵香葱,选取每棵香葱中部(10±1)cm的叶片作为实验材料。鲜样用于测定菌落总数,其余样品液氮冷冻,用于其他各项指标的测定,每个处理重复3次。

### 1.3.4 指标测定

#### 1.3.4.1 质量损失率的测定

采用称重法测定香葱的质量损失率,每个处理重复测定3次。

#### 1.3.4.2 腐烂率的测定

参考康晨等<sup>[9]</sup>的方法测定香葱的腐烂率。以香葱叶片出现水渍状腐烂,并且腐烂面积大于香葱叶片总面积的30%为标准,腐烂棵数为每次统计腐烂棵数的累加,按下式计算腐烂率:

$$\text{腐烂率}/\% = \frac{\text{腐烂棵数}}{\text{总棵数}} \times 100$$

#### 1.3.4.3 菌落总数的测定

采用GB 4789.2—2022《食品微生物学检验 菌落总数测定》<sup>[10]</sup>测定香葱叶片中菌落总数。

#### 1.3.4.4 叶绿素含量的测定

参考安容慧等<sup>[11]</sup>的方法测定香葱中叶绿素含量。

#### 1.3.4.5 VC含量的测定

参照GB 5009.86—2016《食品中抗坏血酸的测定》<sup>[12]</sup>测定香葱叶片中VC的含量。

#### 1.3.4.6 可溶性糖含量的测定

参考李文砚等<sup>[13]</sup>的方法测定香葱中可溶性糖含量。

#### 1.3.4.7 可溶性蛋白含量的测定

参考Jiang Ke等<sup>[14]</sup>的方法稍作修改。准确称取0.5 g研磨后的香葱样品,加入5 mL 0.1 mol/L磷酸缓冲溶液(pH 7.2),混匀后离心(4℃、10 000×g, 15 min),取0.1 mL上清液,加入5 mL考马斯亮蓝G-250溶液,混匀后于595 nm波长处测定吸光度。重复测定3次,取平均值。

#### 1.3.4.8 总游离氨基酸含量的测定

采用茚三酮比色法<sup>[15]</sup>测定香葱中总游离氨基酸的含量。

#### 1.3.4.9 丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量的测定

采用硫代巴比妥酸法<sup>[16]</sup>测定香葱中MDA的含量。

#### 1.3.4.10 亚硝酸盐含量的测定

参考GB 5009.33—2016《食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》<sup>[17]</sup>的方法稍作修改。准确称取0.5 g研磨后的香葱样品,加入2.5 mL饱和硼砂溶液,研磨后向其中加入2.5 mL 70~80℃的蒸馏水,混匀后于沸水浴中加热15 min,取出后冷却10 min,随后向其中加入1 mL亚铁

氰化钾溶液,摇匀后加入1 mL乙酸锌溶液,摇匀静置30 min后离心(4℃、10 000×g, 15 min),取上清液备用。吸取2.5 mL上清液,加入2 mL对氨基苯磺酸溶液,混匀静置3~5 min后加入1 mL盐酸萘乙二胺溶液,混匀后静置15 min,于538 nm波长处测定吸光度。重复测定3次,取平均值。

### 1.4 数据处理与分析

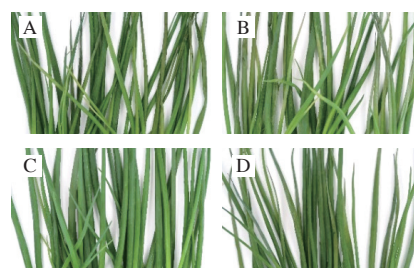
所有数据为3次生物学重复,数据采用 $\bar{x} \pm s$ 表示。两个处理之间的差异性显著分析采用t-test检验( $P < 0.05$ ),多个处理之间的差异采用Duncan法进行多重比较,用Origin 2021软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 SAEW处理香葱的质量浓度筛选

