

微孔包装结合低温等离子体冷杀菌对香椿货架期品质的影响

马佳佳¹, 黄桂丽¹, 隋思瑶¹, 孙灵湘¹, 李家政², 张 鹏², 王毓宁^{1*}

(1. 苏州市农业科学院, 苏州 215105; 2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室, 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)

摘 要: **目的** 探讨微孔包装与低温等离子体冷杀菌对香椿货架期品质的影响。**方法** 分别采用微孔包装(孔径: 100 μm 、孔数量: 11)、低温等离子体冷杀菌(处理电压: 45 kV、处理时间 50 s、处理极距 60 mm)与复合处理对货架温度 10 $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 75%条件下的香椿失重率、腐烂率、感官评分、外观色泽、呼吸速率、嫩茎剪切力、电子鼻嗅感特性及亚硝酸盐含量的影响。**结果** 微孔包装与冷杀菌复合处理能明显延缓香椿的质量损失, 抑制 a 值的下降和嫩茎剪切力的增加, 微孔包装能够延缓香椿腐烂率上升, 保持较高的感官评分, 减缓亚硝酸盐含量的上升, 主成分分析结果表明方差贡献率达 95.28%, 贮藏 8 d 的不同处理的香椿被明显区分, 在同时分析贮藏时间和不同处理 2 个变量时, 线性判别分析的总贡献率只有 60.73%。**结论** 微孔包装和低温等离子体冷杀菌复合处理可延缓香椿的品质劣变, 保持良好的外观品质和风味, 维持其 4~6 d 的货架期。

关键词: 微孔包装; 低温等离子体冷杀菌; 香椿; 货架期品质

Effect of microporous packaging combined with cold plasma sterilization on shelf life qualities of *Toona sinensis*

MA Jia-Jia¹, HUANG Gui-Li¹, SUI Si-Yao¹, SUN Ling-Xiang¹, LI Jia-Zheng²,
ZHANG Peng², WANG Yu-Ning^{1*}

(1. Suzhou Academy of Agricultural Sciences, Suzhou 215105, China; 2. National Engineering Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products(Tianjin), Key Laboratory of Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Tianjin 300384, China)

ABSTRACT: Objective To study the effect of microporous packaging and cold plasma sterilization on the shelf life qualities of *Toona sinensis*. **Methods** Microporous packaging (aperture: 100 μm , number of pores: 11), low-temperature plasma cold sterilization (processing voltage: 45 kV, processing time: 50 s, processing electrode distance: 60 mm) and composite treatment were respectively used to treat the *Toona sinensis*, and the weight loss rate, rotting rate, sensory score, appearance color, respiratory rate, young stem shear force, electronic nose olfactory characteristics and nitrite of *Toona sinensis* were measured under the condition of shelf temperature of 10 $^{\circ}\text{C}$ and relative humidity of 75%. **Results** The composite treatment of microporous packaging and cold sterilization could

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(17)3029)

Fund: Supported by the Agricultural Science and Technology Independent Innovation Funds of Jiangsu Province (CX(17)3029) and Subsidized

*通讯作者: 王毓宁, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为果蔬保鲜加工。E-mail: wyn705@163.com

*Corresponding author: WANG Yu-Ning, Master, Associate Professor, Suzhou Academy of Agricultural Sciences, Suzhou 215155, China. E-mail: wyn705@163.com

significantly delay the quality loss of Chinese toon, increase the young stem shear force, inhibit the decline of a value, delay the increase of decay rate, maintain a high sensory score, and slow down the rise of nitrite content. The results of principal component analysis showed that the contribution rate of principal component variance was 95.28%, and *Toona sinensis* treated with different treatments for 8 d was obviously distinguished. The total contribution rate of linear discriminant analysis was only 60.73% when analyzing the 2 variables of storage time and different treatments at the same time. **Conclusion** The composite treatment of microporous packaging and cold plasma sterilization can delay the quality deterioration of *Toona sinensis*, maintain its good appearance qualities and flavor and maintain its shelf life of 4–6 d.

KEY WORDS: microporous packaging; cold plasma sterilization; *Toona sinensis*; shelf-life quality

1 引言

香椿(*Toona sinensis*)是一种原产于我国药食两用的多年生木本蔬菜,以鲜嫩茎叶供食用,因其独特的风味和营养价值受到消费者的喜爱。香椿的采摘期集中,采后容易发生褐变、腐烂、叶片脱落等衰老现象^[1],香椿采后衰老和营养成分的流失是制约香椿保鲜效果的主要问题,营养成分的流失主要原因在于蒸腾作用与呼吸作用^[2]。加上生产的季节性、地域性强,给贮藏运输、销售、加工带来极大的困难,香椿的保鲜是提高其经济价值的重要手段^[3]。

香椿在常温下最多放置 2~3 d,研究表明低温、高湿可以有效保存香椿的品质^[2]。自发气调包装可降低果蔬呼吸代谢过程和氧化,减少微生物生长,保持包装对象的湿度^[1],朱永清等^[4]采用不同厚度的低密度聚乙烯(low-density polyethylene, LDPE)及高密度聚乙烯(high-density polyethylene, HDPE)包装可阻止香椿的水分散失。杨慧等^[5]结合低温与开孔包装可以有效降低包装内水分含量,延缓香椿氧化进程,抑制多酚氧化酶活性。

