

基于电子鼻分析 1-MCP 对‘香红’梨后熟进程的影响

闫子茹^{1,2}, 岳盈肖^{2,3}, 赵江丽², 赵国群¹, 刘金龙^{1,*}, 关军锋^{2,*}

(1.河北科技大学生物科学与工程学院, 河北石家庄 050018;

2.河北省农林科学院遗传生理研究所, 河北石家庄 050051;

3.河北工程大学生命科学与食品工程学院, 河北邯郸 056000)

摘要:‘香红’梨经 1-甲基环丙烯(1-Methylcyclopropene, 1-MCP) ($1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$) 处理后, 测定贮藏期(10 d)内果实的呼吸强度、乙烯释放速率变化, 同时利用电子鼻对贮藏期内的果实挥发性气体变化进行分析。结果表明: 与对照组相比, 1-MCP 处理抑制果实的呼吸强度和乙烯释放速率。电子鼻能区分对照组不同贮藏时期的果实挥发性气体, 其中 6、10 d 的果实挥发性气体分别有明显变化。1-MCP 处理组 0、2、6、8 d 的果实挥发性气体的响应值分布存在部分交叉, 而 4、10 d 的挥发性气体分布区域相对独立。线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)结果中果实挥发性气体的分布区域更加集中, 更能说明不同贮藏时期果实挥发性气体的分布情况。载荷(Loading)分析表明 W5S、W2W 和 W2S 三个传感器对区别不同处理的果实挥发性气体发挥了关键作用, 1-MCP 处理明显减少氮氧化合物(W5S)、有机硫化物和芳香族化合物(W2W)、醇类和部分芳香族化合物(W2S)三类物质的生成。总之, 结合电子鼻分析, 证明 1-MCP 明显抑制香红梨果实乙烯和部分挥发性气体的生成, 因而延缓果实后熟进程。

关键词: 梨, 1-甲基环丙烯, 乙烯, 电子鼻, 挥发性气体

Effect of 1-MCP on the Ripening Process of ‘Xianghong’ Pears Based on the Electronic Nose Analysis

YAN Ziru^{1,2}, YUE Yingxiao^{2,3}, Zhao Jiangli², ZHAO Guoqun¹, LIU Jinlong^{1,*}, GUAN Junfeng^{2,*}

(1.College of Bioscience and Bioengineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China;

2.Institute of Genetics and Physiology, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China;

3.College of Life Science and Food Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056000, China)

Abstract: After being treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP) ($1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$), the respiration intensity and ethylene release rate of the ‘Xianghong’ pears were measured during 10 days of storage. And meanwhile, the electronic nose was used to analyze the changes of volatile gas during storage. The results showed that compared with the control group, 1-MCP treatment inhibited the respiration intensity and ethylene release rate of the fruit. The electronic nose could distinguish the volatile gas of the fruit at different storage periods. The volatile gas of fruit had obvious changes at day 6 and day 10. In the 1-MCP treatment group, there was a certain amount of overlap with the distribution of volatile gas at day 0, 2, 6 and 8. However, the distribution area of volatile gas was independent at day 4 and day 10. Linear discriminant analysis (LDA) could make the distribution area of fruit volatile gas more concentrated and improve the discrimination ability of fruit aromas. Loading analysis showed that the sensors W5S, W2W and W2S played a key role in distinguishing the volatile gas of fruit from different treatments. 1-MCP treatment significantly reduced the production of nitrogen oxides (W5S), organic sulfides and aromatic compounds (W2W), alcohols and some aromatic compounds (W2S). Overall, combined with electronic nose analysis, it was proved that 1-MCP significantly inhibited the production of ethylene and volatile gas, delaying the post-ripening process of ‘Xianghong’ pears.

Key words: pear; 1-methylcyclopropene; ethylene; electric nose; volatile gas

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)04-0271-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2020040311

收稿日期: 2020-04-28

作者简介: 闫子茹(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 酿造工程, E-mail: m18733513031@163.com。

* 通信作者: 刘金龙(1980-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 发酵过程优化控制, E-mail: jlliu18@126.com。

关军锋(1966-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 果实品质生物学, E-mail: junfeng-guan@263.net。

基金项目: 国家梨产业技术体系(CARS-28-05B); 河北省重点研发计划(19227111D); 河北省农林科学院创新工程项目(2019-2-01)。

引文格式: 闫子茹, 岳盈肖, 赵江丽, 等. 基于电子鼻分析 1-MCP 对‘香红’梨后熟进程的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(4): 271-275, 281.