#### 2.1.1 不同质量浓度SAEW处理对采后香葱外观品质的影响

不同质量浓度SAEW处理采后香葱货架5 d的外观品质情况如图1所示,各处理组香葱均出现不同程度的腐烂现象,低质量浓度(100 mg/L)SAEW处理对香葱表型的影响不明显,然而200 mg/L的SAEW处理明显减轻了香葱组织的腐烂情况。值得注意的是,300 mg/L的SAEW处理可能对香葱存在伤害,该处理加重了香葱的腐烂。



A. 0 mg/mL SAEW; B. 100 mg/mL SAEW; C. 200 mg/mL SAEW; D. 300 mg/mL SAEW.

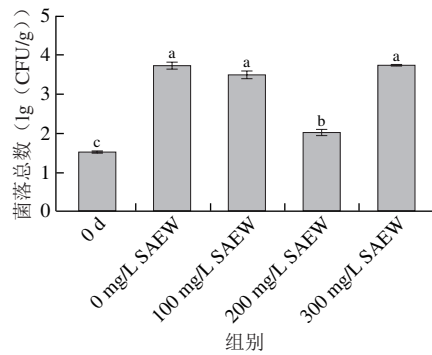
图1 不同质量浓度SAEW处理对香葱外观品质的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of SAEW treatment on the appearance quality of chives

#### 2.1.2 不同质量浓度SAEW处理对采后香葱菌落总数的影响

不同质量浓度SAEW处理香葱货架5 d的菌落总数如图2所示,与0 d相比,贮藏到第5天时,香葱组织中的菌落总数显著增加( $P < 0.05$ )。然而,200 mg/L SAEW处理组的菌落总数较对照、100 mg/L和300 mg/L的SAEW处理组分别低了45.7%、41.9%和45.9%,可见,适宜质量浓度的SAEW处理能有效降低香葱组织中的菌落总数。

因此,基于以上不同质量浓度SAEW处理对采后香葱外观品质以及菌落总数的影响特点,优选出200 mg/L的SAEW用于后续实验。



小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图2 不同质量浓度SAEW处理对香葱中菌落总数的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of SAEW treatment on the total number of colonies in chives

## 2.2 SAEW对采后香葱贮藏品质的影响

### 2.2.1 外观品质

由图3可看出,对照组的香葱从贮藏第1天开始即出现腐烂现象,随着贮藏时间的延长,这种腐烂症状不断加重。然而,SAEW能够在一定程度上延缓香葱的腐烂情况,该处理组的香葱仅在贮藏第7天时表现出轻微的腐烂症状。这与图1质量浓度筛选的实验结果一致,进一步表明200 mg/L的SAEW处理在维持香葱外观品质方面有一定作用。

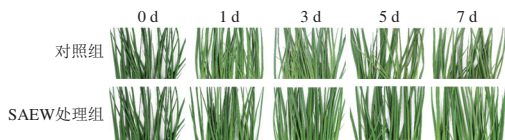
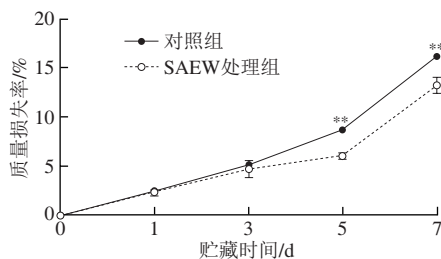


图3 SAEW处理对采后香葱外观品质的影响

Fig. 3 Effect of SAEW treatment on the appearance quality of postharvest chives

### 2.2.2 质量损失率

由图4可看出,随着贮藏时间的延长,采后香葱的质量损失率逐渐上升。在贮藏前3 d,对照和SAEW处理组的质量损失率之间无显著差异,但在贮藏5~7 d期间,SAEW处理香葱的质量损失率显著低于对照组。在贮藏第5天和第7天时,SAEW处理组的质量损失率比对照组分别降低了20.6%和17.2%。综上,SAEW处理能够显著减缓采后香葱贮藏过程中的质量损失。