非热杀菌技术采用非热的方法杀灭果蔬中的微生物,在保持果蔬营养、色泽、风味及鲜度等方面表现了较大优势^[1]。赵芳等^[6]研究了超高压和紫外线能够较大程度保留香椿中 VC 和可溶性糖的含量。Lin 等^[7]研究了臭氧和聚乙烯联合处理香椿,改善其在近低温贮藏中的采后品质,并抑制了大多数细菌生长。林少华等^[8]采用聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)+紫外处理的香椿能够有效地改善贮藏品质,降低微生物的数量和多样性,但会显著降低香气成分中的萜烯类化合物含量。低温等离子体冷杀菌技术是一种新兴的非热绿色灭菌技术,利用食品周围介质产生光电子、离子和活性自由基与微生物表面接触导致细胞破坏,维持果蔬品质^[9],在草莓^[10]、蓝莓^[11]、鲜切黄瓜^[12]上应用效果较好,但在香椿芽保鲜的应用研究相对较少。

综合现有研究成果,微孔包装能抑制果蔬采后的呼吸代谢,延缓衰老,不足在于抑菌效果不明显,低温等离子体冷杀菌能高效杀灭细菌,可作为自发气调保鲜的一种

补充手段。本研究拟采用微孔包装结合低温等离子体冷杀菌技术综合处理香椿芽,探讨其采后货架期的外观、风味、质地品质。在温度 10 ℃,相对湿度 75%的环境条件下,研究综合处理对香椿芽的失重率、腐烂率、感官评分、外观色泽、嫩茎剪切力、呼吸速率、电子鼻嗅感特性及亚硝酸盐含量的影响,以期对香椿提供一种切实可行的保鲜技术措施提供理论参考。

2 材料与方法

2.1 仪器与材料

香椿:4月初采摘顶芽,挑选肥嫩、香气浓郁、新鲜无烂叶,大小、成熟度一致的个体作为实验对象,2 h 后运回农产品贮藏加工实验室。

ZXMP-R1430 恒温恒湿培养箱(上海智诚有限公司);CPS-1 高压电场低温等离子体冷杀菌实验系统设备(苏州屹润等离子科技有限公司);Checkmate 3 气体顶空分析仪(美国 MOCON 公司);CR-400 色差仪(日本柯尼卡美能达公司);TMS-PRO 质构仪(美国 FTC 公司);PEN3 电子鼻(德国 Air-sensesen 公司);双向拉伸聚丙烯(BOPP)防雾膜由福州三峰塑联包装有限公司提供,基本参数 O₂、CO₂、水蒸气透过率分别为 1088(cm³/m²·24 h·0.1 Mpa),3637(cm³/m²·24 h·0.1 Mpa),7.306(g/m²·24 h)。本实验中微孔袋由双向拉伸聚丙烯(biaxially oriented polypropylene, BOPP)防雾膜激光打孔后制成袋子,市售保鲜膜(品牌:妙洁)以聚乙烯(polyethylene, PE)为原料。

2.2 实验方法

新鲜采收后的香椿按照(50±2) g 的规格置于聚丙烯(polypropylene, PP)托盘,并在香椿样品底部垫上吸水纸,分别进行以下 4 个处理:①低温等离子体组(CPS):将香椿放在低温等离子体冷杀菌设备中,杀菌参数为处理电压 45 kV、处理时间 50 s、处理极距 60 mm,处理后的样品用市售保鲜膜包裹。②微孔包装组(WK):微孔包装袋的孔参数为孔径 100 μm、孔数量 11 个,将托盘置于微孔袋中,用

一次扎带扎紧袋口。③低温等离子体+微孔包装联合组(CPS+WK): 参照以上方法, 低温等离子体处理后的样品用微孔袋进行包装。④对照组: 样品直接用市售保鲜膜包裹。贮藏环境模拟商超的货架期温湿度条件: 温度 10℃, 相对湿度 75%。共贮藏 8 d, 每隔 2 d 取样, 每个处理样品平行 4 次。

2.3 指标测定方法

2.3.1 失重率

采用差量法计算。

失重率=(入贮前重量-贮藏后重量)/入贮前重量×100%^[13]

2.3.2 腐烂率

贮后香椿的质量为 M_1 , 贮后摘除腐烂部分, 剩余质量为 M_2 , 则:

腐烂率= $(M_1-M_2)/M_2 \times 100\%$ ^[13]。

2.3.3 感官质量评定参考

感官质量评定参考表 1^[13]。

表 1 感官质量评分表
Table 1 Point table of sensory quality

评分	感官质量
5 分	新鲜, 完好无损, 无绿化、腐烂、萎蔫现象
4 分	叶片出现极其轻微的萎蔫和脱落, 个别叶片出现腐烂症状, 腐烂率+失重率 < 10%, 剔除整理后可食用
3 分	叶片局部出现绿化、脱落、腐烂现象, 腐烂率+失重率 < 20%, 整理去除绿叶后可食用
2 分	叶片萎蔫、脱落较为严重, 腐烂率+失重率 < 30%, 不可食用
1 分	叶片脱落及茎部萎蔫十分严重, 绿化、腐烂现象严重, 腐烂率+失重率 ≥ 30%, 丧失商品价值, 不可食用。

