

低温等离子体处理提高鲜切西兰花贮藏品质

张勇, 张志伟, 程晨霞, 张新富, 杨绍兰

(青岛农业大学园艺学院, 山东青岛 266109)

摘要: 本文以鲜切西兰花 (*Brassica oleracea*) 为试材, 采用低温等离子体 (Cold Plasma, CP) 处理, 分析 CP 处理对鲜切西兰花保鲜效果的影响。结果表明, 与对照相比, CP 能有效杀灭西兰花表面的细菌; 贮藏 5 d, CP 处理的鲜切西兰花的硬度、粘力和咀嚼性分别为 44.45 kg/cm²、12.51 和 139.88 mJ, 而对照组分别为 34.84 kg/cm²、7.71 和 83.63 mJ, 表明 CP 处理能够明显抑制西兰花的质构变化; 鲜切西兰花贮藏过程中的乙烯释放速率呈现先上升后下降的趋势, CP 处理明显抑制了其乙烯释放速率; 电子鼻的主成分分析和线性判别分析发现, 随着贮藏时间的延长, 对照组和 CP 处理的鲜切西兰花的气体成分差异显著; 聚类分析结果表明, CP 处理的鲜切西兰花 15 d 贮藏品质相当于未处理的鲜切西兰花贮藏 11 d。因此, CP 处理能够明显延长鲜切西兰花的贮藏寿命, 维持其较好品质。

关键词: 西兰花; 鲜切; 等离子体处理; 贮藏

文章编号: 1673-9078(2021)02-164-170

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.2.0806

Storage Quality Improvement of Fresh-Cut Broccoli by Cold Plasma Treatment

ZHANG Yong, ZHANG Zhi-wei, CHENG Chen-xia, ZHANG Xin-fu, YANG Shao-lan

(College of Horticulture, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: In this work, the effect of CP treatment on the vegetable storage quality of fresh-cut broccoli (*Brassica oleracea*) was evaluated. The results showed that compared with the control, the CP treatment could effectively sterilize the bacteria on the broccoli surface. The hardness, chewiness and viscous force of fresh-cut broccoli treated with CP treatment on 5thd were 44.45 kg/cm², 12.51 and 139.88 mJ, respectively. While those of the control group were 34.84 kg/cm², 7.71 and 83.63 mJ, respectively. It indicated that CP treatment could significantly inhibit the texture change of broccoli. The ethylene production rate of fresh-cut broccoli increased at first and then decreased during the storage time, which was significantly inhibited by CP treatment. According to the principal component analysis and linear discriminant analysis of electronic nose detection, the volatile compound of fresh-cut broccoli was significantly different between CP treatment group and control group during the storage time. The cluster analysis showed that the storage quality of fresh-cut broccoli with CP treatment on 15thd was equivalent to that of the control fresh-cut broccoli on 11thd. So, the storage life of fresh-cut broccoli could be effectively prolonged by CP treatment, and the vegetable quality could be maintained better.

Key words: broccoli; fresh cut; plasma; storage

引文格式:

张勇, 张志伟, 程晨霞, 等. 低温等离子体处理提高鲜切西兰花贮藏品质[J]. 现代食品科技, 2020, 37(2): 164-170

ZHANG Yong, ZHANG Zhi-wei, CHENG Chen-xia, et al. Storage quality improvement of fresh-cut broccoli by cold plasma treatment [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 37(2): 164-170

西兰花 (*Brassica oleracea*), 又名青花菜, 十字

收稿日期: 2020-08-28

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系蔬菜产业创新团队项目 (SDAIT-05-21); 山东省高等学校科技计划项目 (J18KA126)

作者简介: 张勇 (1995-), 男, 在读硕士生, 研究方向: 果蔬采后生理与分子生物学

通讯作者: 杨绍兰 (1978-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬采后生理与分子生物学

花科芸薹属甘蓝种, 为一至二年生草本植物^[1-3]。其营养物质丰富, 具有较强的自由基清除能力和抗癌功效, 被誉为高档蔬菜。西兰花在主茎顶端长成绿色硕大花球, 其表面着生松散的小花蕾, 可食用部分为头部颗粒状的小花蕾和幼嫩花茎。采收之后呼吸代谢仍然旺盛, 多酚氧化酶和酚类氧化物等活性较强, 易造成花球部位褐变, 叶绿素降解, 花蕾失绿变黄^[4]。且采后西兰花由于切割处的伤口以及幼嫩的花蕾极易受到微生