\*.组间差异显著 ( $P < 0.05$ ); \*\*.组间差异极显著 ( $P < 0.01$ )。图6~10同。

图4 SAEW处理对采后香葱质量损失率的影响

Fig. 4 Effect of SAEW treatment on the mass loss rate in postharvest chives

### 2.2.3 腐烂率

从图5可看出,香葱在贮藏过程中不断腐烂。对照组的香葱在贮藏3~5 d期间腐烂率急剧上升,到贮藏第5天和第7天时,对照组香葱的腐烂率分别达到13.3%和17.5%,而SAEW处理组仅为4.2%和9.2%。可见,SAEW处理显著延缓了香葱在采后贮藏过程中的腐烂进程。

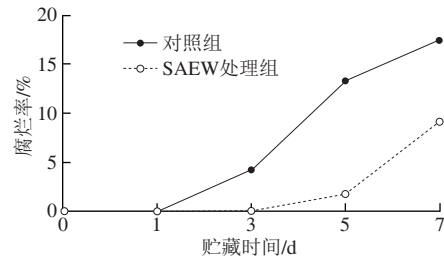


图5 SAEW处理对采后香葱腐烂率的影响

Fig. 5 Effect of SAEW treatment on the rot rate of postharvest chives

### 2.2.4 菌落总数

由图6可看出,随着贮藏时间的延长,对照香葱中的菌落总数逐渐增加。尽管SAEW处理组也呈现相同的增加趋势,但在整个贮藏期间,SAEW处理组香葱中的菌落总数明显低于对照组。到贮藏第5天时,对照组香葱中的菌落总数已经达到5.00 (lg(CFU/g)),而SAEW处理组香葱中的菌落总数仅为3.20 (lg(CFU/g)),比对照组低了35.5%。可见,SAEW能够显著抑制采后香葱中菌落总数的增长。

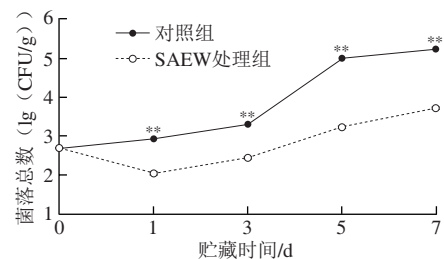


图6 SAEW处理对采后香葱中菌落总数的影响

Fig. 6 Effect of SAEW treatment on the total number of colonies in postharvest chives

### 2.2.5 叶绿素含量

如图7所示,在整个贮藏期间,所有香葱中的叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素的含量均呈下降趋势。在贮藏的前3 d,对照与SAEW处理组香葱之间的总叶绿素含量无显著差异,但贮藏到5~7 d时,对照组香葱中的总叶绿素含量急剧下降,且仅为SAEW处理组的39.7%和46.6%。可见,SAEW能够显著延缓香葱中叶绿素含量的降低。