YAN Ziru, YUE Yingxiao, Zhao Jiangli, et al. Effect of 1-MCP on the Ripening Process of ‘Xianghong’ Pears Based on the Electronic Nose Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(4): 271-275, 281. (in Chinese with English abstract) <http://www.spjyky.com>

‘香红’梨是近年来选育出的梨新品种, 果实成熟时果皮为红色, 果肉呈白色, 口感酸甜适中, 并且随着果实的成熟, 香气越发浓郁, 但常温货架期较短^[1]。目前, 关于香红梨的研究主要在品种选育和栽培管理技术方面, 未见有关其采后生理、保鲜技术等方面的研究报道。

1-MCP 是一种乙烯抑制剂, 它通过与乙烯受体优先发生不可逆结合, 阻碍乙烯发挥反馈调节作用, 达到延缓果实后熟衰老, 提高贮藏品质的目的^[2-3]。1-MCP 对多种水果的贮藏保鲜都具有良好效果^[4]。呼吸强度和乙烯释放速率是果实采后贮藏评价常用的生理指标, 果实香气是果实的品质指标之一, 果实气味能刺激消费者的嗅觉、增进食欲, 从而引起消费者的购买欲望。以往由于认识水平和分析手段的限制, 人们对果实香气品质的关注较少, 近年来随着分析技术的发展, 果实的香气品质成为了关注的热点。研究报道 1-MCP 处理会影响梨^[5-6]、苹果^[7]、猕猴桃^[8]、蓝莓^[9]等果实香气生成。

果实的品质指标多样且变化规律复杂, 依赖传统的检测方法无法快速、准确的反映贮藏过程中果实的新鲜度及品质状态。电子鼻是一种针对挥发性物质的快速、无损检测技术^[10], 利用电子鼻检能够更加快速、便捷、实时的掌握贮藏过程中果实品质的状况。同时借助主成分分析 (principal components analysis, PCA)、线性判别分析 (linear discriminant analysis, LDA) 及载荷分析 (Loading) 等方法, 将不同传感器输出的数据进行降维处理, 体现不同样品的共性和特性, 实现对不同产地、品种、成熟度及保鲜处理的水果进行区分^[11-15], 已有研究利用电子鼻技术分析梨果实在采后贮藏过程中的香气和品质变化情况^[15-20]。‘香红’梨属于西洋梨系统, 在后熟软化过程中会产生浓郁的香气, 但对该品种后熟过程中挥发性气体变化规律的研究还未见相关报道。

本文利用电子鼻检测技术对‘香红’梨后熟过程中的挥发性成分进行分析, 考察了 1-MCP 保鲜处理对‘香红’梨贮藏期间挥发性气体组分和相对含量的影响, 同时探究了果实挥发性气体变化与呼吸、乙烯的关系, 以期对‘香红’梨采后贮藏保鲜技术及其风味品质评价提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

‘香红’梨 于商业采收期 (2019 年 8 月 21 日, 盛花后 145 d) 采自主产区河北省秦皇岛市昌黎县, 采收后立即运回河北省农林科学院遗传生理研究所实验室, 果实在室内释放田间热后, 次日进行处理, 挑选大小均一、无机械损伤、无病虫害的果实为试验用果。1-MCP 美国 Smart Fresh 公司。

HWF-1A CO₂ 红外分析仪 江苏金坛市科析仪器有限公司生产; GC9790II B 气相色谱仪 浙江福立色谱仪器有限公司生产; PEN3 型便携式电子鼻 德国 Airsense 公司生产。

1.2 实验方法

1.2.1 实验处理 将所有处理的梨果随机分为 1-MCP 组和对照组 (CK), 两组梨果分别置于 PE 膜密封袋中, 室温 (25 °C) 下密闭处理 24 h, 其中 1-MCP 组按照 1.0 μL·L⁻¹ 剂量处理, 对照组用空气密封。处理结束后取出梨果, 将各处理果实分为三组, 每组 7 个果实, 将果实放于容积为 7.536 L 的密封罐中, 置于 20 °C 室温下进行后熟。于第 0、2、4、6、8、10 d 将密封罐封口, 密封 0.5 h 后测定呼吸强度, 密封 2 h 后利用电子鼻测定果实挥发性气体, 密封 5 h 后测定乙烯释放速率。测定期间不打开密封罐, 测定完毕后打开密封罐。

1.2.2 呼吸强度的测定 采用红外分析法测定 CO₂ 呼吸强度^[21]。果实密封 0.5 h 后, 用注射器吸取罐中气体 10 mL, 注入 HWF-1A CO₂ 红外分析仪进行测定, 单位为 mg·CO₂·(kg·FW·h)⁻¹。