物的侵染,从而致使发霉容易遭受微生物的侵染,因此贮藏期间容易出现黄化、失水、萎蔫、腐烂等问题,进而导致营养流失,品质下降,商品性降低^[5,6]。

鲜切蔬菜被称为最小加工蔬菜,是指将新鲜蔬菜经过分级,清洗,切割,包装等一系列处理,制成方便宜食的制品,近年来越来越受到消费者的青睐。但是鲜切蔬菜在加工过程中受到损伤,呼吸和乙烯释放增强,水分损失速度加快,容易出现褐变和营养流失等问题。目前,鲜切蔬菜采后常见的保鲜技术包括物理保鲜、化学保鲜和生物保鲜^[7]。物理保鲜主要包括臭氧处理、低温储存、贮藏环境气体调节、紫外线照射等。化学保鲜是用化学物质处理,从而延缓生理代谢速率,用保鲜剂处理:1-甲基环丙烯(1-MCP)、乙醇、杀菌剂等。生物保鲜包括利用微生物及其代谢物(抗生素、溶菌酶、蛋白酶、细菌素)保鲜、利用天然提取物(植物精油、多酚物质、生物碱、中草药成分)保鲜和基因工程技术保鲜等^[7-10]。

低温等离子体(Cold Plasma, CP)为一种新型物理保鲜技术,具有灭菌时间短、应用广泛、操作安全简便、无环境污染等优点。CP由带电粒子组成第四态的离子化物质,在整体上会表现出电中性^[11,12]。因CP具有较好的杀菌效果,所以学者将其应用于果蔬保鲜。徐文慧等^[11]发现,CP处理通过高能电子辐射、臭氧氧化、紫外光解3方面实现对鲜切果蔬的保鲜作用。CP处理可杀灭鲜切辣椒、生菜、黄瓜、火龙果、甜瓜等表面的细菌、酵母等杂菌,从而有效保持食品的营养价值和感官品质^[13-17]。Li等^[18]认为CP处理能够促进黄酮和苯丙醇生物合成途径中的代谢物生成,提高鲜切草莓的抗氧化能力。目前,CP处理对西兰花采后贮藏保鲜的研究报道较少,本研究以鲜切西兰花为试材,拟分析CP处理鲜切西兰花贮藏品质的影响,以期为CP处理技术在果蔬保鲜中的应用提供相关依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为青岛夏庄蔬菜基地生产的西兰花,品种为‘优秀’。采摘后2 h内运至实验室,选取表面没有机械伤、颜色浓绿、小花未开且达到商业收获期的西兰花作为试材。

1.2 试验方法

1.2.1 材料处理

将新采收的西兰花切割成3~4 cm大小的花球,

CP装置及处理参照孙艳等^[15]的方法,置于电压170 V的等离子体装置载物台上处理5 min,处理部分为整个小花,包括花蕾及花柄。未处理的鲜切西兰花作为对照。将两组鲜切西兰花置于温度为(4±0.5) °C的冷库贮藏,每隔24 h测定相关指标。

1.2.2 鲜切西兰花细菌菌落数目的测定

选取CP处理1 d的鲜切西兰花和同期对照样品各5 g,加入适量磷酸缓冲液研磨至匀浆,制成1:10的匀液。吸取该匀液1 mL注入盛有9 mL稀释液的无菌试管,配置成1:100的匀液,依次稀释1000、10000倍样品匀液。接种至LB固体培养基,于培养箱37 °C倒置培养48 h,观察培养基表面生长的菌落数量。

1.2.3 鲜切西兰花质构特性的测定

采用CT3-4500质构仪(Brookfield, 美国)测定西兰花花蕾柄部硬度、咀嚼性、弹性、内聚性、粘性等质构特性,探头直径为2.0 mm,测试深度为5 mm,测试速度为0.5 mm/s,测试时,共测定10个花蕾。

1.2.4 鲜切西兰花的色差测定

采用CR-400色差仪(Chroma Meter, 日本)测定鲜切西兰花的花蕾,15个小花为重复。

1.2.5 鲜切西兰花的乙烯释放速率测定

采用GC-2010气相色谱仪(Shimadzu, 日本)测定西兰花的乙烯释放速率。选取质量为100 mg西兰花花蕾置于450 mL的密封烧杯中2 h,抽取1 mL气体进行乙烯含量测定。乙烯测定采用FID检测器,GDX-502毛细管柱(10 m×0.53 mm×1 μm),柱温为120 °C,检测器温度为200 °C。

1.2.6 鲜切西兰花的挥发性成分测定

选取3个质量、色泽相近的花蕾,分别放置于3个0.45 L塑料盒中用保鲜膜封口,室温静置1 h后用电子鼻(Airsense, 德国)检测西兰花释放的气体成分。

电子鼻测定条件:传感器清洗时间为100 s,归零时间为10 s,样品准备时间为10 s,分析采样时间为120 s,内部流量400 mL/min,进样流量200 mL/min。