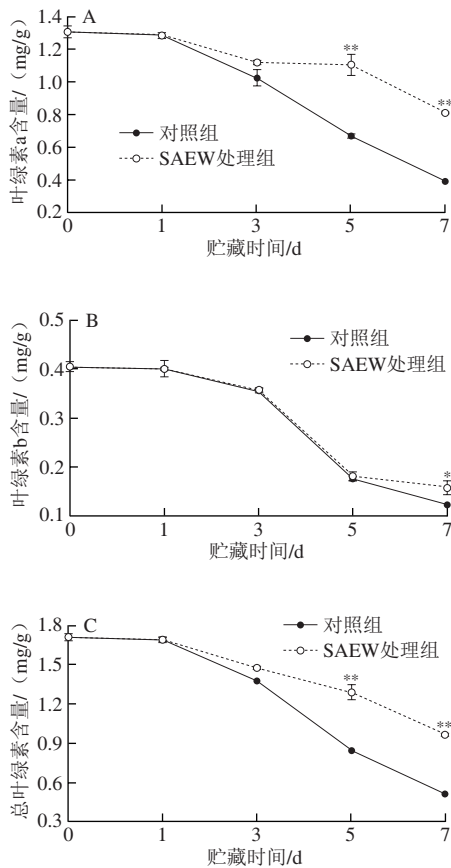


图7 SAEW处理对采后香葱中叶绿素a (A)、叶绿素b (B) 和总叶绿素 (C) 含量的影响

Fig. 7 Effect of SAEW treatment on the contents of chlorophyll a (A), chlorophyll b (B) and total chlorophyll (C) in postharvest chives

### 2.2.6 VC、可溶性糖和可溶性蛋白含量

如图8A所示, 在贮藏第1天时, 对照和SAEW处理香葱中的VC含量均升高, 之后明显下降。在贮藏第3、5、7天时, SAEW处理香葱中的VC含量分别为13.5、12.6 mg/100 g和11.9 mg/100 g, 比对照组分别高3.5%、6.5%和12.7%。可见, SAEW处理能有效延缓香葱中VC含量的降低。

由图8B可看出, 在贮藏第1天时, 所有香葱中的可溶性糖含量均急剧下降, 在之后的3~7 d期间则呈缓慢下降趋势。相比之下, SAEW处理明显减缓了香葱中可溶性糖含量的下降速率。在贮藏第7天时, SAEW处理香葱中的可溶性糖含量是对照组的1.1倍。

如图8C所示, 随着贮藏时间的延长, 所有香葱中的可溶性蛋白含量均不断下降。在贮藏第1天时, 对照与SAEW处理香葱中的可溶性蛋白含量之间无显著差异。然而, 在贮藏3~7 d期间, SAEW处理香葱中的可溶性蛋白含量显著高于对照组。可见, SAEW处理对香葱采后贮藏过程中可溶性蛋白含量的下降起到明显的抑制作用。

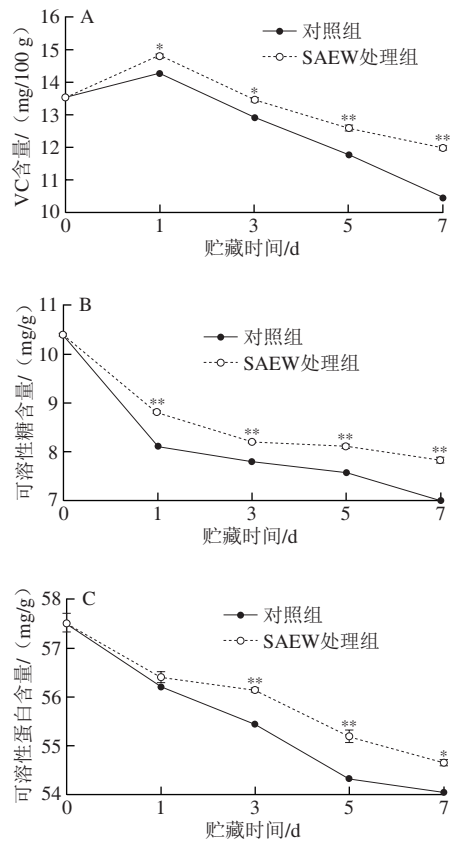


图8 SAEW处理对采后香葱中VC (A)、可溶性糖 (B) 和可溶性蛋白 (C) 含量的影响

Fig. 8 Effect of SAEW treatment on the contents of VC (A), soluble sugar (B) and soluble protein (C) in postharvest chives