2.3.4 呼吸速率的测定

在密封乐扣箱的一侧打孔利于顶空分析仪抽取气体。具体步骤: 利用排水法确定乐扣箱的密闭空间 $V(\text{mL})$, 称取一定量 $m(\text{g})$ 的香椿在乐扣箱中, 立即合上乐扣盒的盖子, 抽取气体, 记录 CO_2 气体的读数 $V_1(\%)$, 密闭放置 2 h 后(环境温度与贮藏温度保持一致), 再次抽取气体, 记录 CO_2 气体的读数 $V_2(\%)$ 。香椿呼吸代谢速率($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)的计算公式为: $(V-m/\rho) \times (V_2-V_1) \times 10^{-2} / (m \times 10^{-3} \times t)$, 式中: V -密闭空间体积, mL ; m -香椿质量, g ; ρ -香椿密度, g/cm^3 ; t -测定时间, h ^[14]。

2.3.5 色泽 a 值的测定

参考 Zhu 等^[15]的方法, 将不同处理每个平行的香椿放在白色托盘上, 采用色差仪直接在叶片组织的 6 个随机位置进行测定, 得到 a 值。

2.3.6 嫩茎剪切力

每株香椿芽选择直径 2 mm 的茎杆进行测定, 每个处

理选择 3 株, 每株上选择 3 个茎杆。测试参数: 剪切模式, 起始力 0.05 N, 下降及上升速度均为 30 mm/min , 上升高度 35 mm, 结果取其平均值。

2.3.7 电子鼻嗅感特性

每个样品混合均匀后, 先称量 1.2 g 香椿叶片放入标记好的顶空瓶中, 压盖密封 30 min 以富集气体, 用于电子鼻试验的检测, 试验每组重复 5 次。室温(20±5)℃下, 采用顶空抽样的方法进行气体的收集。测定参数: 气体的进样流量为 400 mL/min , 数据采集时间 60 s, 传感器清洗时间 60 s。特征值选取时间范围为 52~56 s^[16]。

2.3.8 亚硝酸盐含量测定

参考 GB 5009.33-2016《食品安全国家标准食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》^[17]第二法-盐酸萘乙二胺分光光度法。

2.4 数据处理

采用 Excel 2010 整理试验数据和绘图, 采用 SAS 9.4 统计分析软件对结果进行数据统计和方差分析, 利用 Duncan's 多重比较进行显著性分析, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。主成分分析(principal component analysis, PCA)、线性判别分析(Linear discriminant analysis, LDA)由电子鼻自带的软件进行分析。

3 结果与分析

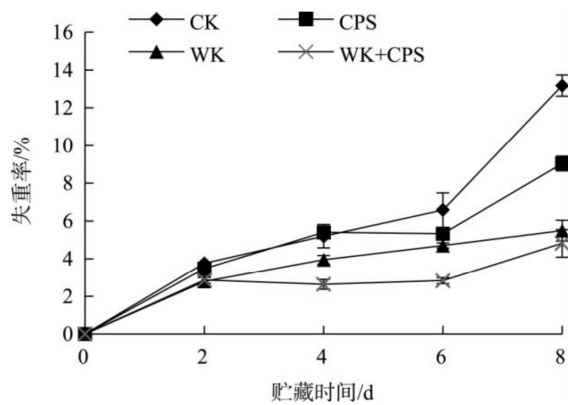
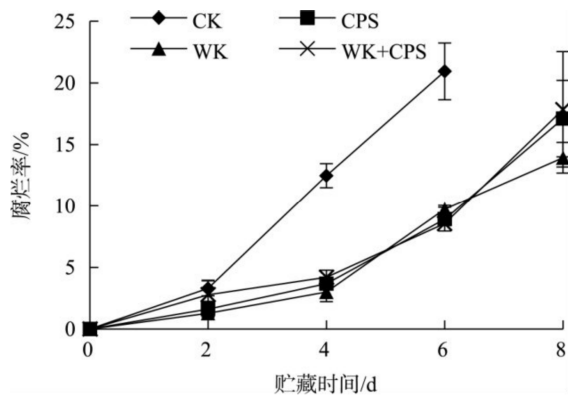
3.1 不同处理对香椿失重率、腐烂率的影响

失重率是衡量果蔬品质的重要因素, 当果蔬失重率达到 5%时, 不具有商品性^[18]。不同处理对香椿失重率的影响如图 1 所示, 随贮藏时间延长, 四组样品的失重率均在上升, CK 的失重率增长速度快于处理组样品。4 d 时, CK 和 CPS 失重率超出 5%, 第 8 d 时 WK 的失重率也超 5%, 贮藏结束时 WK+CPS 组样品保持在 5%以下。在贮藏 4d 和 8d, WK 和 WK+CPS 显著($P < 0.05$)低于 CK 和 CPS。结果表明, 微孔包装可有效控制香椿贮藏期间的质量损失率, 其中以微孔加冷杀菌的效果最明显。