1.3 数据处理及统计

使用Microsoft Excel、Word软件作数据统计,利用GraphPad Prism 8软件进行数据处理和绘图分析并进行差异性显著分析。

2 结果与讨论

2.1 CP处理对鲜切西兰花表面细菌的杀灭效果

诸多研究表明, CP 处理可以杀灭细菌等微生物。由图 1 可知, 右图为 CP 处理鲜切西兰花于培养基中的细菌生长情况, 共检测到 27 个细菌菌落, 左图显示的对照则检测有 80 个菌落, 表明 CP 处理对西兰花表面的细菌具有致死作用。比较细菌菌落大小, CP 处理的菌落面积明显小于对照, 表明 CP 处理能够抑制细菌的繁殖生长。由此可知, CP 处理抑制细菌生长和繁殖, 具有杀菌的作用。该试验结果与孙艳等^[13]和 Kim 等^[19]在黄瓜和辣椒上的结果一致。但有学者研究发现, CP 处理后葡萄球菌等病菌含量明显减少, 却无法完全杀灭各种病菌, 与本试验结果相符合。

CP 处理广泛应用于微生物的杀灭和消毒等方面, 进而发展到果蔬的保鲜。由于 CP 处理是电离气体, 产生众多带电高能粒子和各种辐射, 包括诸多的物理反应从而快速完成杀菌作用。有报道认为等离子体的杀菌机制包括高能电子辐射、臭氧氧化和紫外光解 3 方面^[20-22]。经过电离产生的离子、电子, 在电场中有较高的能量, 轰击细菌表面产生巨大的蚀刻作用, 进而杀死细菌。臭氧具有较强的化学活性, 能够破坏细胞的生物大分子, 使微生物无法进行正常代谢活动, 从而起到杀菌的作用。紫外线能够改变 DNA 生物活性、使蛋白质变性, 从而导致细菌致死。但由于 CP 处理过程迅速且复杂, 生物细胞构造不清楚, CP 杀菌的作用机理尚未完全明确。因此, CP 杀菌的作用机制还需进一步研究。

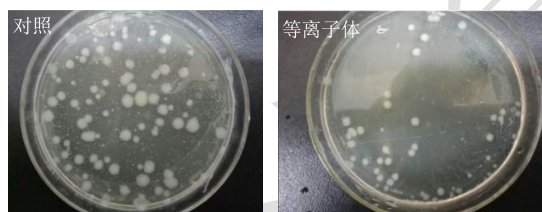


图 1 CP 处理对鲜切西兰花的杀菌效果

Fig.1 The effect of CP treatment on the sterilization of fresh-cut broccoli

2.2 CP 处理对鲜切西兰花质构特性的影响

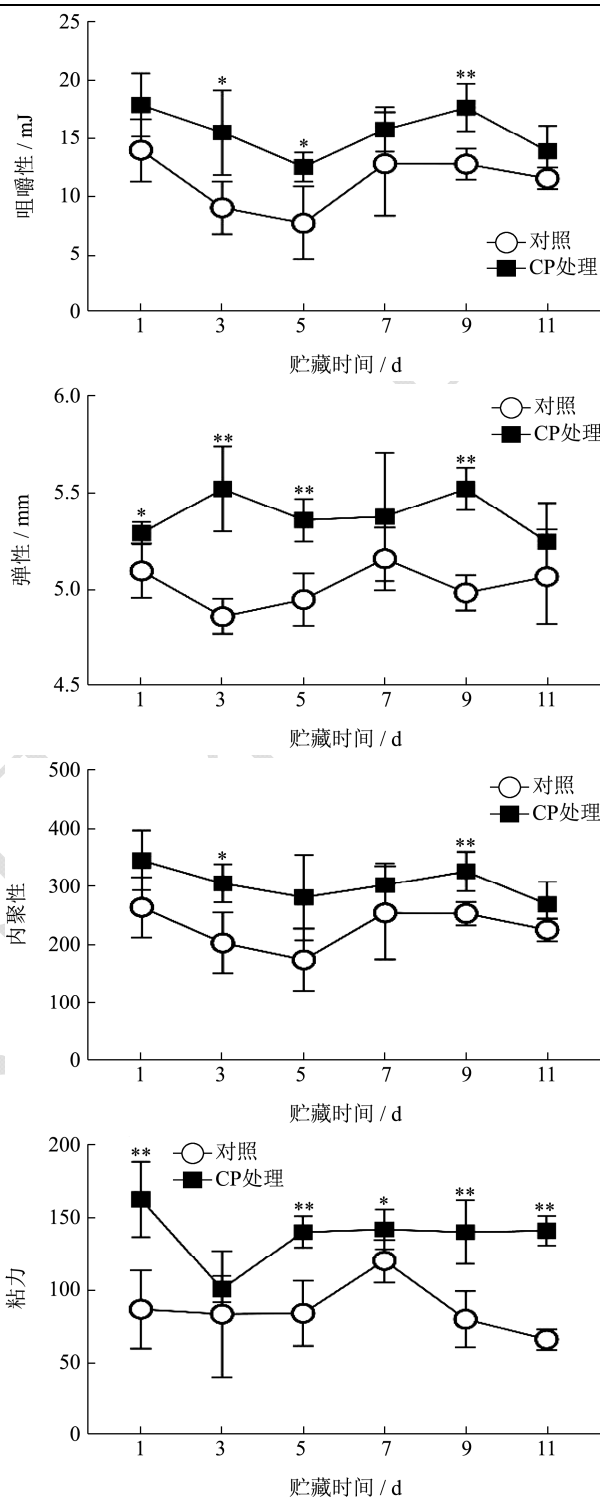
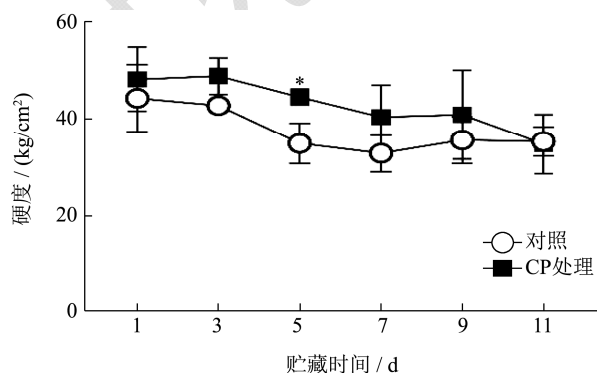