### 2.2.7 总游离氨基酸

如图9所示, 在整个贮藏期间, 香葱中的总游离氨基酸含量不断增加, 而SAEW处理香葱中的总游离氨基酸含量始终低于对照组。在贮藏第1天时, 对照和SAEW处理香葱中的总游离氨基酸含量分别为129.4 mg/100 g和79.6 mg/100 g, 到贮藏第7天时, 对照组香葱中的总游离氨基酸含量上升到464.2 mg/100 g, 而SAEW处理组香葱中的总游离氨基酸含量为329.5 mg/100 g, 比对照组低29.1%。可见, SAEW处理能够有效抑制香葱中总游离氨基酸的积累。

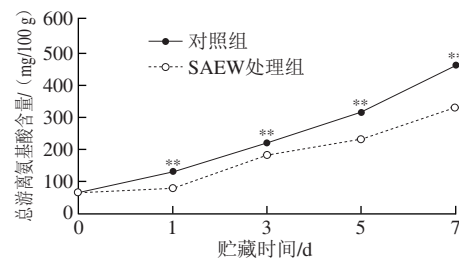


图9 SAEW处理对采后香葱中总游离氨基酸含量的影响

Fig. 9 Effect of SAEW treatment on the content of total free amino acids in postharvest chives

### 2.2.8 MDA和亚硝酸盐

如图10A所示,随着贮藏期的延长,所有香葱中的MDA含量均逐渐增加。除了贮藏第5天外,其他贮藏时间,SAEW处理显著降低了香葱中的MDA含量。贮藏至结束时,SAEW处理使香葱中的MDA含量比对照组降低了9.3%,表明SAEW处理可有效抑制采后香葱贮藏过程中MDA的积累。

如图10B所示,随着贮藏时间的延长,香葱中的亚硝酸盐不断积累。但在整个贮藏期间,SAEW处理组香葱中的亚硝酸盐均极显著低于对照组。如在贮藏第7天时,对照香葱中的亚硝酸盐含量已达到0.5 mg/kg,而SAEW处理香葱中的亚硝酸盐含量仅为0.3 mg/kg。可见,SAEW处理能显著延缓采后香葱中亚硝酸盐的积累。

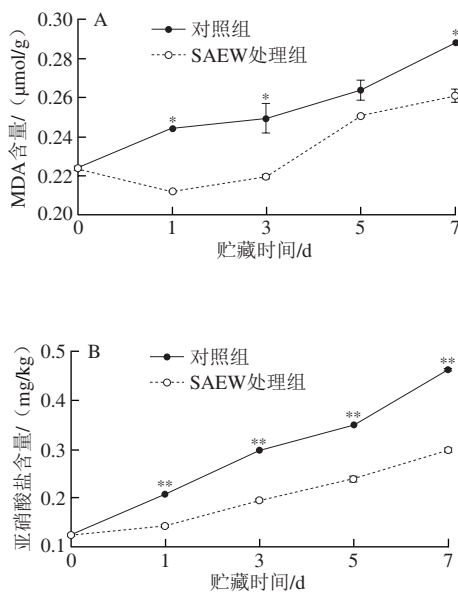
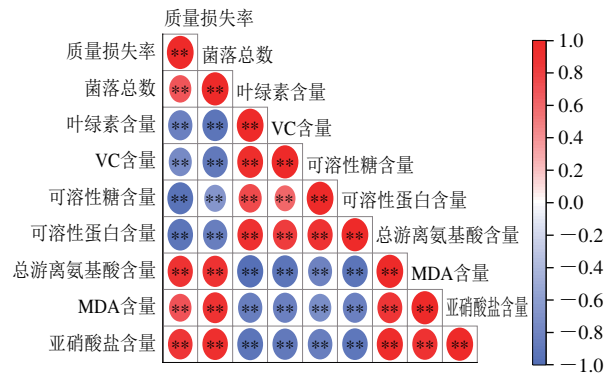


图10 SAEW处理对采后香葱中MDA (A) 和亚硝酸盐 (B) 含量的影响

Fig. 10 Effect of SAEW treatment on the contents of MDA (A) and nitrite (B) in postharvest chives

