DOI:10.12441/spyswjs.20250118001 [文章编号] 1673-1689(2025)03-0110-09

醋酸和氯化钠复合消毒剂对鲜切香菜的保鲜效果研究

王晨晨[1] 程远霞[1*] 韦成艳[1] 张宇骋旻[1] 王灵昭[1] 詹 扬[2]

(1. 江苏海洋大学海洋食品与生物工程学院,江苏 连云港 222005; 2. 连云港紫燕农业开发有限公司,江苏 连云港 222207)

摘要:【目的】研究鲜切香菜的最佳消毒方法。**【方法】**采用醋酸和氯化钠作为消毒剂,先进行单因素试验,再根据单因素试验结果进行正交试验,4 ℃贮存 2 d 后测定试验指标:菌落总数、叶绿素质量分数、硬度、色泽、风味物质和感官品质。**【结果】**1 g/L 的醋酸和 3 g/L 的氯化钠复合消毒剂消毒 5 min 效果最佳,鲜切香菜于 4 ℃贮藏,货架期可达 7 d,感官评分为 7.72 分,菌落总数的对数为 5.86,比 150 mg/L 二氧化氯或 200 mg/L 次氯酸钠消毒的鲜切香菜货架期延 2 d。**【结论】**1 g/L 的醋酸和 3 g/L 的氯化钠复合消毒剂消毒 5 min 是一种处理鲜切香菜高效安全的消毒方法。该研究不仅能够有效提升鲜切香菜品质并延长货架期,还有助于减少工厂水资源浪费,节省生产成本,为其商业化应用提供理论依据。

关键词:鲜切香菜;醋酸;氯化钠;二氧化氯;电子鼻;电子舌

Preservation of Fresh-cut Coriander by a Acetic Acid-sodium Chloride Compound Sanitizer

WANG Chenchen[1] *CHENG Yuanxia*[1*] *WEI Chengyan*[1] *ZHANG Yuchengmin*[1] *WANG Lingzhao*[1] *ZHAN Yang*[2]

(1. School of Ocean Food and Biological Engineering, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China; 2. Lianyungang Ziyan Agricultural Development Co., Ltd., Lianyungang 222207, China)

Abstract: [**Objective**] This study aims to develop an effective sterilization method for fresh-cut coriander. [**Method**] Acetic acid and sodium chloride were used as sanitizers. Single-factor experiments were first conducted, followed by the orthogonal experiment based on the results of single-factor experiments. After storage at 4 ℃ for 2 days, the aerobic plate count, chlorophyll mass fraction, hardness, color, flavor substances, and sensory quality were determined. [**Result**] The treatment with 1 g/L acetic acid and 3 g/L sodium chloride for 5 min achieved the best sterilization effect. Under refrigerated storage (at 4 ℃), coriander treated with this compound sanitizer maintained a shelf life of 7 days, with a sensory score of 7.72 and a total bacterial count of 5.86. This treatment extended the shelf life by 2 days compared with the treatment using 150 mg/L chlorine dioxide or 200 mg/L sodium hypochlorite. [**Conclusion**] The compound sanitizer composed of 1 g/L acetic acid and 3 g/L sodium chloride is an effective and safe alternative for sterilizing fresh-cut coriander. This method not only improves the quality and prolongs the shelf life of coriander but also reduces water consumption and production costs, providing a theoretical foundation for commercial application.

Keywords: fresh-cut coriander; acetic acid; sodium chloride; chlorine dioxide; electronic nose; electronic tongue

---

基金项目:江苏省科技厅苏北科技专项项目(SZ-LYG202012)

通信作者:程远霞(1971—),博士,讲师,主要从事食品加工和贮运方面的研究。 E-mail:chengyuanxiaqq@126.com

收稿日期:2025-01-18 **修回日期:**2025-03-24

鲜切蔬菜是指以新鲜蔬菜为原料，采用预处理、清洗、去皮或不去皮、切分或不切分、消毒、漂洗、去除表面水等处理，密封包装后经冷链贮运销售的产品[1]。目前鲜切香菜不需要进一步处理就可即食或即用，具有新鲜和方便等特点，市场需求量大[2]。鲜切香菜可供机关及企事业单位食堂、火锅店、快餐店、中央厨房、阳光配送中心等餐饮机构直接使用，节省人力物力，降低生产成本，减少厨余垃圾。鲜切香菜在贮藏过程中容易被微生物污染、产生叶片黄化等不良变化，导致其颜色、风味、质构以及营养成分流失等品质变化，因此防止微生物的侵染并抑制其活性已经成为控制鲜切蔬菜新鲜度的重要问题[3-6]。

消毒是控制产品品质和货架期的重要步骤之一[7]。目前工厂生产的鲜切香菜大多采用化学试剂消毒法，如二氧化氯、次氯酸钠等[8-9]。但使用二氧化氯或次氯酸钠消毒在工业化生产鲜切香菜时会产生一些安全问题和弊端[10-13]：香菜原料需消毒2次且消毒后需使用纯净饮用水清洗，清洗不彻底会导致二氧化氯和次氯酸钠残留在物料表面；二氧化氯具有强烈刺激气味，其消毒时产生的无机副产物也会影响人体健康；残留的次氯酸钠易与食物中的有机物发生反应生成对人体有害的氯化物，还会破坏产品的风味和品质。

食用醋酸和氯化钠是生活中常用的调味品，与二氧化氯和次氯酸钠相比无需二次消毒，不仅对果蔬有抑菌作用，且对人体无毒无害，不需要使用纯净水进行清洗，可为工厂节省大量纯净水，减少了废水排出。因此采用不同质量浓度的醋酸和氯化钠对鲜切香菜进行消毒，研究其菌落总数、叶绿素含量、硬度、色泽、风味物质以及感官品质的变化，为其商业化应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜香菜：连云港紫燕农业开发有限公司；醋酸：食品级，河南凯帝食品工业有限公司；氯化钠：食品级，浙江天禾食品生物；次氯酸钠、二氧化氯：食品级，黄骅市隆昌化工产品有限公司；无水乙醇、丙酮、氯化钠：分析纯，上海国药集团化学试剂有限公司；平板计数琼脂：分析纯，北京陆桥技术股份有限公司。