图 2 CP 处理对鲜切西兰花的质构特性的影响

Fig.2 The effects of CP treatment on the texture properties of fresh-cut broccoli

注: 星号代表处理与对照差异显著 (*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$),

图 3 同。

如图 2 所示, 贮藏过程中, CP 处理的鲜切西兰花的硬度、咀嚼性、弹性、内聚性和黏力始终高于对照组。硬度在贮藏过程中均呈下降趋势, 贮藏至 5 d,

CP 处理的鲜切西兰花的硬度为 44.45 kg/cm^2 , 对照组为 34.84 kg/cm^2 。咀嚼性均在采后呈先下降后上升趋势, 贮藏 5 d, CP 处理的咀嚼性为 12.51 mJ , 对照为 7.71 mJ , 差异显著。内聚性在贮藏期间呈下降趋势。因此, CP 处理能够延缓鲜切西兰花质构特性的改变, 保持了鲜切西兰花的新鲜程度。

2.3 CP 处理对鲜切西兰花色差特性的影响

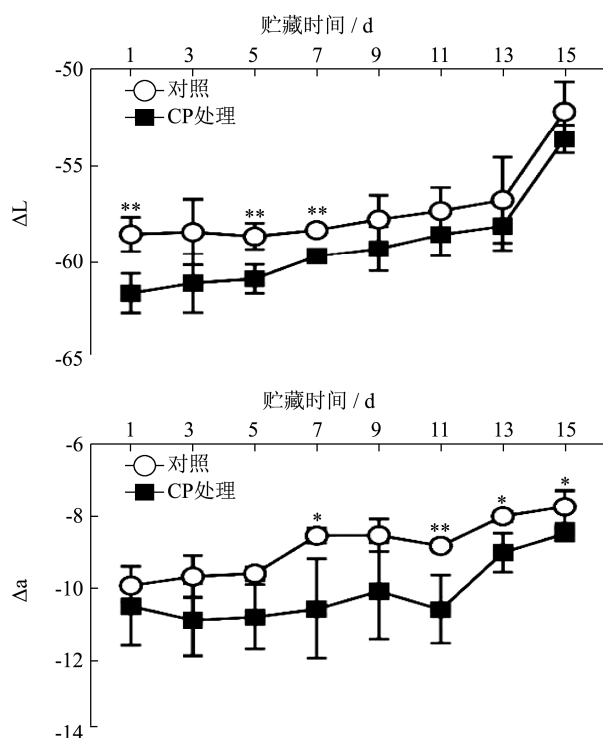


图3 CP 处理对鲜切西兰花的色差特性的影响

Fig.3 The effects of CP treatment on the chromatic aberration of fresh-cut brocolis

色泽作为鲜切西兰花品质指标之一, 能够直观评估商品价值。本试验选取 ΔL 和 Δa 评判西兰花的色泽。其中, ΔL 代表的是亮暗, 负值越小, 越偏暗。CP 处理鲜切西兰花的 ΔL 贮藏过程中均低于对照组, 且二者均呈上升趋势。 Δa 代表的是红绿, 负值越小, 越偏绿。从 Δa 的数据来看, 二者呈上升趋势, CP 处理鲜切西兰花的 Δa 低于对照组, 表明其失绿速率慢于对照。该结果与 Tappi 等^[23]认为 CP 处理能够抑制鲜切苹果的黄化速率结果一致。