### 2.2.9 相关性分析

如图11所示,质量损失率与菌落总数、总游离氨基酸、MDA和亚硝酸盐含量呈极显著正相关,与叶绿素、VC、可溶性糖以及可溶性蛋白含量呈极显著负相关,该结果表明,SAEW处理可减缓采后香葱贮藏过程中的失水问题,降低香葱中叶绿素和VC等营养物质的降解,同时抑制菌落总数的生长和亚硝酸盐等有害物质的积累,维持香葱较好的品质。



\*.显著相关 ( $P < 0.05$ ); \*\*.极显著相关 ( $P < 0.01$ )。

图11 SAEW处理采后香葱品质指标间的相关性分析

Fig. 11 Correlation analysis among quality indexes of postharvest chives treated with SAEW

## 3 讨论与结论

采后香葱易受许多食源性致病菌污染而腐烂,因此需要有效的处理方法。目前,SAEW作为一种广谱杀菌剂,因其制取成本低、与普通水理化指标相近、对环境友好、对人体无毒副作用等优点在食品消毒、果蔬保鲜等领域被广泛应用<sup>[18]</sup>。基于此,本研究使用SAEW处理采后香葱,探究其对香葱组织的杀菌和清洁作用。SAEW的主要成分为具有强氧化性的次氯酸,可通过破坏微生物结构和影响微生物生理生化反应杀灭致病菌<sup>[19]</sup>。本实验发现,使用SAEW处理香葱时,其杀菌效果随着有效氯质量浓度的增加而增加,当有效氯质量浓度为200 mg/L时,其对香葱中的菌落总数的杀菌效果最显著,并且能较好地维持其外观品质;但当有效氯质量浓度达到300 mg/L时,杀菌效果则减弱。进一步的实验结果也表明,200 mg/L的SAEW处理有效延缓了香葱中营养物质的降解,抑制了总游离氨基酸等有害物质的积累,从而维持了其良好的贮藏品质。类似的研究也表明,SAEW处理显著抑制了菠菜、芹菜和生菜中菌落总数、大肠杆菌和沙门氏菌的生长<sup>[7,20-21]</sup>。Koide等<sup>[22]</sup>的研究结果表明,SAEW处理显著减少了鲜切甘蓝中总需氧细菌、霉菌和酵母菌的数量。因此,SAEW处理可作为一种有效的采后处理方法,提高蔬菜的质量和保鲜能力,为蔬菜行业的发展提供新的思路和方法。

由于采后叶类蔬菜不再从土壤等外界获取能量,随着呼吸作用的进行,叶类蔬菜中叶绿素和VC等营养物质含量会随着贮藏时间的延长不断下降,导致其出现褪绿、酸度增加等“亚健康”的状态<sup>[23]</sup>。本研究结果显示,尽管所有香葱中的叶绿素、VC、可溶性糖和可溶性蛋白含量均随着贮藏时间的延长而不断下降,但SAEW处理显著延缓了这些营养物质的降解。这与俞静芬等<sup>[24]</sup>的研究结果基本一致。同样的研究结果也显示,SAEW与真空预冷的结合能够有效减缓采后鸡毛菜的黄化衰老

进程, 维持组织较高的可溶性蛋白和可溶性糖含量<sup>[25]</sup>。可见, SAEW可通过减缓香葱中的营养物质的降解维持其较好的品质。另外本研究发现, 在贮藏第1天时, 对照与SAEW处理香葱中VC含量均出现上升的现象。这与王馨渝等<sup>[26]</sup>的研究结果一致, 该研究显示, 常温处理上海青后, 在4℃条件下进行低温流通1d时, 上海青组织中的VC亦出现升高的现象。这可能是香葱在进行低温贮藏时出现了低温胁迫, 具体原因还需后续进行深入研究。