腐烂率与果蔬的食用性息息相关, 贮藏 8 d 后 CK 组的香椿腐烂严重, 无食用价值。由图 2 所示, 贮藏 2 d, CPS 和 WK 显著($P < 0.05$)低于 CK, 贮藏 4 d 后, 三组样品的腐烂率与 CK 存在显著($P < 0.05$)差异, 不同处理组之间的差异不显著($P > 0.05$)。

3.2 不同处理对香椿感官评分、外观色泽 a 值的影响

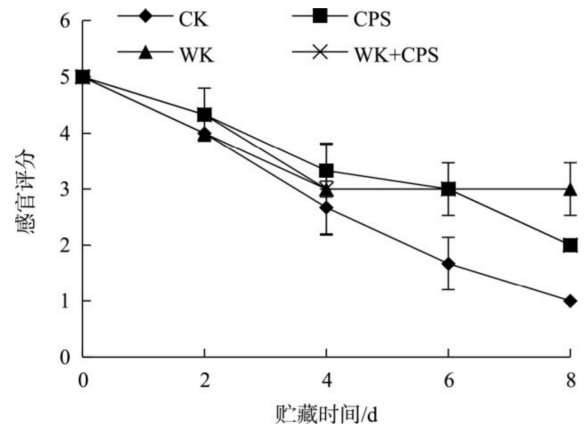
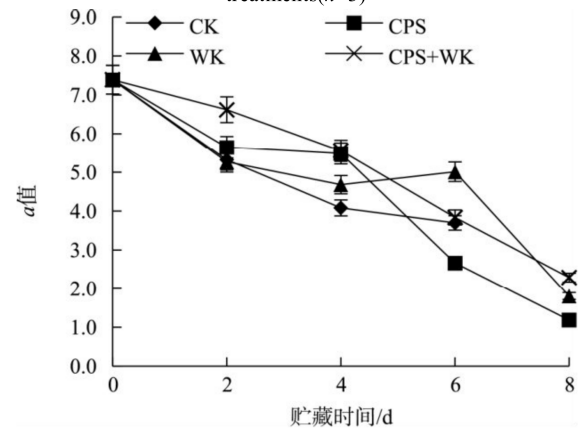
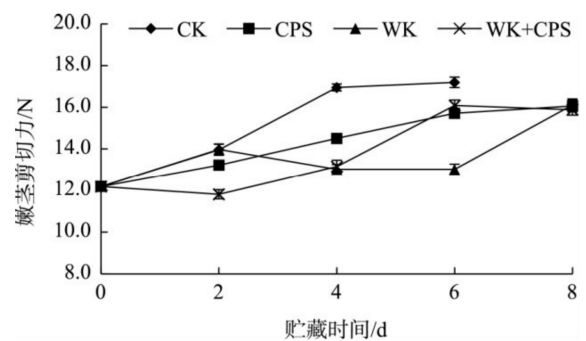
香椿采后主要表现为叶片脱落与绿化等现象, 感官评分的测定关系其销售价值。由图 3 显示, 随着时间延长, 香椿的感官评分持续下降, 贮藏 2 d, CPS 和 WK+CPS 显著($P < 0.05$)高于 CK 和 WK, 贮藏 4 d, CPS 和 WK+CPS 显著($P < 0.05$)高于 CK, 其中 CPS 显著($P < 0.05$)高于 WK。贮藏 6 d 后, CK 与其他 3 组样品的感官评分均存在显著($P < 0.05$)差异。

图 1 不同处理香椿失重率的变化($n=3$)Fig.1 Changes of weight loss rate of *Toona sinensis* in different treatments($n=3$)图 2 不同处理香椿腐烂率的变化($n=3$)Fig.2 Changes of decay rate of *Toona sinensis* in different treatments ($n=3$)

a 值反映的是红绿值, 值越大说明样品越红, 越小说明样品越绿。新鲜香椿呈明亮的紫红色, 在衰老过程中变成棕色或橄榄绿色, 变色是香椿在贮藏期间品质恶化的主要问题。由图 4 可知, 香椿的 a 值不断下降, 从贮藏 2 d 开始, WK+CPS 显著($P < 0.05$)高于其他处理组和 CK, 贮藏 4 d, CPS 和 WK+CPS 显著($P < 0.05$)高于 CK 和 WK, 贮藏 6 d, WK+CPS 显著($P < 0.05$)高于 CPS 和 CK, 贮藏 8 d, WK+CPS 显著($P < 0.05$)高于 CPS。

3.3 不同处理对香椿嫩茎剪切力的影响

蔬菜样品组织的质地反映了其衰老程度, 除嫩叶可食用外, 茎杆也是食用的重要部位, 通过测定香椿嫩茎的剪切力变化来反映不同处理和贮藏时间质地特性的影响。由图 5 所示, 贮藏 2 d, WK+CPS 显著($P < 0.05$)低于其他处理组和 CK, 贮藏 4 d, WK+CPS 显著($P < 0.05$)低于 CPS 和 CK, WK 显著低于 CK, 贮藏 6 d, 处理组均低于 CK, 贮藏 8 d, 不同处理组的差异不显著。