1.2 仪器与设备

立式压力蒸汽灭菌锅：JC-MJG30A型，上海博迅实业有限公司医疗设备厂；恒温恒湿箱：SPX250C型，上海博迅实业有限公司医疗设备厂；三孔三温水浴锅：H4-3A型，金坛区科杰仪器厂；精密称量电子天平：BS323S型，赛多利斯科学仪器（北京）有限公司；色差计：WSC-S型，深圳市三恩驰科技有限公司；质构仪：TMS-PRO型，济南恒品机电技术有限公司；超净双人工作台：SWCJ2F型，苏州净化设备有限公司；高速冷冻离心机：H4-20KR型，苏州威尔实验用品有限公司；紫外可见分光光度计：L3S型，上海仪田精密仪器有限公司；电子鼻：C-Nose型，上海保圣实业发展公司；电子舌：C-Tongue型，上海保圣实业发展公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

挑选无黄叶萎蔫、无破损腐烂、长短均一的铁杆香菜为原料。加工工艺流程为：整棵香菜→清洗→醋酸、氯化钠消毒→沥水→切分→包装→成品。采用醋酸、氯化钠消毒，无需二次消毒和纯净水清洗。

1.3.2 单因素试验

1）消毒时间对鲜切香菜品质的影响：根据鲜切香菜加工工艺流程，将鲜切香菜分别置于2 g/L醋酸消毒剂和2 g/L氯化钠消毒剂中分别浸泡消毒3、5、7、9、11 min，然后取出沥水，均匀切分至4 cm，PE食品袋包装，贮藏2 d后对鲜切香菜的指标进行测定。

2）醋酸质量浓度对鲜切香菜的品质影响：根据陈康瑞等[14]的方法并稍加修改。将鲜切香菜分别置于质量浓度1、2、3、4、5 g/L的醋酸溶液中消毒5 min，然后取出沥水，均匀切分至4 cm，PE食品袋包装，4 ℃下贮藏2 d后对鲜切香菜的指标进行测定。

3）氯化钠质量浓度对鲜切香菜的品质影响：根据陈康瑞等[14]的方法并稍加修改。将鲜切香菜分别置于质量浓度1、2、3、4、5 g/L的氯化钠溶液中消毒5 min，然后取出沥水，均匀切分至4 cm，PE食品袋包装，4 ℃下贮藏2 d后对鲜切香菜指标进行测定。

1.3.3 正交试验

为优化醋酸和氯化钠复合对鲜切香菜的消毒方法，在单因素试验的基础上，选取醋酸质量浓度、氯化钠质量浓度、消毒时间3个因素进行考察，每个因素设3个水平，即*A*（醋酸质量浓度）为1、2、

3 g/L，*B*（氯化钠质量浓度）为2、3、4 g/L，C（消毒时间）为3、5、7 min，见表1。

表1 $L_9(3^4)$正交试验因素水平

Table 1 Factors and levels of the $L_9(3^4)$ orthogonal experiment

水平	因素		
	醋酸质量浓度/（g/L）	氯化钠质量浓度/（g/L）	消毒时间/（min）
1	1	2	3
2	2	3	5
3	3	4	7

1.3.4 不同消毒方法对鲜切香菜菌落总数的影响

分别采用醋酸-氯化钠复合消毒剂、200 mg/L次氯酸钠、150 mg/L二氧化氯消毒剂处理香菜原料，以清水处理的鲜切香菜为对照组（CK），研究不同消毒方法对鲜切香菜菌落总数的影响。

1.3.5 不同消毒方法对鲜切香菜风味物质的影响

分别采用醋酸-氯化钠复合消毒剂、200 mg/L次氯酸钠、150 mg/L二氧化氯消毒剂处理香菜原料，以清水处理的鲜切香菜为对照组（CK），研究不同消毒方法对鲜切香菜风味物质的影响。

1.3.6 最优消毒法对鲜切香菜货架期的影响

根据GB/T 38493—2020[15]确定鲜切香菜货架期，在货架期内，鲜切香菜的微生物指标应低于微生物标准且感官品质应符合售出标准[16]。将香菜按照该试验最优消毒法进行处理，贮藏至8 d，每日取样分析菌落总数，并进行感官评价。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 菌落总数

根据GB 4789.2—2022[17]对鲜切香菜菌落总数进行测定。

1.4.2 叶绿素质量分数

根据NY/T 3082—2017[18]对鲜切香菜叶绿素质量分数进行测定。

1.4.3 色泽

根据王若男等[19]的方法对鲜切香菜的色泽变化进行测定。

1.4.4 硬度

根据孔倩倩等[20]的方法并稍加修改。取不同香菜同位置的茎，采用P30探头以1.0 mm/s的速度前进，对鲜切香菜硬度进行测定，每种样品重复测定3次。

1.4.5 风味物质

根据史亚兴等[21]的方法并稍加修改。取不同消毒剂处理后的鲜切香菜各5.00 g粉碎，置于顶空进样瓶中，静置5 min。每个处理制样8个，采用电子鼻进行气味分析试验。