1.2.3 乙烯释放速率的测定 采用气相色谱仪法测定乙烯释放速率^[3]。果实密封 5 h 后, 用注射器吸取罐中气体 1 mL, 注入 GC9790 II B 气相色谱仪进行测定, 单位为 μL·kg⁻¹·h⁻¹。色谱柱: SUPPORT GDX-502 2 mm × 2 m, 3 mm。乙烯分析条件: 柱箱温度 90 °C, 气化室温度 140 °C, 氢火焰离子检测器 (FID) 温度 200 °C。载气为氦气 (He), 燃气为氢气 (H₂), 助燃气为混合空气 (Mixed air), 气体流量分别为 40 mL·min⁻¹ (0.04 MPa), 40 mL·min⁻¹ (0.04 MPa), 30 mL·min⁻¹ (0.04 MPa)。

1.2.4 电子鼻分析 果实密封 2 h 后, 用 PEN3 型电子鼻进行测定。电子鼻检测条件: 清洗时间 100 s, 校零时间 5 s, 测试时间 150 s, 室流量 400 mL·min⁻¹, 进样流量 400 mL·min⁻¹, 取稳定状态 145~147 s 的数据进行分析^[12-15]。PEN3 型电子鼻的 10 个传感器敏感物质说明见表 1^[22], 各传感器信号响应情况见图 1。

1.3 数据处理

采用 Excel 2016 软件进行数值统计和计算, 使用 SPSS 22.0 统计软件, 采用 Duncan 法进行显著性检验 ($P < 0.05$ 为差异显著); 利用 SigmaPlot 14.0 进行绘图, PCA 分析用 minitab 19 软件进行数据处理和绘图, LDA 分析用 SPSS 22.0 软件进行数据处理和绘图, Loading 分析用电子鼻 Winmuster 软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 1-MCP 对‘香红’梨呼吸强度与乙烯释放速率影响

果实采后呼吸强度和乙烯释放的变化情况影响

表1 PEN3 型电子鼻各传感器的响应特性

Table 1 Response characteristics of sensors in electronic nose PEN3

编号	名称	传感器响应特性
1	W1C	对芳香族化合物敏感
2	W5S	对氮氧化合物敏感
3	W3C	对氨类、芳香族化合物敏感
4	W6S	对氢气敏感
5	W5C	对烷烃、芳香族化合物敏感
6	W1S	对甲烷敏感
7	W1W	对硫化物和萜烯类敏感
8	W2S	对醇类和部分芳香族化合物敏感
9	W2W	对有机硫化物和芳香族化合物敏感
10	W3S	对烷烃敏感

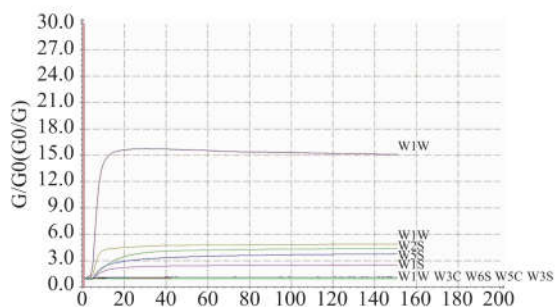


图1 电子鼻响应值信号图
Fig.1 Responsive signal of each sensors for 'Xianghong' pears

着果实的贮藏寿命、品质变化和抗病能力。降低果实呼吸强度和乙烯释放量并延迟高峰出现时间,有利于保持果实品质、延长贮藏时间、提高果实的商品价值。由图2可知,贮藏期内1-MCP处理组果实的呼吸强度均显著低于CK组($P < 0.05$),CK组果实的呼吸强度在贮藏期8 d时出现峰值。贮藏期间1-MCP处理组果实的乙烯释放速率均显著低于CK组($P < 0.05$);CK组果实的乙烯释放速率在贮藏6 d时出现明显的跃变高峰,1-MCP处理组果实的乙烯释放速率在贮藏8 d内没显著性变化,在10 d出现明显上升。呼吸作用是果实进行代谢活动的关键生理活动,呼吸旺盛会使其营养物质迅速消耗,加速果实衰老。乙烯是一种加速果实成熟与衰老的植物内源激素,1-MCP阻碍乙烯与其受体蛋白发生不可逆结合,影响乙烯发挥反馈调节作用,进而减少乙烯大量生成,延缓果实后熟衰老^[2-3]。本研究结果表明,1-MCP处理能降低‘香红’梨采后贮藏过程中的呼吸强度和乙烯释放速率,延缓果实的成熟与衰老。这与前人在大果水晶梨^[2]、雪花梨^[3]和京白梨^[23]等其他梨品种中的研究结果一致。