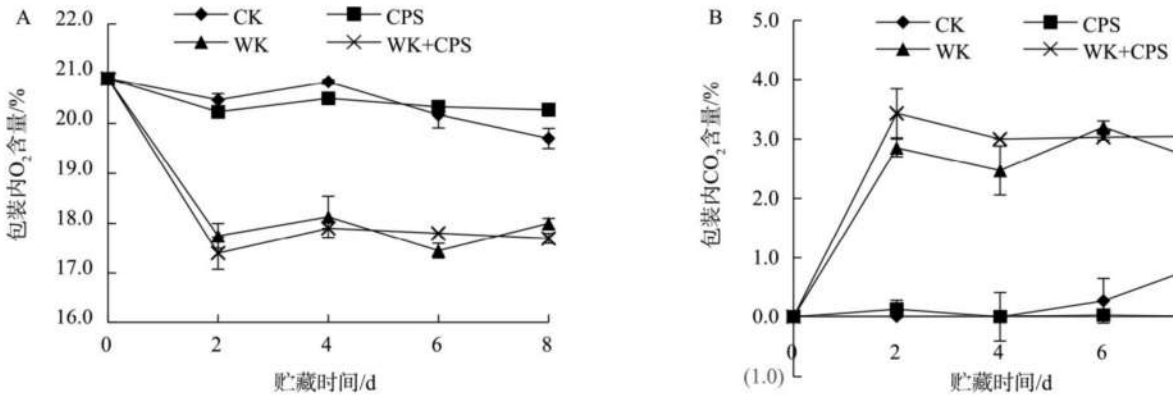
图 3 不同处理香椿感官评分的变化($n=3$)Fig.3 Changes of sensory scores of *Toona sinensis* in different treatments($n=3$)图 4 不同处理香椿 a 值的变化($n=3$)Fig.4 Changes of a value of *Toona sinensis* in different treatments($n=3$)图 5 不同处理香椿嫩茎剪切力的变化($n=3$)Fig.5 Changes of shear force of young stem of *Toona sinensis* in different treatments($n=3$)

3.4 不同处理对香椿包装内 CO_2 、 O_2 及呼吸速率的影响

如图 6A、6B 所示, WK、WK+CPS 的香椿 O_2 、 CO_2 含量分别维持在 17.4%~18.1%, 2.5%~3.4%之间, 起到了自

发气调的作用。CK 和 CPS 的香椿 O_2 、 CO_2 含量基本保持在 19.7%~20.8%, 0%~0.9%。研究表明, 存放香椿的食品袋内含氧量不低于 2%, 二氧化碳含量不高于 5%, 可有效维持其保鲜品质, 延长货架期。由图 6 所知, 整个贮藏过程 CK 和 CPS 的 CO_2 显著($P < 0.05$)低于 WK 和 WK+CPS, O_2 显著($P < 0.05$)高于 WK 和 WK+CPS。由图 7 所示的呼吸速率变化趋势, WK 和 WK+CPS 的呼吸速率基本呈不断下降趋势, 明显地表现出气调包装对样品呼吸的影响是稳步进行的。而在一开始呼吸速率总体高于 CK 和 CPS, 直至贮藏

8 d 低于其他两组, 原因在于呼吸速率的测定方法改变了气体环境, 测试初始环境呈空气状态, 对于 WK 和 WK+CPS 的样品在短时间(2 h)内产生了应激反应, 促进了原在呼吸抑制状态的样品呼吸。同时 CK 和 CPS 的样品呼吸速率先下降后上升, 上升的可能原因在于除组织本身呼吸外, 腐败菌的滋生也加速了它们的呼吸作用。贮藏 2 d, CPS 的呼吸速率显著($P < 0.05$)低于 WK 和 WK+CPS, 贮藏 4d 起, CK 和 CPS 显著($P < 0.05$)低于 WK 和 WK+CPS, CPS 显著($P < 0.05$)低于 CK。



注: A 为 O_2 , B 为 CO_2 。

图 6 不同处理香椿包装内气体含量的变化($n=3$)

Fig.6 Changes of gas content in packaging of *Toona sinensis* treated with different treatments($n=3$)

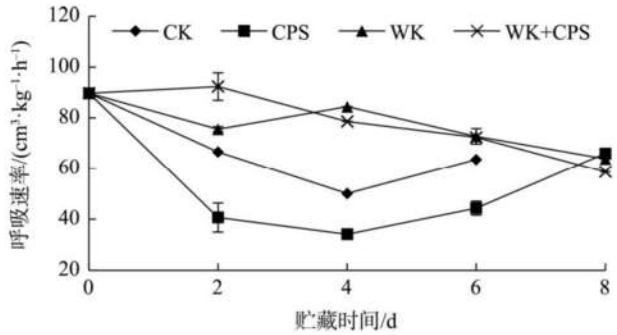


图 7 不同处理香椿呼吸速率的变化($n=3$)

Fig.7 Changes of respiration rate of *Toona sinensis* in different treatments($n=3$)