李长亮等^[23]研究发现随着西兰花采后时间延长, 失绿现象越明显, 其原因可能是采后贮藏过程中, 叶绿素降解途径中过氧化物酶和叶绿素酶的活性逐渐增强, 加速了叶绿素的降解, 从而发生黄化。本文中 CP 处理延缓了西兰花黄化时间, 可能是 CP 处理抑制了叶绿素降解途径中相关酶的活性, 从而维持西兰花较绿的色泽, 有待进一步验证。

2.4 CP 处理对鲜切西兰花乙烯释放速率的影响

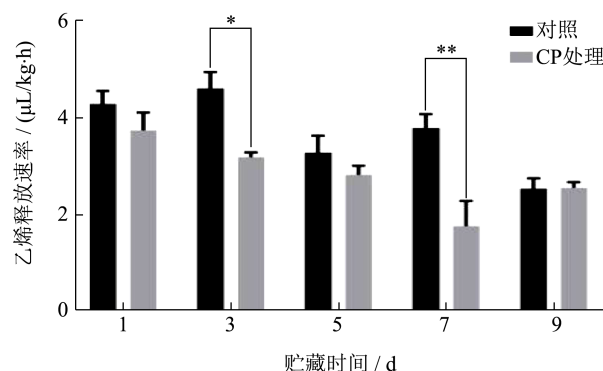


图4 CP 处理对鲜切西兰花乙烯释放速率的影响

Fig.4 The effect of CP treatment on the ethylene production rate of fresh-cut brocolis

注: 星号代表处理与对照差异显著 (*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$)。

如图4所示, 贮藏过程中, 对照鲜切西兰花的乙烯释放速率呈现先上升后下降的趋势, 贮藏 3 d 达到峰值, 为 $4.56 \mu\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$; CP 处理的鲜切西兰花的乙烯释放速率在贮藏过程中呈下降的趋势, 且未出现乙烯高峰, 贮藏 3 d 的乙烯释放速率为 $3.18 \mu\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$, 二者差异显著。CP 处理的鲜切西兰花的乙烯释放速率均低于对照。

2.5 CP 处理对鲜切西兰花电子鼻分析的影响

2.5.1 CP 处理的鲜切西兰花载荷分析

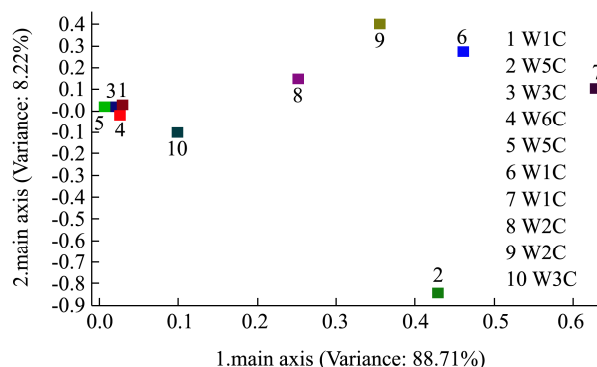


图5 鲜切西兰花载荷分析

Fig.5 Lo analysis of fresh-cut brocolis

注: 1号传感器为 W1C, 对芳香成分灵敏; 2号为 W5C, 对氮氧化物灵敏; 3号为 W3C, 对氨类、芳香分子物质灵敏; 4号为 W6C, 对氢类物质灵敏; 5号为 W5C, 对烷烃、芳香族灵敏; 6号为 W1C, 对甲烷类灵敏; 7号为 W1C, 对硫化物灵敏; 8号为 W2C, 对乙醇等醇类物质灵敏; 9号为 W2W, 对芳烃类物质、有机硫化物灵敏; 10号为 W3C, 对烷烃类灵敏。

本试验所用电子鼻的 10 个传感器相对应 10 类不

同挥发性物质。图 5 显示, 对第一主成分贡献最大的是传感器 7 号(W1W), 其次贡献较大的是 2 号(W5S) 和 6 号(W1S)。7 号传感器分析的物质为硫化物, 2 号的是氮氧化物, 6 号的是烷烃类。9 号传感器(W2W) 对第二主成分贡献最大, 为芳香类物质和有机硫化物。其它传感器响应值靠近原点, 其中尤以 1(W1C)、3(W3C)、4(W6S) 和 5(W5C) 这 4 个传感器对应的挥发物质差异较小, 作用效果可以忽略不计。

Zhu 等^[24]研究发现氮氧化物在西兰花贮藏期间发生了较大变化, 且有报道认为鲜切西兰花在贮藏后期的难闻气体主要是酶促反应产生甲硫醇、二甲基三硫醚等挥发性硫化物^[25], 这与本试验中 2 号和 7 号传感器测定的成分一致。