根据闫星月等[22]的方法并稍加修改。分别称取不同消毒剂处理的鲜切香菜样品20 g，加入150 mL的水研磨成浆，离心过滤，采用电子舌进行风味物质分析试验。

1.4.6 感官品质

采用不同质量浓度的醋酸对香菜进行消毒处理，参考NY/T 1987—2011[23]稍加修改，进行感官评定，评分标准见表2。

表2 感官评分标准

Table 2 Sensory scoring standards

分数	外观	颜色	质地	风味
8~10	品相完好	茎叶鲜绿有光泽	质地脆嫩	香菜味浓郁
6~8	品相较好	茎叶较绿无光泽	质地较脆嫩	香菜味较浓
5~6	品相中等	少许茎叶发黄	质地较脆嫩	香菜味较淡
<5	品相较差	茎叶发黄变暗	茎叶出现萎蔫	香菜味淡，不可食用

1.5 数据处理

采用SPSS 25.0、Excel 2016以及Origin 2018进行数据处理及分析。

2 结果与讨论

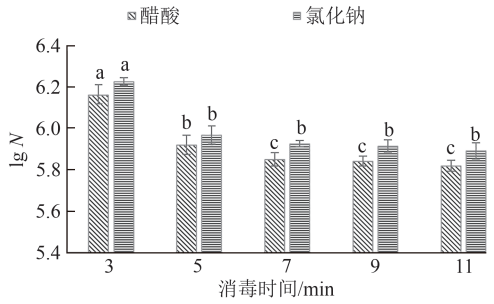
2.1 单因素试验

2.1.1 消毒时间对鲜切香菜菌落总数的影响

由图1可知，当消毒时间不超过7 min时，随消毒时间变长，菌落总数显著降低（$P<0.05$），消毒时间超过7 min时，菌落总数无显著性变化（$P>0.05$），且消毒时间过长会对鲜切香菜风味产生影响，因此消毒时间不宜过长，选用3、5、7 min进行后续正交试验。

2.1.2 消毒剂质量浓度对鲜切香菜菌落总数的影响

由图2可知，当采用1 g/L醋酸对香菜进行消毒时，其菌落总数显著低于其他质量浓度消毒时

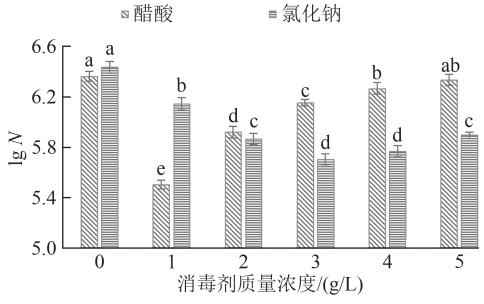


不同字母代表组间存在显著性差异（P<0.05）；N为菌落总数（CFU/g）。

图1　消毒时间对鲜切香菜菌落总数的影响

Fig. 1　Effect of sterilization time on the aerobic plate count of fresh-cut coriander

的菌落总数（P<0.05），相关研究表明醋酸可通过抑制蛋白质合成、影响细胞代谢来抑制细菌的生长[24-25]。样品菌落总数随着醋酸质量浓度升高而显著增加（P<0.05）。然而根据醋酸抑菌原理，菌落总数应随醋酸质量浓度升高而降低，造成该试验现象的原因可能是：醋酸质量浓度过高会改变香菜表皮细胞膜通透性，致使微生物入侵，从而导致菌落总数增加。因此采用醋酸对香菜进行消毒时不宜采用过高的质量浓度。同时，考虑到消毒成本及对鲜切香菜感官品质的影响，也不宜采用过高质量浓度的醋酸。



不同字母表示组间存在显著性差异（P<0.05）；N为菌落总数（CFU/g）。

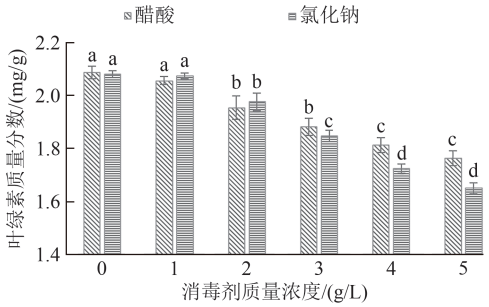
图2　消毒剂质量浓度对鲜切香菜菌落总数的影响

Fig. 2　Effect of sanitizer mass concentration on the aerobic plate count of fresh-cut coriander

由图2可知，当氯化钠质量浓度不超过3 g/L时，样品菌落总数随质量浓度升高而显著降低（P<0.05），质量浓度为3、4 g/L时，菌落总数无显著性差异（P>0.05）。在一定范围内，氯化钠质量浓度越高，其杀菌能力越强。杨振等[26]研究发现，氯化钠溶液通过渗透作用抑制细菌生长及繁殖，可达到杀菌的目的。但氯化钠质量浓度过高会导致咸味过重，影响产品原有风味且生产成本更高。因此，采用低质量浓度的氯化钠对香菜原料进行消毒。

2.1.3　消毒剂质量浓度对鲜切香菜叶绿素的影响

由图3可知，鲜切香菜叶绿素质量分数随着消毒剂质量浓度的升高而显著降低（P<0.05）。造成此结果的原因是消毒剂质量浓度过高导致叶绿素分解，这与龙洋洋等[27]的研究结果一致。在酸性条件下，H^+取代叶绿素分子中的Mg^{2+}，促进叶绿素降解，为防止鲜切香菜叶绿素质量分数的降低，应采用低质量浓度的醋酸和氯化钠对鲜切香菜进行消毒。



不同字母表示组间存在显著性差异（P<0.05）。

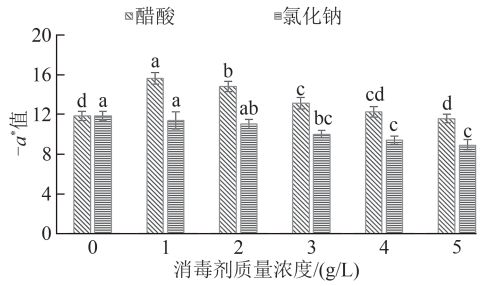
图3　消毒剂质量浓度对鲜切香菜叶绿素的影响

Fig. 3　Effect of sanitizer mass concentration on the chlorophyll in fresh-cut coriander