3.5 不同处理香椿的 PCA 和 LDA 分析

由图 8、图 9 可知, PCA 分析法能够区分出不同处理和不同时间的香椿。第一主成分和第二主成分的贡献率总和为 95.28%, 其中主成分 1 的贡献率为 84.369%, 主成分 2 的贡献率为 10.91%, 通常累计方差贡献率大于 80%就能够充分的反映样品的整体信息。判别式 LD1 和判别式 LD2 的贡献率分别为 37.794%和 25.932%, 总贡献率为 60.727%。PCA 分析中, 贮藏 4 d, 不同处理的香椿对电子

鼻传感器的感应值距离较近, 说明整体香气成分接近, 而且跟新鲜的香椿气味几乎无差异。到贮藏 8 d, 不同处理的香椿对传感器的感应值距离较远, 气味发生了变化, 其中 WK 和 WK+CPS 的香椿气味接近, CPS 略有不同。而在 LDA 分析中, 坚持投影后类内方差最小, 类间方差最大的思想, 尽管区分的比 PCA 清晰, 但 2 个主成分的总贡献率之和未能够超过 70%~85%, 说明在考量贮藏时间和处理方式两个变量后其代表的信息不具有全面性。由此得出, PCA 和 LDA 分析方法某种程度上可以区分 CK 和不同处理, 但 PCA 代表的信息更全面。

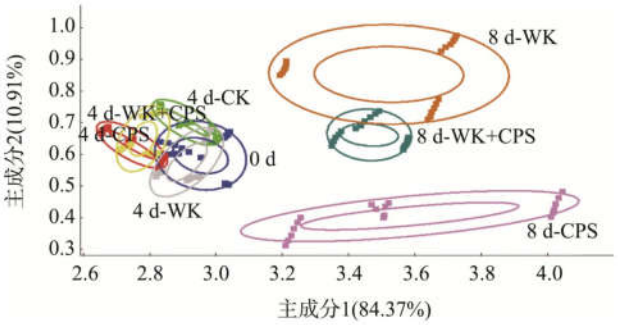


图 8 不同处理香椿的 PCA 分析图

Fig.8 PCA analysis of *Chinese toon* with different treatments

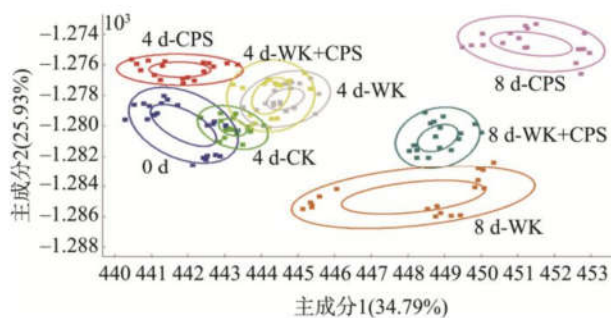
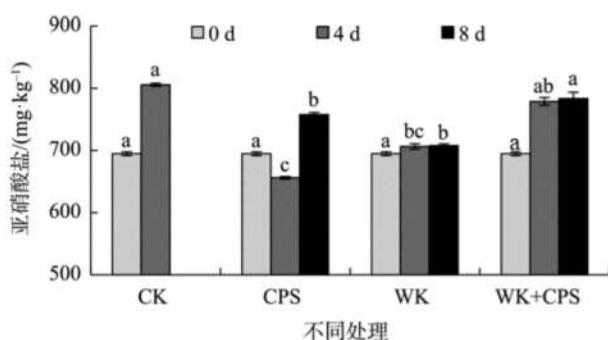


图 9 不同处理香椿的 LDA 分析图

Fig.9 LDA analysis of *Chinese toon* with different treatments

3.6 不同处理对香椿亚硝酸盐含量的影响

根据 GB/T 2762-2017《食品安全国家标准食品中污染物限量》^[19]规定新鲜蔬菜中亚硝酸盐含量应 ≤ 20 mg/kg, 香椿中的亚硝酸盐含量远高于一般蔬菜, 这与种植区域、栽培方式、肥料施用等因素有关^[20]。图 10 显示, 随着货架时间延长, 亚硝酸盐含量处于上升趋势。WK 和 WK+CPS 的样品贮藏 8 d 相较于贮藏 4 d, 含量变化无显著差异。CPS 在 4 d 时亚硝酸盐含量较新鲜样降低, 可能由于冷杀菌杀灭了绝大多数细菌, 抑制了硝酸还原酶的活力, 阻止硝酸盐向亚硝酸盐转化^[21], 贮藏 8 d 出现大幅增长, 可能与杀菌效果的持续性有关。冷杀菌加微孔包装复合处理的香椿亚硝酸含量要高于 CPS 和 WK, 可能与硝酸盐还原酶、亚硝酸盐还原酶的活力有关, 硝酸盐的同化是受到一个高度调控的过程, 而硝酸还原酶又受到 O_2/CO_2 、pH、温度等环境因子及代谢物等内在因素调节^[22]。贮藏 4 d, CPS 显著($P < 0.05$)低于 CK 和 WK+CPS, WK 显著($P < 0.05$)低于 CK, 贮藏 8 d, CPS 和 WK 显著($P < 0.05$)低于 WK+CPS。



注:不同小写字母表示同一时间处理组之间的显著差异($P < 0.05$)。

图 10 不同处理香椿亚硝酸盐含量的变化($n=3$)Fig.10 Changes of nitrite content in *Toona sinensis* treated with different methods($n=3$)