2.5.2 CP 处理的鲜切西兰花主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA)

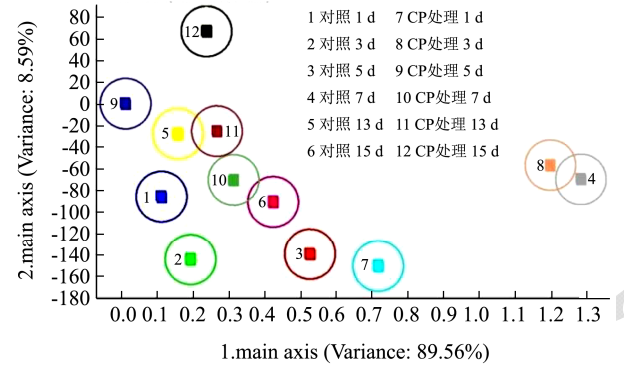


图 6 鲜切西兰花挥发性成分 PCA 分析

Fig.6 PCA analysis of volatile components of fresh-cut broccoli

PCA 是传感器获得的香气成分通过降维至最佳矢量空间以得到原有指标信息的分析方法。图 6 显示的是鲜切西兰花的 PCA 分析, 其中, 第一主成分(PC1)的贡献率为 89.56%, 第二主成分(PC2)的贡献率为 8.59%, 累积贡献率高达 98.15%, 表明这两个主成分所代表的信息能完整反应样品的整体气体信息。对照组与 CP 处理二者在相同的贮藏时间可以互相区分, 独立成簇且具有一定距离。贮藏过程的 1、3、5、7 d, CP 处理与对照在 PC1 上存在差异较大。贮藏 15 d, 二者在 PC2 上存在差异较大。

2.5.3 CP 处理对鲜切西兰花的线性判别式分析 (Linear Discriminant Analysis, LDA)

LDA 分析是将电子鼻获得的挥发物质信息优化分析, 提高组间差异。图 7 是鲜切西兰花挥发性物质的 LDA 分析, 判别式 LD1 的贡献率为 41.51%, 判别式 LD2 的贡献率是 35.08%, 累积贡献率为 76.59%, 可较好地反映样品气味信息。CP 处理在贮藏初期与对照差别较小, 贮藏 1、3 d 的二者距离较近甚至有重合部分。但随着贮藏时间延长, CP 处理与对照的 LDA

数据差别越大, 贮藏 5、13、15 d 的两者气味信息在空间分布不重叠, 且有一定间距, 特别是贮藏 15 d 的间距极大。对照组和 CP 处理的鲜切西兰花的整体气味信息可以利用电子鼻中 LDA 模式识别。

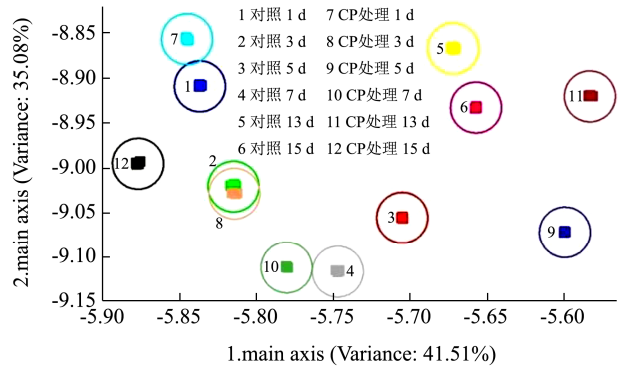


图 7 CP 处理对鲜切西兰花 LDA 分析的影响

Fig.7 The effect of CP treatment on the LDA analysis of fresh-cut broccoli

2.5.4 偏最小二乘法 (Partial Least Square, PLS) 定量预测 CP 处理对鲜切西兰花贮藏期的影响

表 1 鲜切西兰花 PLS 定量预测分析

Table 1 PLS quantitative prediction analysis of fresh-cut broccoli

样品名	范围	偏最小二乘法 PLS
CP 处理 3 d	54~57	贮藏时间/d: 3.03
CP 处理 5 d	54~57	贮藏时间/d: 5.01
对照 5 d	54~57	贮藏时间/d: 7.05
对照 11 d	54~57	贮藏时间/d: 17.39

PLS 通过建立电子鼻信号的校准模型, 利用降维算法, 将自变量和因变量获得线性关系, 从而准确预测鲜切西兰花香气。表 1 为鲜切西兰花在贮藏期间挥发性物质的 PLS 定量预测分析, 以 CP 处理为模板, 判断 CP 处理的鲜切西兰花和对照的保鲜状态。从贮藏时间来看, 对照的贮藏 5、11 d 分别相当于 CP 处理的 7.05、17.39 d。通过电子鼻 PLS 预测可知, 鲜切西兰花经过 CP 处理后的保鲜效果得到了改善。

2.5.5 聚类分析

表 2 鲜切西兰花聚类分析

Table 2 Cluster analysis of fresh-cut broccoli

样品	范围	欧氏距离	相关性
对照 3 d	54~57	对照 3 d	对照 3 d
对照 5 d	54~57	对照 5 d	对照 5 d
CP 处理 13 d	54~57	对照 9 d	对照 9 d
CP 处理 15 d	54~57	对照 11 d	对照 11 d