2.2 电子鼻检测‘香红’梨挥发性气体变化的PCA分析

将贮藏期CK组与1-MCP处理组果实挥发性气体变化进行PCA分析,其目的是将电子鼻输出数据降维成两个不存在信息交叉的新指标,使得原本复杂并可能存在相互影响的数据变得简单明了,性质

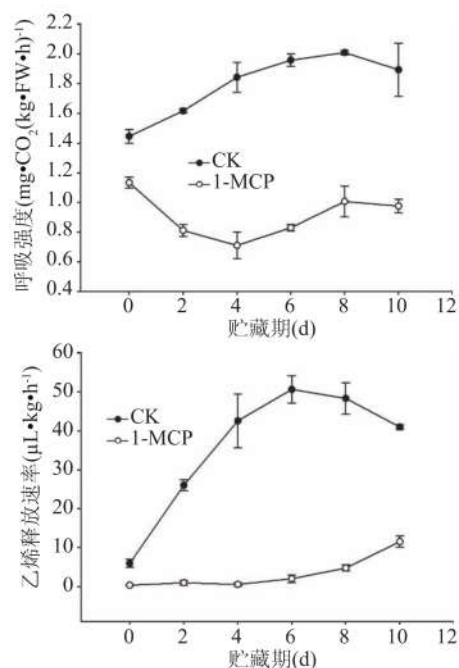


图2 贮藏期内香红梨的呼吸强度与乙烯释放速率的变化
Fig.2 Changes in respiration intensity and ethylene release rate of 'Xianghong' pears during storage
注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

相似的样品在距离上会很接近。CK组PCA分析的主成分1(PC1)和主成分2(PC2)的贡献率分别为87.41%和10.19%,总贡献率为97.60%,说明PC1和PC2包含了主要的样品信息。此时,在PC1上可以分为两个区域,0、2、4、10 d的分布区域接近,其PC1特征值比较小,而6、8 d的分布区域接近,其PC1特征值比较大,说明在贮藏前期果实的挥发性气体接近,随着果实的成熟,其挥发性气体会越发复杂和浓郁,挥发性气体出现了较大变化。10 d的分布区域未沿着PC1正向继续变化,而是接近0、2、4 d的区域。这可能是由于在贮藏后期随着果实逐渐衰老,其挥发性气体减少,导致贮藏后期与前期的果实挥发性气体较相似。

1-MCP处理组PCA分析的PC1和PC2的贡献率分别为68.18%、20.41%,总贡献率为96.85%,说明分析结果包含了主要的样品信息。0、2、6、8 d时1-MCP处理组在PC1上的交叉程度比CK组大,说明此阶段1-MCP处理组的果实挥发性气体相似,这可能是与1-MCP处理能减少贮藏期间‘香红’梨的挥发性气体生成有关系。但是,4、10 d果实挥发性气体的分布区域偏离其他时间点,这可能由于4 d时果实的呼吸强度和乙烯释放速率均较低,挥发性气体开始释放较少,而10 d时1-MCP处理果实的乙烯释放速率增加导致果实挥发性气体开始释放引起。

2.3 电子鼻检测‘香红’梨挥发性气体变化的LDA分析

如图4所示,CK组LDA分析的第一线性判别因子(LD1)和第二线性判别因子(LD2)的贡献率分别为64.20%和20.80%,总贡献率为85.00%。贮藏期内只有6、8 d的挥发性气体分布区域发生重叠,说明