4 讨论与结论

品相与质地是反映香椿货架期品质的重要指标, 失重率、腐烂率、感官评分及 a 值关系香椿的品相, 嫩茎剪

切力关乎其质地。蒸腾和呼吸作用导致香椿失水与营养成分的损失, 严重影响外观品质和商品率^[2]。研究表明, 微孔包装在对水分散失较快的茎叶类蔬菜如菠菜、青菜等保鲜包装效果明显^[23]。微孔包装与冷杀菌复合处理能明显延缓香椿的质量损失和嫩茎剪切力的增加, 抑制 a 值的下降, 减缓香椿的衰老; 微孔包装能延缓腐烂的产生, 保持较高的感官评分, 减缓亚硝酸盐含量的上升。与市售薄膜相比, 微孔包装后的气体成分改变并起到气调作用, 归因于微孔膜对气体和水蒸气的阻隔性^[14]。与对照相比, 冷杀菌能够抑制香椿的呼吸, 但对于微孔包装内气体含量变化的影响并不明显, WK 与 WK+CPS 样品的呼吸速率基本保持一致, 进一步证明影响呼吸速率的关键因子不在抑菌, 主要是气调。PCA 和 LDA 分析显示, 4 d 内不同处理的嗅感特性接近, 在 8 d 后 WK、WK+CPS 的嗅感特性与 CPS 逐渐拉开差距, 说明了自发气调对香椿样品的风味随着时间延长逐渐变化, 主要通过减缓生物活性促进了挥发性化合物分布的延迟, 这一点在无花果的微孔包装应用中表现类似^[24]。

综合以上结果, 微孔包装和低温等离子体冷杀菌复合处理香椿能够维持 4~6 d 的货架期, 但是冷杀菌没有凸显出较好的技术优势, 国外学者报道低温等离子体冷杀菌在处理生菜、胡萝卜和西红柿时发现, 在低菌落浓度时的杀菌效果好于高菌落浓度^[25]。那么研究香椿中的菌落总数相对于腐烂率更有意义, 同时低温等离子体冷杀菌在香椿中的应用须进一步确定技术参数以及杀菌的持久性研究。香椿货架期保鲜涉及生理衰老、呼吸代谢、微生物侵染的问题, 低温等离子体与微孔包装复合处理对于香椿采后的调控机制和品质劣变的影响有待深入研究。

参考文献

- [1] 胡新, 刘小丽, 何梦雅, 等. 香椿采后生理学变化及其保鲜技术研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(11): 286-291.
Hu X, Liu XL, He MY, et al. Postharvest physiological and biochemical changes and preservation techniques of *Toona sinensis* [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(11): 286-291.
- [2] 水江波, 阙苗, 任猛. 不同温度和湿度对于香椿保鲜效果的影响[J]. 家电科技, 2016, (10): 81-83.
Shui JB, Kan M, Ren M. Effect of different temperature and humidity on preservation of *Toona sinensis* [J]. Home Appl Technol, 2016, (10): 81-83.
- [3] 程华平, 殷俊峰, 伍玉茜, 等. 香椿低温冻藏保鲜及软包装加工方法[P]. CN, 201010128866.2, 2010-03-17.
Chen HP, Yin JF, Wu YH, et al. Cold storage and soft packaging of *Chinese toon* [P]. CN, 201010128866.2, 2010-03-17.
- [4] 朱永清, 袁怀瑜, 高佳, 等. 不同商品包装材料对红香椿 MAP 保鲜效果的影响[J]. 西南农业学报, 2014, 27(4): 1695-1699.
Zhu YQ, Yuan HY, Gao J, et al. Effect of different packaging materials on the preservation of map of *Toona sinensis* [J]. J Southwest Agric, 2014, 27(4): 1695-1699.
- [5] 杨慧, 毛维林, 赵守涣, 等. 冰温结合开孔调湿包装对香椿嫩芽的保鲜效应[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 121-125, 140.