以对照组的鲜切西兰花为模版, 采用欧氏距离和相关性这两种聚类分析方法预测 CP 处理的鲜切西兰

花类别。如表 2 所示,贮藏 13 d 的 CP 处理鲜切西兰花,根据欧氏距离和相关性分析判断其贮藏效果与对照组 9 d 的效果相吻合,CP 处理 15 d 的鲜切西兰花的贮藏效果通过欧氏距离和相关性分析判断与对照组 11 d 的贮藏效果一致。通过聚类分析,发现 CP 处理有较好的保鲜作用。

3 结论

鲜切西兰花极易衰老,表现为软化、失绿、萎蔫等现象。本试验采用 CP 处理鲜切西兰花,结果表明,CP 处理能有效地杀灭鲜切西兰花表面的微生物。CP 处理可延缓鲜切西兰花质构特性的改变,降低失绿速率和乙烯释放速率。电子鼻分析直观地体现了 CP 处理可明显延缓西兰花的成熟度,有效延长贮藏时间并保持新鲜。另外,电子鼻分析得出鲜切西兰花在贮藏过程中产生的硫化物较多,为以后的西兰花保鲜提供思路,可以考虑抑制硫化物合成,减少西兰花的营养物质的消耗,从而达到更好的保鲜效果。

参考文献

- [1] Pellegrino R, Wheeler J, Sams C E, et al. Storage time and temperature on the sensory properties broccoli [J]. *Foods*, 2019, 8(5): 162-173
- [2] 张延霞.西兰花的无公害高产栽培技术[J].*中国种业*,2008,10: 53-54
ZHANG Yan-xia. The pollution-free and high-yield cultivation technology of broccoli [J]. *China Seed Industry*, 2008, 10: 53-54
- [3] 陶炜煜,韩俊华,牛天贵,等.乙醇处理对最小加工西兰花生理和品质的影响[J].*食品科技*,2006,4:43-46
TAO Wei-yu, HAN Jun-hua, NIU Tian-gui, et al. Effects of ethanol vapor treatment on physiology and quality of minimally processed broccoli [J]. *Food Science and Technology*, 2006, 4: 43-46
- [4] Corato U D. 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
- [5] 陈学玲,张莉会,何建军,等.杀菌剂对鲜切西兰花的保鲜作用[J].*现代食品科技*,2018,34(6):197-203
CHEN Xue-ling, ZHANG Li-hui, HE Jian-jun, et al. Effects of fungicides on the preservation of fresh-cut broccoli [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(6): 197-203
- [6] Alvarez M V, Ortega-Ramirez L A, Silva-Espinoza B A, et al. Antimicrobial, antioxidant, and sensorial impacts of oregano and rosemary essential oils over broccoli florets [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2019, 43(6): e13889
- [7] 汤石生,刘军,龚丽,等.果蔬保鲜贮藏技术研究进展[J].*现代农业装备*,2018,4:67-73
TANG Shi-sheng, LIU Jun, GONG Li, et al. Research progress of fruit and vegetable preservation and storage technology [J]. *Modern Agricultural Equipment*, 2018, 4: 67-73
- [8] 聂敏,吴凤娇,刘瑞雪,等.果蔬保鲜技术发展现状及展望[J].*科技信息*,2013,24:15
NIE Min, WU Feng-jiao, LIU Rui-xue, et al. Development status and prospect of fruit and vegetable preservation technology [J]. *Science and Technology Information*, 2013, 24: 15
- [9] Li P, Jia J, Zhang D, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant activities of a flavonoid isolated from celery (*Apium graveolens* L. var. Dulce) [J]. *Food and Function*, 2014, 5(1): 50-56
- [10] Wilson M D, Stanley R A, Eyles A, et al. 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
- [11] 徐文慧,周锦云,蔡静,等.基于低温等离子体技术的果蔬生鲜杀菌保鲜研究进展[J].*浙江农业科学*,2020,61(1):121-124
XU Wen-hui, ZHOU Jin-yun, CAI Jing, et al. Research progress on sterilization and preservation of fresh fruits and vegetables based on low temperature plasma technology [J]. *Zhejiang Agricultural Science*, 2020, 61(1): 121-124
- [12] 相启森,张嵘,范刘敏,等.大气压冷等离子体在鲜切果蔬保鲜中的应用研究进展[J].*食品工业科技*,2020,1-11
XIANG Qi-sen, ZHANG Rong, FAN Liu-min, et al. Research progress of atmospheric cold plasma in fresh-cut fruits and vegetables preservation [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 1-11
- [13] Go S M, Kim H S, Park M R, et al. Antibacterial effect of non-thermal atmospheric plasma against soft rot bacteria on paprika [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2020, 117: 108600
- [14] Min S C, Roh S H, Niemira B A, et al. In-package inhibition of *E.coli* O157:H7 on bulk Romaine lettuce using cold plasma [J]. *Food Microbiology*, 2017, 65: 1-6
- [15] 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 Yan, ZHANG Zhi-wei, WANG Shi-qing. Effect of atmospheric pressure low temperature plasma on sterilization rate of *Escherichia coli* on sliced cucumber surface and quality attributes [J]. Technology of Grain, Oil and Food, 2018, 26(1): 61-67