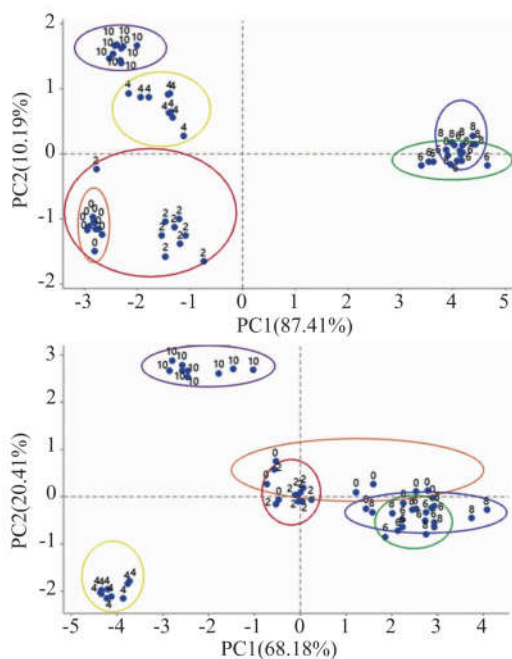


图3 香红梨挥发性气体变化的 PCA 分析

Fig.3 PCA analysis of volatile gas in 'Xianghong' pears

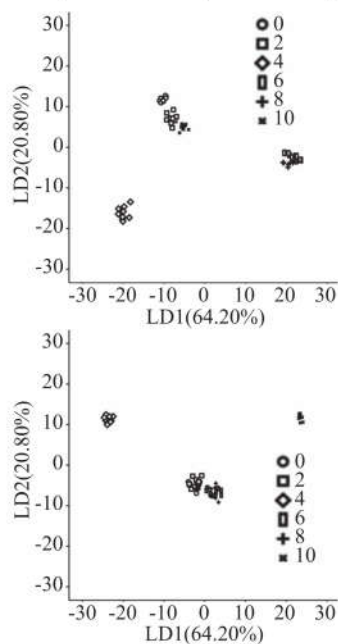


图4 香红梨挥发性气体变化的 LDA 分析

Fig.4 LDA analysis of volatile gas in 'Xianghong' pears

‘香红’梨在贮藏 6、8 d 时的挥发性气体相似,而 0、2、10 d 的果实挥发性气体的分布区域接近,这与 PCA 分析结果一致。

1-MCP 处理组 LDA 分析的 LD1 和 LD2 的贡献率分别为 67.50%、23.80%,总贡献率为 91.30%。贮藏期间 0、2、6、8 d 的果实挥发性气体的分布区域发生重叠或者是距离接近,说明 1-MCP 处理组在贮藏前期和中期时,挥发性气体相似。4、10 d 时果实挥发性气体的分布区域未与其他时期发生交叉或重叠,并且在坐标轴上 4、10 d 的分布区域的距离变化较大。

贮藏期 4 d 时不同处理‘香红’梨的果实挥发性气体的分布区域均出现了较大变化。CK 组果实挥发性

气体的分布区域较贮藏前期的变化主要表现在向 LD2 负向偏移,而 1-MCP 处理组果实挥发性气体的分布区域较贮藏前期的变化主要表现在向 LD1 负向偏移。

LDA 分析以采集挥发性成分响应值的空间分布状态及彼此间的投影距离表现气味变化的速率^[24],它能保证投影后的样本在空间中有最小的类内距离和最大的类间距离,以达到最佳的分异性^[25]。从 LDA 分析图形上看,同一样品的测试数据比 PCA 分析更加集中,对于具有挥发性气体差异的果实而言,LDA 分析有更好的区分能力。这与薛友林等^[24]在蓝莓中的研究结果一致。徐赛等^[26]在研究采收时间对不同保鲜环境荔枝耐贮藏能力的影响时,认为利用 LDA 分析方法证明,在不同贮藏环境下 B2 荔枝储藏时间的识别效果优于 B1 荔枝。

2.4 ‘香红’梨挥发性气体的 Loading 分析

对‘香红’梨的果实挥发性气体进行 Loading 分析表明,Loading 分析的第一、第二主成分贡献率分别达到 99.75%、0.13%,总贡献率为 99.88% (图 5),说明分析结果包含了主要的样品信息。传感器 W5S、W2W 和 W2S 与原点的距离最远,其他传感器不仅与原点的距离较近,并且在位置上存在重叠,说明 W5S、W2W 和 W2S 这三个传感器对区别 CK 组和 1-MCP 组的挥发性气体发挥了关键作用。