在香葱的贮藏过程中, 蛋白质的水平逐渐下降, 而总游离氨基酸的含量不断增加。这与植物的衰老以及蛋白质分解和氨基酸之间的相互转化增加有关<sup>[27]</sup>。因此, 总游离氨基酸含量可以用来评估叶类蔬菜的新鲜程度。本研究表明, SAEW处理香葱中的总游离氨基酸含量在整个贮藏期间均低于对照组。可见, SAEW处理极显著抑制了香葱组织中总游离氨基酸的积累。此外, MDA是组织膜脂过氧化的产物, 其含量也是衡量组织衰老水平的重要指标<sup>[28]</sup>。本研究结果表明, 随着贮藏时间的延长, 所有香葱中的MDA含量均逐渐增加, 而SAEW处理显著抑制了香葱中MDA的积累。艾春梅<sup>[29]</sup>的研究结果也表明, SAEW与紫外发光二极管结合显著抑制了香菜中MDA含量的增加。近年来, 随着人们对食品安全和日常饮食关注度的提升, 叶类蔬菜中亚硝酸盐的含量受到越来越多的重视<sup>[30]</sup>。本研究结果显示, 香葱中的亚硝酸盐含量随着贮藏时间的延长而增加, 这与刘书彰等<sup>[31]</sup>发现叶类蔬菜在贮藏过程中亚硝酸盐会不断积累的研究结果相似。尽管所有香葱中都存在亚硝酸盐积累的情况, 但SAEW处理显著抑制了香葱中亚硝酸盐的积累。类似的研究还表明, SAEW可以有效地抑制采后西兰花贮藏过程中MDA以及亚硝酸盐的积累<sup>[32]</sup>。

综上, 200 mg/L的SAEW能够抑制香葱质量损失、腐烂率和菌落总数的增长, 减缓叶绿素、VC、可溶性糖以及可溶性蛋白含量的下降, 降低有害物质总游离氨基酸、MDA和亚硝酸盐的积累。可见, SAEW处理能有效抑制香葱营养品质的下降, 可作为一种香葱采后贮藏保鲜过程中的高效杀菌保鲜方法。