2.1.4　消毒剂质量浓度对鲜切香菜色泽的影响

a^*值表示颜色的红绿色度，$-a^*$值表示颜色偏向绿色。由图4可知，鲜切香菜的$-a^*$值随着醋酸质量浓度的升高而显著降低（P<0.05），造成此结果的原因是醋酸质量浓度过高会分解香菜中的叶绿素，使绿色逐渐变淡。醋酸质量浓度为1 g/L时，$-a^*$值显著高于其他质量浓度的数值（P<0.05），样品偏绿程度最高，鲜切香菜黄化不明显。当氯化钠质量浓度不超过3 g/L时，鲜切香菜$-a^*$值无显著性影响，样品与对照组颜色无较大差异。因此应采用低质量浓度的醋酸和氯化钠对香菜原料进行消毒，有利于延缓鲜切香菜黄化，使其保持较高品质。

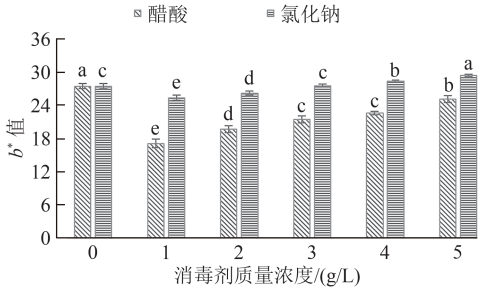
由图5可知，b^*值随着消毒剂质量浓度的升高而显著升高（P<0.05），表明消毒剂质量浓度过高会加速鲜切香菜叶绿素分解，导致鲜切香菜黄化程度加剧。醋酸和氯化钠质量浓度为1 g/L时，b^*值显著低于其他质量浓度（P<0.05），样品偏黄程度最低，鲜切香菜黄化程度最低。表明应采用低



不同字母表示组间存在显著性差异（P<0.05）。

图 4　消毒剂质量浓度对鲜切香菜的$-a^*$值的影响

Fig. 4　Effect of sanitizer mass concentration on the $-a^*$ value of fresh-cut coriander



不同字母表示组间存在显著性差异（P<0.05）。

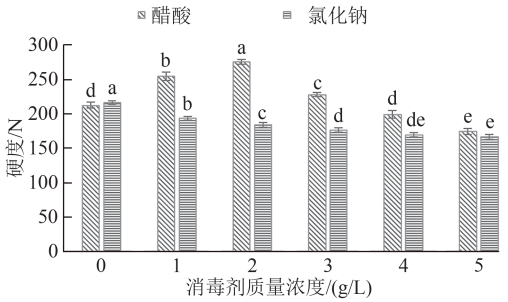
图 5　消毒剂质量浓度对鲜切香菜b^*值的影响

Fig. 5　Effect of sanitizer mass concentration on the b^* value of fresh-cut coriander

质量浓度的醋酸和氯化钠进行消毒可抑制鲜切香菜黄化。

2.1.5　消毒剂质量浓度对鲜切香菜硬度的影响

由图 6 可知，当醋酸质量浓度不超过 2 g/L 时，经醋酸消毒的鲜切香菜硬度均显著高于未经醋酸消毒的鲜切香菜，表明适宜醋酸能够延缓鲜切香菜在贮藏过程中茎叶萎蔫的情况，该结果与齐雨红等[28]的研究结果一致。当醋酸质量浓度高于 2 g/L 时，鲜切香菜硬度随着醋酸质量浓度升高而显著降低（P<0.05），原因可能是当醋酸质量浓度过高时，鲜切香菜纤维素中的大量羟基与醋酸反应，纤维素分子结构遭到破坏，进而导致鲜切香菜茎叶萎蔫。当醋酸质量浓度为 2 g/L 时，鲜切香菜硬度显著高于其他质量浓度醋酸处理的鲜切香菜。鲜切香菜硬度随氯化钠质量浓度升高而显著降低，原因可能是氯化钠质量浓度过高会导致鲜切香菜茎叶细胞失水。因此应采用低质量浓度的醋酸和氯化钠对香菜原料进行消毒，可有效减少鲜切香菜茎叶萎蔫的情况。



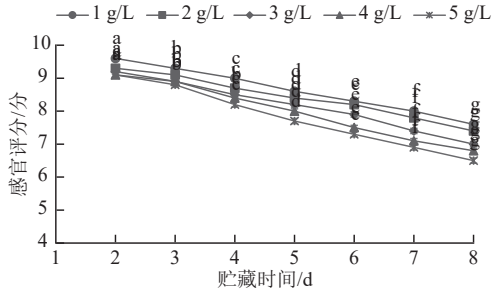
不同字母表示组间存在显著性差异（P<0.05）。

图 6　消毒剂质量浓度对鲜切香菜硬度的影响

Fig. 6　Effect of sanitizer mass concentration on the hardness of fresh-cut coriander

2.1.6　贮藏时间和消毒剂质量浓度对鲜切香菜感官品质的影响

由表 7 可知，随着贮藏时间的延长，每组评分均呈下降趋势，鲜切香菜整体品质逐渐下降。不同质量浓度醋酸对鲜切香菜感官品质下降的影响不同，当醋酸质量浓度为 1 g/L 时，鲜切香菜感官评分明显高于其他组的分数。醋酸质量浓度越高对鲜切香菜感官品质影响越大，5 g/L 醋酸消毒的鲜切香菜在贮藏后期出现香味变淡、茎叶发黄的现象；质量浓度为 3 g/L 和 4 g/L 次之；采用质量浓度为 1 g/L 和 2 g/L 的醋酸进行消毒可以较好地保持鲜切香菜感官品质，贮藏后期其香味较浓，茎叶较绿，未出现发黄现象。