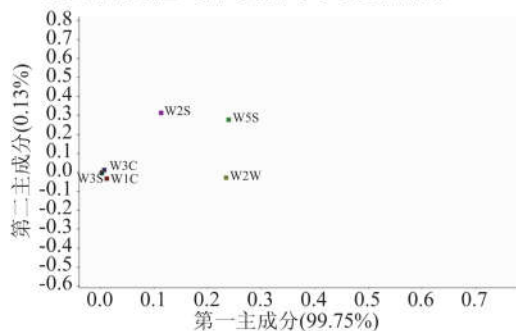


图5 香红梨挥发性气体变化的 Loading 分析

Fig.5 Loading analysis of volatile gas in 'Xianghong' pears

电子鼻分析可以反映果实的后熟进程。贮藏期间不同处理果实挥发性气体的 W5S、W2W 和 W2S 传感器信号响应值变化情况如图 6 所示。CK 组果实挥发性气体的传感器信号响应值在贮藏期间呈现先升高后降低的变化趋势,而 1-MCP 组果实的传感器信号响应值变化波动较小。这与乙烯释放速率的变化规律(图 2)相似,CK 组果实伴随乙烯释放速率高峰(6 d)的出现,挥发性气体响应值明显升高;在贮藏 6、8 d 时,氮氧化物(W5S)、有机硫化物和芳香族化合物(W2W)、醇类和部分芳香族化合物(W2S)这三类物质明显增多;之后在 10 d 时降低。1-MCP 组果实乙烯释放速率始终较低,果实的挥发性气体响应值也始终保持在较低水平,尤其是对氮氧化物(W5S)、有机硫化物和芳香族化合物(W2W)、醇类和部分芳香族化合物(W2S)三类物质的影响较大。Simona B^[27]等在不同桃品种中发现果实乙烯释放和挥发性气体的变化规律一致。董萍等^[28]发现南果梨香气成分的释放与果实后熟过程有很大关系,总体上呈现先升高后降低的趋势,其中

1-MCP处理虽延长了果实的贮藏期但使果实香气成分的种类减少了27.8%。

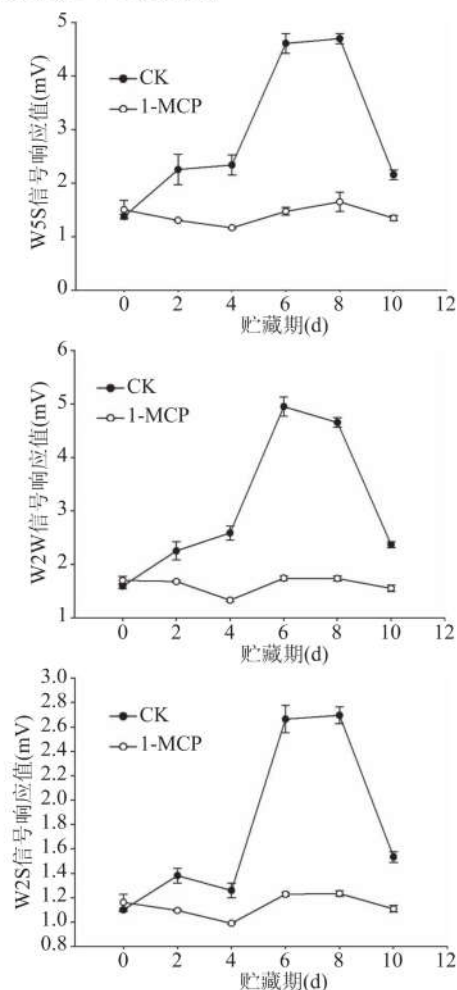


图6 贮藏期间香红梨挥发性气体的传感器信号响应值变化情况

Fig.6 Changes of sensors signal response value of volatile gas in 'Xianghong' pears during storage

果实中挥发性气体能通过脂肪酸、氨基酸、甲羟戊酸、甲基赤藓糖醇等代谢途径产生^[29]。1-MCP处理‘香红’梨降低了果实后熟过程中的乙烯释放速率和呼吸强度,使得果实消耗储存的能量代谢产物如ATP、NADPH等,而这些正是合成脂肪酸所必须的物质,脂肪酸合成代谢通路受阻使得果实挥发性气体的合成与释放受到抑制。电子鼻检测未能具体明确挥发性成分的种类,所以后续研究还可利用气相色谱法-质谱法联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术对果实挥发性气体进行定量定性分析,并探究其变化规律。

3 结论

1-MCP处理明显降低‘香红’梨贮藏期间的呼吸强度和乙烯释放速率,减少氮氧化合物(W5S)、有机硫化物和芳香族化合物(W2W)、醇类和部分芳香族化合物(W2S)这三类挥发性物质的生成。与PCA分析相比,LDA分析可以更好地对不同后熟阶段果实的挥发性气体进行区分。电子鼻分析表明,1-MCP处理延缓了‘香红’梨果实的后熟进程。