#### 参考文献:

- [1] 浦浩亮, 王柳清, 胡秋辉, 等. 脱水香葱在不同水分活度下贮藏品质的变化规律[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 228-233. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181209-108.
- [2] 尤亚林, 李慧, 潘思轶, 等. 细香葱提取物对人胃癌细胞SGC7901抑制作用[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 176-181. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201703029.
- [3] YOSHIHIRO I, YOSHITAKA S, MINAKO K, et al. Physiological responses and quality attributes of Chinese chive leaves exposed to CO<sub>2</sub>-enriched atmospheres[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 46(2): 160-166. DOI:10.1016/j.postharvbio.2007.04.008.
- [4] WU C W, DU X F, WANG L Z, et al. Effect of 1-methylcyclopropene on postharvest quality of Chinese chive scapes[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 51(3): 431-433. DOI:10.1016/j.postharvbio.2008.08.005.
- [5] 孙芳艳, 钱培芬. 微酸性电解水的临床应用与进展[J]. 上海护理, 2011, 11(2): 66-69.
- [6] HAO J X, LI H Y, WAN Y F, et al. Effect of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) treatment on the microbial reduction and storage quality of fresh-cut cilantro[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(6): 559-566. DOI:10.1111/jfpp.12261.
- [7] 唐志龙, ALERYANI H, 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): 2625-2632. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2022.08.055.
- [8] 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. DOI:10.7535/hbgykj.2016yx0100.
- [9] 康晨, 吴珏, 姜安泽, 等. 贮藏温度对“黄妃”樱桃番茄果实品质的影响[J]. 中国食品学报, 2023, 23(4): 295-304.
- [10] 国家卫生和计划生育委员会. 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-5.
- [11] 安容慧, 周宏胜, 罗淑芬, 等. 真空预冷及不同流通方式对上海青货架品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(13): 241-248. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200609-119.
- [12] 国家卫生和计划生育委员会. 食品中抗坏血酸的测定: GB 5009.86—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-9.
- [13] 李文砚, 韦持章, 孔方南, 等. 葱蒜法测定木奶果果实中可溶性糖含量的研究[J]. 中国园艺文摘, 2015, 31(12): 7-8; 28.
- [14] JIANG K, KUANG Y, FENG L Y, et al. Molecular hydrogen maintains the storage quality of Chinese chive through improving antioxidant capacity[J]. Plant, 2021, 10(6): 1095. DOI:10.3390/PLANTS10061095.
- [15] 邵金良, 黎其万, 董宝生, 等. 茛菪酮比色法测定茶叶中游离氨基酸总量[J]. 中国食品添加剂, 2008(2): 162-165.
- [16] 张昱, 芦玉佳, 任新雅, 等. 外源葡萄糖处理对杏果果实抗氧化代谢及贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(19): 157-170. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20221207-068.
- [17] 国家卫生和计划生育委员会. 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定: GB 5009.33—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-13.
- [18] 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): 229-232. DOI:10.11726/j.jissn.1001-7658.2020.03.024.
- [19] 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]. 食品质量安全监测学报, 2020, 11(12): 3795-3802. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2020.12.016.
- [20] 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.
- [21] ABDULSUDI I, YOSHINORI K, NAMI M, et al. Application of slightly acidic electrolyzed water as a potential non-thermal food sanitizer for decontamination of fresh ready-to-eat vegetables and sprouts[J]. Food Control, 2011, 22(3/4): 601-607. DOI:10.1016/j.foodcont.2010.10.011.
- [22] KOIDE S, TAKEDA J I, SHI J, et al. Disinfection efficacy of slightly acidic electrolyzed water on fresh cut cabbage[J]. Food Control, 2008, 20(3): 294-297. DOI:10.1016/j.foodcont.2008.05.019.
- [23] 李娇洋, 杨帆, 包斌. 叶类蔬菜贮藏中品质变化评价指标及其分析方法的进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 334-340. DOI:10.13386/j.jissn1002-0306.2018.15.059.
- [24] 俞静芬, 尚海涛, 林旭东, 等. 微酸性电解水与气调包装对鲜切茼蒿保鲜效果研究[J]. 现代农机, 2021(5): 50-54.
- [25] 赵安琪, 安容慧, 王馨渝, 等. 真空预冷中雾化微酸性电解水处理对鸡毛菜低温流通及其货架期品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(3): 218-227. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220325-312.
- [26] 王馨渝, 安容慧, 赵安琪, 等. 真空预冷过程中喷雾补水处理对低温流通及货架期上海青品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(7): 211-219. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220317-204.
- [27] YOSHIHIRO I, YOSHITAKA S, KAZUKO U, et al. Physiological and quality responses of Chinese chive leaves to low oxygen atmosphere[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 31(3): 295-303. DOI:10.1016/j.postharvbio.2003.09.004.
- [28] 田方, 徐咏菁, 孙志栋, 等. 低温等离子体处理对鲜切猕猴桃片微观结构及理化特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(21): 167-174. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033207.
- [29] 艾春梅. 弱酸性电位水及UV-LED对香菜杀菌及保鲜效果研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2022: 41-42.
- [30] 刘家香, 田静, 许留兴, 等. 不同处理对叶菜贮藏过程中亚硝酸盐含量的影响[J]. 草业科学, 2018, 35(5): 1287-1292. DOI:10.11829/j.jissn.1001-0629.2017-0538.
- [31] 刘书彰, 高伟哲, 魏柯成, 等. 储存时间对蔬菜中亚硝酸盐含量的影响[J]. 实验室科学, 2015, 18(2): 54-57. DOI:10.3969/j.jissn.1672-4305.2015.02.016.
- [32] 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): 338-346. DOI:10.13386/j.jissn1002-0306.2022050095.