不同字母表示组间存在显著性差异（P<0.05）。

图 7　贮藏时间和醋酸质量浓度对鲜切香菜感官品质的影响

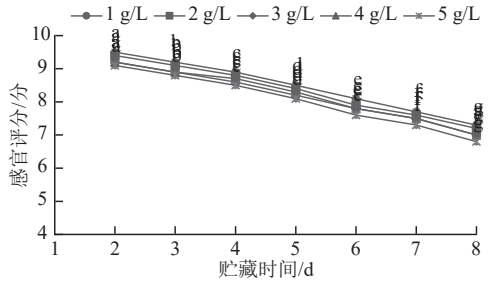
Fig. 7　Effect of storage time and acetic acid mass concentration on the sensory quality of fresh-cut coriander

由图 8 可知，随着贮藏时间的延长，每组评分均呈下降趋势，鲜切香菜整体品质逐渐下降。不同质量浓度氯化钠消毒对鲜切香菜感官品质下降速度影响不同，当氯化钠质量浓度为 3 g/L 时，鲜切香菜感官评分略高于其他组的分数。氯化钠质量浓度越高对鲜切香菜感官品质影响越大，5 g/L

氯化钠消毒的鲜切香菜在贮藏后期出现香味变淡，茎叶发黄的现象；质量浓度为1 g/L和4 g/L次之；采用2 g/L和3 g/L质量浓度的醋酸消毒可以较好地保持鲜切香菜感官品质，贮藏后期其香味较浓，茎叶较绿，未出现发黄现象。

2.2　正交试验

由表3可知，$A_1B_2C_2D_2$组处理后的鲜切香菜菌落总数最低。根据k值大小可知鲜切香菜消毒的最优组合为$A_1B_2C_2D_2$，此组合即表3中第2组，该组试验条件下香菜菌落总数的对数为5.287。根据极差分析可知，影响鲜切香菜菌落总数因素的主次顺序为$R_A>R_B>R_C$，即醋酸质量浓度>氯化钠质量浓度>消毒时间。由表4方差分析可知，A（醋酸质量浓度）、B（氯化钠质量浓度）和C（消毒时间）对菌落总数的影响均具有显著性意义（$P<0.05$）。正交试验结果表明，鲜切香菜的最佳消毒方案为$A_1B_2C_2$，即醋酸质量浓度1 g/L、氯化钠质量浓度3 g/L、消毒时间5 min。因此，鲜切香菜最优消毒条件为：采用1 g/L醋酸和3 g/L氯化钠复合消毒剂消毒5 min。



不同字母表示组间存在显著性差异（$P<0.05$）。

图8　贮藏时间和氯化钠质量浓度对鲜切香菜感官品质的影响

Fig. 8　Effect of storage time and sodium chloride mass concentration on the sensory quality of fresh-cut coriander

表3　$L_9(3^4)$正交试验结果

Table 3　$L_9(3^4)$ orthogonal experiment results

试验编号	因素				lg N
	A醋酸质量浓度/(g/L)	B氯化钠质量浓度/(g/L)	C消毒时间/min	D空列	
1	1	1	1	1	5.39±0.02
2	1	2	2	2	5.29±0.02
3	1	3	3	3	5.65±0.03
4	2	1	2	3	5.41±0.02
5	2	2	3	1	5.46±0.03
6	2	3	1	2	5.50±0.02
7	3	1	3	2	5.76±0.02
8	3	2	1	3	5.56±0.03
9	3	3	2	1	5.68±0.03
K_1	16.34	16.56	16.45	16.53	
K_2	16.37	16.30	16.37	16.55	
K_3	16.99	16.83	16.87	16.62	
k_1	5.45	5.52	5.48	5.51	
k_2	5.46	5.43	5.46	5.52	
k_3	5.66	5.61	5.62	5.54	
R	0.21	0.18	0.16	0.03	

注：N表示菌落总数（CFU/g）。

表4　方差分析

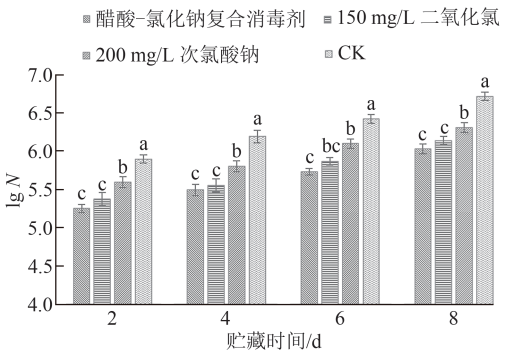
Table 4　Analysis of variance

因素	偏差平方和	自由度	均方	F值	显著性
A	0.09	2	0.05	58.48	0.02
B	0.05	2	0.02	30.33	0.03
C	0.05	2	0.02	30.81	0.03
误差	0.002	2	0.001		

2.3　不同消毒方法对鲜切香菜菌落总数的影响

由图9可知，在贮藏时间相同时，经消毒处理后的香菜菌落总数均显著低于CK的菌落总数（$P<0.05$），其中醋酸-氯化钠复合消毒剂处理的香菜菌落总数与150 mg/L二氧化氯处理的香菜菌落总数无显著性差异（$P>0.05$），但均显著低于200 mg/L次氯酸钠处理的香菜（$P<0.05$）。但在工

业化生产中，二氧化氯生成的无机副产物对人体健康存在潜在危害，且需要二次消毒并用纯净水清洗，不建议大量使用。因此，1 g/L 醋酸和 3 g/L 氯化钠复合剂消毒可作为最优方法。



不同字母表示组间存在显著性差异（$P<0.05$）；N表示菌落总数（CFU/g）。

图 9　不同消毒方法对鲜切香菜菌落总数的影响

Fig. 9　Effect of different sterilization methods on the aerobic plate count of fresh-cut coriander