参考文献

- [1] 乐文全,张海娥,刘金利,等.红梨新品种‘香红梨’的选育[J].果树学报,2016,33(7):891-894.
- [2] 迟君德,王然,杨绍兰,等.1-MCP对大果水晶梨冷藏效果的影响[J].北方园艺,2010(14):174-176.
- [3] 关军锋,牛京京,王燕霞,等.1-MCP对‘雪花’梨冷藏后货架期间品质和生理的影响[J].现代食品科技,2016,32(3):197-203.
- [4] 胡筱,潘浪,丁胜华,等.1-MCP作用机理及其在果蔬贮藏保鲜中的应用研究进展[J].食品工业科技,2019,40(8):304-309,316.
- [5] 杜林笑,赵晓敏,杨洋,等.1-MCP处理对库尔勒香梨采后储存期香气成分和品质的影响[J].现代食品科技,2018,34(7):134-142,133.
- [6] 杨玉荣,赵晓敏,李芸,等.1-MCP处理对采后库尔勒香梨货架期品质及生理的影响[J].食品科技,2015,40(5):37-41.
- [7] 王宝春,顿敏华,王学喜,等.1-MCP处理对冷藏期间花牛苹果香气成分和果实品质的影响[J].食品工业科技,2017,38(7):331-339.
- [8] 杨丹,曾凯芳.1-MCP处理对冷藏‘红阳’猕猴桃果实香气成分的影响[J].食品科学,2012,33(8):323-329.
- [9] 刘虹丽,张鹏,李春媛,等.贮藏微环境气调对蓝莓货架品质及香气成分的影响[J].保鲜与加工,2017,17(2):38-46.
- [10] 刘妍,周新奇,俞晓峰,等.无损检测技术在果蔬品质检测中的应用研究进展[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2020,46(1):27-37.
- [11] 丁庆行,赵东杰,刘军,等.电子鼻在苹果检测中应用的研究进展[J].传感器技术与应用,2018,6(2):41-49.
- [12] 曾辉,刘璇,吴昕烨,等.基于电子鼻技术的不同苹果品种香气的表征与识别[J].食品与发酵工业,2016,42(4):197-203.
- [13] Defilippi B G, Juan W S, Valdés H, et al. The aroma development during storage of Castlebrite apricots as evaluated by gas chromatography, electronic nose, and sensory analysis[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 51(2):212-219.
- [14] Lebrun M, Plotto A, Goodner K, et al. Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 48(1):122-131.
- [15] 赵策,马飒飒,张磊,等.基于电子鼻技术的皇冠梨腐败等级分类研究[J].食品工业科技,2020,41(3):246-250,258.
- [16] 纪淑娟,张丽萍,卜庆庆,等.基于电子鼻技术对冷藏后南果梨货架期间气味的变化分析[J].食品科学,2012,33(7):123-126.
- [17] 罗剑毅,王俊,徐亚丹,等.基于电子鼻雪青梨贮藏期检测的实验研究[J].科技通报,2007,23(3):378-381.
- [18] 李国鹏,贾惠娟,李红旭,等.利用电子鼻对不同梨品种进行区分的初步研究[J].浙江农业学报,2011,23(5):1029-1033.
- [19] 赵梦田,杜佳苏,黄洁,等.基于电子鼻的库尔勒香梨品质区分方法研究[J].中国食品学报,2014,14(3):225-228.

(下转第281页)

生理的影响[J].浙江农业学报,2017,19(7):1201-1207.

[2] Jiang T J, Feng L F, Wang Y B. Effect of alginate/nano-Ag coating on microbial and physicochemical characteristics of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) during cold storage[J]. Food Chemistry, 2013, 141(2): 954-960.

[3] 何雨婷, 郭艳明, 张林玉, 等. 低功率微波处理对香菇采后生理及品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 338-341.

[4] 金玮玲, 高虹, 范秀芝, 等. 气调包装技术在食用菌保鲜中的研究进展[J]. 保鲜与加工, 2017, 17(6): 126-131.

[5] 刘燕, 卢立新. 香菇气调保鲜包装工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2007(11): 155-158.

[6] 王丹, 杜晓东, 李巧玲, 等. 梨自发气调保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2016, 16(5): 125-129.

[7] 朱继英, 王相友, 王娟. 气调贮藏对双孢蘑菇细胞超微结构的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(S1): 78-81.

[8] 张璇, 古荣鑫, 胡花丽, 等. 高二氧化碳结合低氧处理对杏鲍菇细胞壁的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(5): 193-199.

[9] 李铁华. 硅窗气调包装延长茶树菇贮藏期的工艺及机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007: 104-105.

[10] 曹健康, 姜微波, 赵玉梅, 等. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.

[11] 杨新美. 食用菌研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.

[12] 曹健康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化试验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.

[13] Gao M S, Feng L F, Jiang T J. Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment[J]. Food Chemistry, 2014, 149: 107-113.