- Yang H, Mao WL, Zhao SH, *et al.* Effect of ice temperature combined with open hole and humidity regulating packaging on the fresh-keeping of Chinese toon shoots [J]. Food Mach, 2017, 33(9): 121–125, 140.
- [6] 赵芳, 孙晓健, 于鹏飞, 等. 不同冷杀菌技术对香椿贮藏期品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(4): 188–192.
- Zhao F, Sun XJ, Yu PF, *et al.* Effects of different cold sterilization techniques on the quality of Chinese toon during storage [J]. Food Res Dev, 2018, 39(4): 188–192.
- [7] Lin SH, Chen CK, Luo HX, *et al.* The combined effect of ozone treatment and polyethylene packaging on postharvest quality and biodiversity of *Toona sinensis* (A. Juss.) M. roem [J]. Postharv Biol Technol, 2019, 154(8): 1–10.
- [8] 林少华, 崔梦娇, 陈存坤, 等. 3种不同保鲜方法对香椿贮藏期间挥发性风味成分的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2019, 46(6): 1062–1068.
- Lin SH, Cui MJ, Chen CK, *et al.* Effects of three different preservation methods on volatile flavor components of *Toona sinensis* during storage [J]. J Anhui Agric Univ, 2019, 46(6): 1062–1068.
- [9] 章建浩, 黄明明, 王佳娟, 等. 低温等离子体冷杀菌关键技术装备研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2018, 36(4): 8–16.
- Zhang JH, Huang MM, Wang JM, *et al.* Development of sterilization technology and equipment of cold plasma cold sterilization [J]. J Food Sci Technol, 2018, 36(4): 8–16.
- [10] 任翠荣, 刘金光, 王世清, 等. 常压低温等离子体处理对草莓保鲜效果的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2017, 34(3): 228–234.
- Ren CR, Liu JG, Wang SQ, *et al.* Effect of atmospheric pressure and low temperature plasma treatment on strawberry preservation [J]. J Qingdao Agric Univ (Nat Sci Ed), 2017, 34(3): 228–234.
- [11] 王卓, 周丹丹, 彭菁, 等. 低温等离子体对蓝莓果实的杀菌效果及其品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 101–107.
- Wang Z, Zhou DD, Peng J, *et al.* Efficacy of cold plasma on microbial decontamination and storage quality of blueberries [J]. Food Sci, 2018, 39(15): 101–107.
- [12] 孙艳, 张志伟, 王世清. 常压低温等离子体对黄瓜表面大肠杆菌杀菌效果及品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2018, 26(1): 61–67.
- Sun Y, Zhang ZW, Wang SQ. Effect of atmospheric pressure and low temperature plasma on germicidal efficacy and quality of *Escherichia coli* on cucumber surface [J]. Grain Oil Food Technol, 2018, 26(1): 61–67.
- [13] 侯田莹. 贮藏温度和包装方式及低氧气调对枸杞头品质与生理特性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- Hou TY. Effects of storage temperature, packaging and low oxygen on the quality and physiological characteristics of wolfberry head [D]. Nanjing: Nanjing University, 2008.
- [14] Chitravathi K, Chauhan OP, Raju PS. Influence of modified atmosphere packaging on shelf-life of green chillies (*Capsicum annum* L.) [J]. Food Packag Shelf Life, 2015, 4: 1–9.
- [15] Zhu YQ, Gao J. Effect of package film on the quality of postharvest Chinese toon tender shoots storage [J]. J Food Qual, 2017, 2017: 1–6.
- [16] 董文慧, 孙春娃, 丁兴萃, 等. 电子鼻结合顶空 SPME-GC-MS 分析毛竹冬笋的挥发性成分[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(3): 685–691.
- Dong WH, Sun CW, Ding XC, *et al.* Analysis of the volatile components of winter moso bamboo shoots by electronic nose combined with SPME-GC-MS [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2018, 34(3): 685–691.
- [17] GB 5009.33-2016 食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S].
- GB 5009.33-2016 National food safety standard-Determination of nitrite and nitrate in food [S].
- [18] 吴思. 不同预冷方式对红提葡萄的预冷效果[J]. 中国果菜, 2015, 35(8): 1–5.
- Wu S. Precooling effect of different precooling methods on red globe grape [J]. China Fruit Veget, 2015, 35(8): 1–5.
- [19] GB/T 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].
- GB/T 2762-2017 National food safety standard-Limits on contaminants in food [S].
- [20] 吴兴雨, 雷蕾, 曹阔, 等. 烹调方法和贮藏方式对香椿和圆生菜中亚硝酸盐含量的影响[J]. 河北北方学院学报(自然科学版), 2019, 35(11): 40–45.
- Wu XY, Lei L, Cao K, *et al.* The effect of food processing and storage methods on the nitrite content in *Toona sinensis* and lettuce [J]. J Hebei North Univ (Nat Sci Ed), 2019, 35(11): 40–45.
- [21] 程菁菁, 王赵改, 史冠莹. 不同杀菌方式对香椿芽菜品质特性的比较分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(1): 58–68+155.
- Chen JJ, Wang ZG, Shi GY. A comparative study on quality characteristics of *Toona sinensis* sprouts by different sterilization methods [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(1): 58–68, 155.
- [22] 顾立江, 程红梅. 植物中硝酸还原酶和亚硝酸还原酶的作用[J]. 生物技术进展, 2011, 1(3): 159–164.
- Gu LJ, Chen HM. The role of nitrate reductase and nitrite reductase in plants [J]. Curr Biotechnol, 2011, 1(3): 159–164.
- [23] 王静. 打孔膜包装对叶菜品质的影响[D]. 西安: 西安理工大学, 2017.
- Wang J. The effect of perforated film packaging on the quality of leafy vegetables [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2017.
- [24] Villabos MC, Serradilla MJ, Martina A, *et al.* Influence of modified atmosphere packaging (MAP) on aroma quality of figs (*Ficus carica* L.) [J]. Postharv Biol Technol, 2018, 136: 145–151.
- [25] Berm UAD, Wemlinger E, Pedrowp, *et al.* Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli*, in fresh produce [J]. Food Control, 2013, 34(1): 149–157.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



马佳佳, 助理研究员, 主要研究方向为果蔬保鲜加工。
E-mail: mjj20120326@163.com



王毓宁, 副研究员, 主要研究方向为果蔬保鲜加工。
E-mail: wyn705@163.com