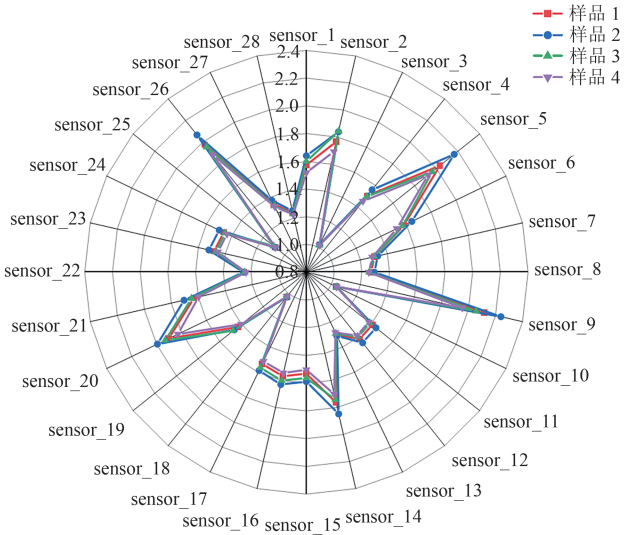
2.4　不同消毒方法对鲜切香菜风味物质的影响

由图 10 可知，经消毒处理的鲜切香菜与未经消毒处理的鲜切香菜有部分响应值相似，例如短链烷烃类、酮类、芳香烃类、脂肪烃类、脂环烃类等。而有些响应值差异较大，其中变化较大的传感器是 sensor_2、sensor_5、sensor_9、sensor_14、sensor_20，这些传感器对应的物质分别是胺类、甲烷、甲苯、甲醛、乙醇以及硫化物等。说明不同消毒方法对鲜切香菜的挥发性物质有明显影响，其中样品 1（醋酸-氯化钠复合消毒剂处理的鲜切香菜）与样品 3（未经消毒的鲜切香菜）差异最小。

由图 11 可知，PC1 的贡献率为 80.09%，PC2 的贡献率为 9.02%，总贡献率为 89.11%，表明 PC1 和 PC2 反映了鲜切香菜整体气味特征的大部分信息。PC1 贡献率远超 PC2，说明各种样品在横坐标距离越远，差异性就越大。样品 1 与样品 3 横坐标距离最近，表明醋酸-氯化钠复合消毒剂处理的鲜切香菜与未经消毒处理的鲜切香菜气味最相似。

由图 12 可知，PC1 的贡献率为 86.24%，PC2 的贡献率为 6.29%，总贡献率 92.53%，表明 PC1 和 PC2 能够反映鲜切香菜样品的整体滋味信息。经消毒处理的鲜切香菜与未经消毒处理的鲜切香菜有明显的区分度，样品 1~5 之间互不重叠，表明电子舌能够根据滋味将 4 组鲜切香菜区分开。

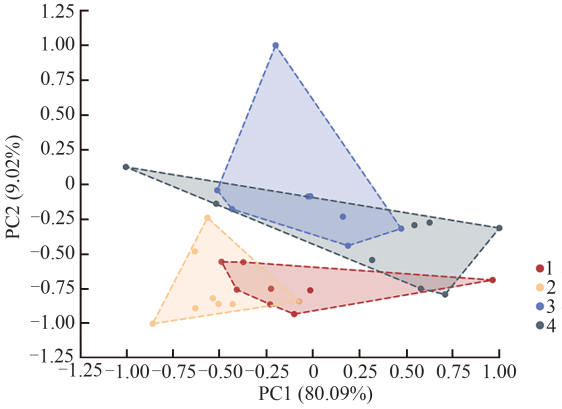
由图 13 可知，LD1 的贡献率为 83.63%，LD2 的贡献率为 9.74%，总贡献率为 93.37%，因此能够



样品1—醋酸-氯化钠复合消毒剂；样品2—200 mg/L次氯酸钠；
样品3—CK；样品4—150 mg/L二氧化氯。

图 10　电子鼻检测雷达图

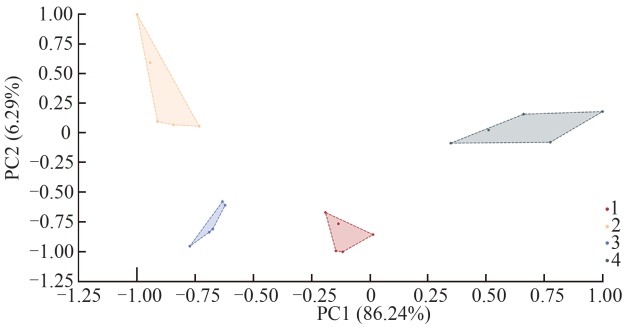
Fig. 10　Radar diagram of electronic nose detection



样品1—醋酸-氯化钠复合消毒剂；
样品2—200 mg/L次氯酸钠；
样品3—CK；样品4—150 mg/L二氧化氯。

图 11　电子鼻检测 PCA 图

Fig. 11　PCA plot of electronic nose detection

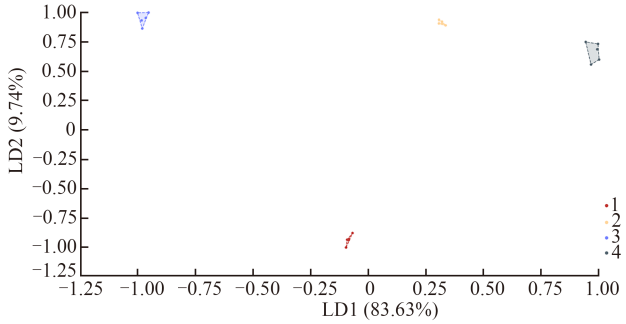


样品1—醋酸-氯化钠复合消毒剂；
样品2—200 mg/L次氯酸钠；
样品3—CK；样品4—150 mg/L二氧化氯。

图 12　电子舌检测 PCA 图

Fig. 12　PCA plot of electronic tongue detection

反映4种鲜切香菜样品在滋味上的整体差异。鲜切香菜样品1、2、4在LD1值相距较近，鲜切香菜样品2、3、4在LD2值相距较近，但未有重叠部分，表明经消毒处理的鲜切香菜与未经消毒处理的鲜切香菜间滋味存在显著差异。4种样品稳定性和重复性均较好。