[14] 王羽, 云雪艳, 张晓燕, 等. EHA/PE 高阻隔复合膜对鲜切茼蒿保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(22): 308-312.

[15] 张洪军, 潘艳娟, 王建清, 等. 大蒜/肉桂精油复配 PE 膜对双孢菇的保鲜研究[J]. 包装与食品机械, 2015, 33(4):

21-25.

[16] 曾丽萍, 樊爱萍, 杨桃花, 等. PLA/TiO₂ 纳米复合膜对香菇保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(16): 225-228, 246.

[17] 姜天甲. 主要食用菌采后品质劣变机理及调控技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.

[18] 戚向阳, 周婷婷, 曹少谦. 不同强度脉冲强光对鲜香菇保鲜效果的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(3): 287-293.

[19] 于珂, 李文香. 不同通透性保鲜膜对香菇保鲜效果的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(11): 142-145.

[20] 叶静君, 励建荣, 韩晓祥, 等. 香菇低温贮藏中不同部位的生理生化变化[J]. 中国食品学报, 2012, 12(3): 137-144.

[21] Techavuthiporn C, Nakano K, Maezawa S. Prediction of ascorbic acid content in broccoli using a model equation of respiration[J]. Postharvest Biology & Technology, 2008, 47(3): 373-381.

[22] 王莉梅, 扈宁轩, 张新, 等. PBAT/EVOH 气调薄膜对香菇的保鲜效果评价[J]. 食品与机械, 2019, 35(7): 162-167.

[23] 姜天甲, 陆仙英, 蒋振晖. 短波紫外线处理对香菇采后品质的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 108-112.

[24] 韩春然, 鲁焱兴, 黄赫雁. 两种包装材料结合氢气保鲜对香菇品质的影响[J]. 包装工程, 2019, 40(11): 52-57.

[25] 李静, 李霞, 陈翠松, 等. GABA 处理对双孢蘑菇活性氧代谢和膜脂过氧化的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(03): 275-280.

[26] Ketsa S, Aatantee S. Phenolics, lignin, peroxidase activity and increased firmness of damaged pericarp of mangosteen fruit after impact[J]. Postharvest Biology and Technology, 1998, 14, 117-124.

[27] 周向军, 杨金龙, 路宛如. 茼蒿多酚氧化酶、过氧化物酶的特性及抑制作用研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 166-170, 174.

[28] 李京赞, 刘玉德, 石文天, 等. 植物果蔬的褐变及抑制的研究[J]. 包装与食品机械, 2019, 37(1): 63-68.

[29] 李静, 李顺峰, 刘丽娜, 等. γ -氨基丁酸对双孢蘑菇贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 273-278.

(上接第 275 页)

[20] 李国鹏, 贾惠娟, 王强, 等. 油红梨 (*Pyrus ussuriensis*) 果实后熟过程中香气成分的变化[J]. 果树学报, 2012, 29(1): 11-16.

[21] Larrigaudière C, Vilaplana R, Soria Y, et al. Oxidative behaviour of Blanquilla pears treated with 1-methylcyclopropane during cold storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(14): 1871-1877.

[22] 赵宁, 魏新元, 樊明涛, 等. SPME-GC-MS 结合电子鼻技术分析不同品种猕猴桃酒香气物质[J]. 食品科学, 2019, 40(22): 249-255.

[23] Dong Y, Liu L Q, Zhang Y Y, et al. Effects of 1-MCP on softening, yellowing and H₂O₂ content in post-harvest 'Jingbaili' pear fruit during and after cold storage[J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2014, 55(5): 404-409.

[24] 薛友林, 董立超, 张鹏, 等. 电子鼻结合 GC-MS 分析不同

处理蓝莓货架期间果实的挥发性成分[J/OL]. [2020-08-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.ts.20200413.1848.008.html>.

[25] 谢群辉, 陈松灿. 极速非线性判别分析网络[J]. 数据采集与处理, 2018, 33(3): 446-454.

[26] 徐赛, 杨慧, 陈岩, 等. 采收时间对不同保鲜环境荔枝耐贮藏能力的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(8): 36-43.

[27] Simona B, Susanna B, Anna S, et al. Electronic nose as a non-destructive tool to characterise peach cultivars and to monitor their ripening stage during shelf-life[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 47(2): 181-188.

[28] 董萍, 辛广, 张博, 等. 1-MCP 处理对南果梨 20℃ 贮藏期间香气成分的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(22): 477-479.

[29] 刘俊灵. 苹果新品种“瑞雪”果实挥发性香气物质分析及其遗传特性初探[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.