- [16] Li X A, Li M L, Ji N N, et al. Cold plasma treatment induces phenolic accumulation and enhances antioxidant activity in fresh-cut pitaya (*Hylocereus undatus*) fruit [J]. LWT - Food Science and Technology, 2019, 115: 108447
- [17] Tappi S, Gozzi G, Vannini L, et al. Cold plasma treatment for fresh-cut melon stabilization [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2016, 33: 225-233
- [18] Li M L, Li X A, Han C, et al. Physiological and metabolomic analysis of cold plasma treated fresh-cut strawberries [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(14): 4043-4053
- [19] Kim J E, Oh Y J, Song A Y, et al. Preservation of red pepper flakes using microwave-combined cold plasma treatment [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(4): 1577-1585
- [20] Sun Y, Zhang Z W, Wang S P. Study on the bactericidal mechanism of atmospheric-pressure low-temperature plasma against *Escherichia coli* and its application in fresh-cut cucumbers [J]. Molecules, 2018, 23(4): 975
- [21] Dogan C, Oksuz A U, Maslakci N N, et al. Sterilization of natural rose water with nonthermal atmospheric pressure plasma [J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2019, 44(7): 6403-6410
- [22] Tappi S, Ramazzina I, Rizzi F, et al. Effect of plasma exposure time on the polyphenolic profile and antioxidant activity of fresh-cut apples [J]. Applied Sciences, 2018, 8(10): 1939
- [23] 李长亮,冯毓琴,魏丽娟,等.1-MCP在西兰花贮藏保鲜中的应用研究进展[J].食品与发酵工业,2020,10:1-6
LI Chang-liang, FENG Yu-qin, WEI Li-juan, et al. Reviews in application of 1-MCP for storage and fresh-keeping of broccoli [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 10: 1-6
- [24] Zhu L L, Hu H L, Luo S F, et al. Melatonin delaying senescence of postharvest broccoli by regulating respiratory metabolism and antioxidant activity [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(3): 300-308
- [25] Yan Z C, Shi J Y, Gao L P, et al. The combined treatment of broccoli florets with kojic acid and calcium chloride maintains post-harvest quality and inhibits off-odor production [J]. Scientia Horticulturae, 2020, 262(27): 109019
-
- (上接第 297 页)
- [23] 李升升,余群力.牦牛骨骼肌、平滑肌和心肌氨基酸和脂肪酸组成分析及营养评价[J].营养学报,2018,40(2):194-196
LI Sheng-sheng, YU Qun-li. Amino acid and fatty acid compositions and nutritional quality of skeletal, smooth and cardiac muscles of yak [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2018, 40(2): 194-196
- [24] 兴丽,赵凤敏,曹有福,等.不同产地亚麻籽矿物质元素及脂肪酸组成的主成分分析[J].光谱学与光谱分析,2014,34(9): 2538-2543
XING Li, ZHAO Feng-min, CAO You-fu, et al. Principal component analysis of mineral elements and fatty acids composition in flaxseed from ten different regions [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2014, 34(9): 2538-2543
- [25] 罗钦,柯文辉,李冬梅.3 种特种水产品肌肉中脂肪酸组成比较及主成分综合评价[J].南方农业学报,2019,50(10):2286-2292
LUO Qin, KE Wen-hui, LI Dong-mei. Analysis on fatty acid compositions in muscle of three special aquatic products and comprehensive evaluation of principal components [J]. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(10): 2286-2292
- [26] Topal M, Aksaklı V, Bayram B, et al. An analysis of the factors affecting birth weight and actual milk yield in Swedish red cattle using regression tree analysis [J]. J Anim Sci, 2010, 20(2): 63-69
- [27] 高云,郁志芳.基于主成分分析的芹菜品质评价[J].食品工业科技,2020,3:308-314
GAO Yun, YU Zhi-fang. Quality evaluation of celery based on principal component analysis [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 3: 308-314
- [28] 顾赛麒,王锡昌,陶宁萍,等.基于主成分分析和聚类分析评价中华绒螯蟹蟹肉香气品质的研究[J].食品工业科技,2012, 33(24):120-125
GU Sai-qi, WANG Xi-chang, TAO Ning-ping, et al. Evaluation on aroma-quality of meat of Chinese mitten handed crab (*Eriocheir sinensis*) by principal component analysis and cluster analysis [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(24): 120-125