样品1—醋酸-氯化钠复合消毒剂；
样品2—200 mg/L次氯酸钠；
样品3—CK；样品4—150 mg/L二氧化氯。

图13　电子舌检测LDA图

Fig. 13　LDA plot of electronic tongue detection

2.5　复合消毒剂对鲜切香菜货架期的影响

由表5可知，醋酸-氯化钠复合消毒剂处理的鲜切香菜菌落总数随着天数的增加而增多。贮藏7 d后菌落总数对数为5.86，低于企业菌落总数对数标准6.00[16]，且7 d内鲜切香菜菌落总数均低于企业标准，贮藏8 d后菌落总数对数为6.03，超出企业菌落总数标准，且贮藏7 d时其香菜味较浓，质地较脆嫩，茎叶较绿光泽度降低，感官评分为7.72分，符合售出标准。综合菌落总数和感官评价确定醋酸-氯化钠复合消毒剂处理的鲜切香菜能够在7 d内保持较高的品质，其货架期可保持在7 d。

表5　复合消毒剂对鲜切香菜货架期的影响

Table 5　Effect of the compound sanitizer on the shelf life of fresh-cut coriander

贮藏时间/d	lg *N*	感官评分/分
1	5.12±0.03^{g}	9.62±0.02^{h}
2	5.30±0.04^{fg}	9.22±0.03^{g}
3	5.38±0.03^{ef}	8.91±0.03^{f}
4	5.50±0.04^{de}	8.65±0.02^{e}
5	5.64±0.02^{cd}	8.23±0.04^{d}
6	5.73±0.03^{bc}	8.03±0.03^{c}
7	5.86±0.03^{ab}	7.72±0.03^{b}
8	6.03±0.03^{a}	7.56±0.02^{a}

注：不同字母表示组间存在显著性差异（$P<0.05$）；*N*表示菌落总数（CFU/g）。

3　结论

作者采用1 g/L的醋酸和3 g/L的氯化钠复合消毒剂处理鲜切香菜5 min，可有效抑制其微生物生长繁殖，减少其叶绿素分解，延缓鲜切香菜茎叶黄化和萎蔫，并延长货架期。与工厂采用二氧化氯或次氯酸钠消毒相比，货架期由现有的5 d提高到7 d，且该消毒方法消毒后的鲜切香菜无需二次清洗，若工厂每日生产约3 t鲜切香菜，即可节约6 t纯净水，约1万元，以3 t自来水生产1 t纯净水计算，该方法减少废水排出12 t。与二氧化氯和次氯酸钠相比，食用醋酸和氯化钠的价格略高，但与节省的纯净水费用相比仍是节省成本的方法。该方法目前仅进行了小规模生产试验，后续将在生产车间进行大规模试生产。

参考文献

[1] 国家卫生健康委员会，国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 即食鲜切果蔬加工卫生规范：GB 31652—2021[S]. 北京：中国标准出版社，2021.

[2] 赵海云，邵林，李涛，等. 鲜切果蔬保鲜技术的研究进展[J]. 农产品加工，2023(10)：81-90.
ZHAO H Y，SHAO L，LI T，et al. Research progress of fresh-cut fruits and vegetables preservation technology[J]. Farm Products Processing，2023(10)：81-90.(in Chinese)

[3] Ni Y C，Sun L X，Dong N H，et al. Evaluation of physicochemical quality，specific aromatic characteristic，and volatile organic compound profile of fresh-cut coriander leaves under different super-atmospheric oxygen modified atmosphere packaging conditions [J]. Food Packaging and Shelf Life，2025，47：101438-101438.

[4] 许传兵，宋丽廷. 鲜切果蔬褐变控制研究进展[J]. 食品安全导刊，2022(33)：188-192.
XU C B，SONG L T. Research progress on browning control of fresh-cut fruits and vegetables[J]. China Food Safety Magazine，2022(33)：188-192.(in Chinese)

[5] ZHANG Y Q，LI H Y，LIU J F，et al. Evaluation of acetic acid treatment of fresh-cut water chestnuts using gray-correlation analysis based on the variation-coefficient weight[J]. Frontiers in Nutrition，2024，11：1370611.

[6] ALI M，BATOOL S，KHALID N，et al. Recent trends in hydrogen-associated treatments for maintaining the postharvest quality of fresh and fresh-cut fruits and vegetables：a review [J]. Food Control，2024，156：110114.

[7] 范雅柔. 便携式杀菌消毒仪对果蔬作用效果及感官品质的影响[D]. 杭州：浙江工商大学，2023：5-10.

[8] 张丽，刘璐，张文韬，等. 不同减菌剂对鲜切芫荽的减菌效果[J]. 食品与生物技术学报，2021，40(4)：91-104.
ZHANG L，LIU L，ZHANG W T，et al. Effects of disinfectant agents on microorganisms in fresh-cut coriander[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，

2021,40(4):91-104.(in Chinese)
[9] 胡叶静,李保国,石茂占,等. 鲜切即食果蔬冷杀菌技术研究进展[J]. 包装工程,2020,41(7):43-49.
HU Y J,LI B G,SHI M Z,et al. Research progress of cold sterilization technology of fresh-cut ready-to-eat fruits and vegetables[J]. Packaging Engineering,2020,41(7):43-49.(in Chinese)
[10] JIANG L,CHEN Z Y,LIU L,et al. Effect of chlorine dioxide on decontamination of fresh-cut coriander and identification of bacterial species in fresh-cutting process[J]. Journal of Food Processing and Preservation,2018,42(2):e13465.
[11] NYAMENDE N E,BELAY Z A,CALEB O J. Recent advances in electrolyzed water treatments:mechanisms of action and its effect on browning,bioactive compounds,and disinfection of fresh-cut fruit and vegetables:a review[J]. Food Chemistry Advances,2023,3:100569.
[12] 苍岩,郭晗,张小磊. 二氧化氯无机消毒副产物的控制现状[J]. 净水技术,2024,43(5):35-44,79.
CANG Y,GUO H,ZHANG X L. Present status of inorganic DBPs control for chlorine dioxide[J]. Water Purification Technology,2024,43(5):35-44,79.(in Chinese)
[13] 李瑞,彭建和,丰顺. 二氧化氯消毒副产物转化影响因素探析[J]. 地下水,2024,46(1):113-115.
LI R,PENG J H,FENG S. Analysis of influencing factors on transformation of by-products of chlorine dioxide disinfection[J]. Ground Water,2024,46(1):113-115.(in Chinese)
[14] 陈康瑞,程远霞,王灵昭,等. 一种鲜切马铃薯高效安全消毒方法研究[J]. 食品科技,2023,48(2):37-43.
CHEN K R,CHENG Y X,WANG L Z,et al. Investigation of an efficient and safe method for sterilization of fresh-cut potato[J]. Food Science and Technology,2023,48(2):37-43.(in Chinese)
[15] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 感官分析 食品货架期评估(测评和确定):GB/T 38493—2020[S]. 北京:中国标准出版社,2020.
[16] 上海鑫蔬汇食品科技有限公司. 上海市食品安全企业标准 色拉(沙拉):Q/VABX 0002S—2020[S]. 上海:上海人民出版社,2020.
[17] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 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,2022.
[18] 中华人民共和国农业部. 水果、蔬菜及其制品中叶绿素含量的测定 分光光度法:NY/T 3082—2017[S]. 北京:中国农业出版社,2017.
[19] 王若男,吴子健,刘斌,等. 保鲜膜与冷藏温度对芫荽的采后品质影响[J]. 食品工业科技,2021,42(10):303-307.
WANG R N,WU Z J,LIU B,et al. Effects of cling film and cold storage temperature on the postharvest quality of *Coriandrum sativum* L[J]. Science and Technology of Food Industry,2021,42(10):303-307.(in Chinese)
[20] 孔倩倩,陈晓晓,张建华,等. 复合涂膜对鲜切芹菜的保鲜效果[J]. 食品工业,2024,45(2):57-63.
KONG Q Q,CHEN X X,ZHANG J H,et al. The preservation effect of composite coating on fresh-cut celery[J]. The Food Industry,2024,45(2):57-63.(in Chinese)
[21] 史亚兴,董会,徐丽,等. 基于电子鼻和GC-IMS技术分析不同类型鲜食玉米的风味差异[J]. 中国农业科技导报,2024,26(11):143-156.
SHI Y X,DONG H,XU L,et al. Flavor differences of different types of fresh corn based on electronic nose and GC-IMS technology[J]. Journal of Agricultural Science and Technology,2024,26(11):143-156.(in Chinese)
[22] 闫星月,何兴泰,孙海斓,等. 不同烫漂处理对鲜食糯玉米品质的影响[J]. 中国粮油学报,2025,40(2):76-88.
YAN X Y,HE X T,SUN H L,et al. Effect of different blanching treatments on quality of fresh waxy corn[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association,2025,40(2):76-88.(in Chinese)
[23] 中华人民共和国农业部. 鲜切蔬菜:NY/T 1987—2011[S]. 北京:中国农业出版社,2011.
[24] 雷舒惋,王薛梅,陈全,等. 木醋液抑菌活性成分及抑菌机理综述[J]. 生态学杂志,2025,44(3):991-1001.
LEI S W,WANG X M,CHEN Q,et al. Bioactive components of wood vinegar and its antibacterial mechanisms:a review[J]. Chinese Journal of Ecology,2025,44(3):991-1001.(in Chinese)
[25] 宁亚维,侯琳琳,于同月,等. 中国食醋中苯乳酸的检测、鉴定及其与醋酸的联合抑菌作用[J]. 食品科学,2021,42(12):233-241.
NING Y W,HOU L L,YU T Y,et al. Detection and identification of phenyllactic acid in Chinese vinegar and its combined bacteriostatic effect with acetic acid[J]. Food Science,2021,42(12):233-241.(in Chinese)
[26] 杨振,崔志强. 果蔬洗涤盐对大肠杆菌杀菌效果的研究[J]. 盐科学与化工,2020,49(6):24-27.
YANG Z,CUI Z Q. Research on the sterilization effect of fruits and vegetables washing salt for *Escherichia coli*[J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry,2020,49(6):24-27.(in Chinese)
[27] 龙洋洋,雷宇洁,马小云,等. 热加工过程中蔬菜叶绿素的降解及护色技术研究进展[J]. 食品科学,2025,46(4):285-294.
LONG Y Y,LEI Y J,MA X Y,et al. Research progress on the degradation of and preservation techniques for chlorophyll in vegetables during thermal processing[J]. Food Science,2025,46(4):285-294.(in Chinese)
[28] 齐雨红,刘功继,刘延照,等. 酸碱煮制对莲藕食用品质的影响[J]. 食品工业科技,2023,44(17):8-17.
QI Y H,LIU G J,LIU Y Z,et al. Effects of acid and alkali cooking on edible quality of *Lotus rhizome*[J]. Science and Technology of Food Industry,2023,44(17):8-17.(in Chinese)

(责任编辑:李春丽)