

姜毅, 饶泽洲, 刘佳, 等. 1-MCP 对无花果采后贮藏品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(15): 276–282. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020090284

JIANG Yi, RAO Zezhou, LIU Jia, et al. Effect of 1-MCP Treatment on Postharvest Storage Quality of Fig Fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(15): 276–282. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020090284

· 贮运保鲜 ·

1-MCP 对无花果采后贮藏品质的影响

姜毅, 饶泽洲, 刘佳, 奚裕婷, 陆肖燕, 周佳怡, 刘正庆, 肖红梅*
(南京农业大学食品科技学院, 江苏南京 210095)

摘要: 以‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’无花果为试材, 研究 1-MCP ($1.5 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) 处理对低温货架期 ($(2\pm 1)^\circ\text{C}$ 、RH90%~100%) 果实色差、硬度、失重率、可滴定酸、可溶性固形物、呼吸强度的影响, 并利用气相色谱—质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 技术分析了 1-MCP 处理前后果实挥发性物质含量和种类的变化。结果表明: 1-MCP 熏蒸处理有效保持了果实鲜亮的色泽, 延缓果实硬度、可滴定酸和可溶性固形物的下降, 1-MCP 处理对两品种失重率的抑制效果无显著差异, 对‘玛斯义陶芬’具有更为明显的呼吸高峰延迟作用。新鲜的‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’无花果分别检测到 4 类 18 种和 5 类 35 种挥发性物质。醛类是两个品种无花果主要的挥发性物质, 1-MCP 处理显著地刺激了‘布兰瑞克’中己醛、2-己烯醛、庚醛和苯乙醛等醛类物质的生成, 促进了‘玛斯义陶芬’中己醛、2-己烯醛、壬醛的生成。

关键词: 无花果, 1-MCP, 贮藏品质, 挥发性物质

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)15-0276-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020090284

Effect of 1-MCP Treatment on Postharvest Storage Quality of Fig Fruit

JIANG Yi, RAO Zezhou, LIU Jia, XI Yuting, LU Xiaoyan, ZHOU Jiayi, LIU Zhengqing, XIAO Hongmei*

(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: With the experimental material of ‘Branswick’ and ‘Masiyitaofen’ fig, the effects of 1-MCP ($1.5 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) treatment on fruit color, hardness, weight loss rate, titratable acid, total soluble solid and respiratory intensity of fig fruit during shelf life at $(2\pm 1)^\circ\text{C}$ (RH 90%~100%) were studied. In addition, the effects of 1-MCP on relative content and type of volatile components of postharvest fig were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Compared with the control group, 1-MCP fumigation treatment effectively maintained bright color of fruit peel, delayed the decrease of hardness of fruits, titratable acid and total soluble solid. The 1-MCP treatment had no significant difference in the inhibition effect on weight loss rate of the two varieties, but had a more obvious delayed effect on the respiratory peak of ‘Masitovine’. Fresh ‘Branswick’ and ‘Masiyitaofen’ fruits were respectively detected eighteen volatile compounds categorized into four different chemical classes, and thirty-five compounds into five classes. Aldehydes were the main volatile compounds in two varieties of figs. After fumigation of 1-MCP, the production of aldehydes including hexanal, 2-hexenal, heptaldehyde, and phenylacetaldehyde of ‘Branswick’ and hexanal, 2-hexenal and nonanal of ‘Masiyitaofen’ fig fruits were significantly stimulated.

Key words: fig; 1-methylcyclopropene(1-MCP); storage quality; volatile components

无花果 (*Ficus carica* L.) 质软皮薄, 口感细腻甘甜, 含有丰富的粗纤维、蛋白质、铜、锌、锰、钙、镁、磷、钾等营养成分以及多糖、总黄酮、补骨脂素等活性物质, 是一种富含营养且具有较高商业价值的药食

同源果品^[1-2]。无花果属于对乙烯较为敏感的典型呼吸跃变型果实^[1], 成熟无花果特有的皮薄多汁、呼吸代谢旺盛的自然特性和成熟后天然开孔的果目结构, 导致其采后极不耐贮藏, 严重降低了果实贮藏品质。

收稿日期: 2020-09-27

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程资助项目; 南京市科技计划项目 (201805035); 南京农业大学 SRT 项目 (202018XX01)。

作者简介: 姜毅 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: 2019108050@njau.edu.cn。

* 通信作者: 肖红梅 (1970-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: xhm@njau.edu.cn。

低温贮藏是保持无花果品质最有效的方法之一^[2]。但由于无花果具有季节性、地域性和易腐性等特点,采用单一的低温贮藏方式果实一般只可贮藏 7~10 d^[3]。1-甲基环丙烯(1-Methylcyclopropene, 1-MCP)通过抑制果蔬中乙烯与受体的结合,可以改变乙烯的正常代谢活动,从而引起果蔬呼吸、成熟、品质等多方面的变化^[4-5],对呼吸跃变型果实具有更为显著的贮藏保鲜效果^[2]。1-MCP 处理对油桃^[6]、苹果^[7]、猕猴桃^[8]、甜瓜^[9]、梨^[10]等都具有良好的贮藏保鲜效果。吕真真等^[6]研究发现,1-MCP 结合低温对油桃果实的贮藏效果最好。王云香等^[11]发现 1-MCP 处理对苹果不同品质指标的影响因品种而异。二氧化氯处理、二氧化硫熏蒸、臭氧处理、氯化钙处理等是常用的无花果贮藏保鲜方法^[12-14]。但由于无花果特殊的果目结构,二氧化硫熏蒸和二氧化氯、氯化钙等水溶液浸泡处理的方法更易造成化学药剂残留和果实品质的降低^[14-17]。严圆等^[17]等研究发现, O₃ 处理降低了‘玛斯义陶芬’冷藏期果实的 V_C 含量。综合考虑贮藏效果、经济效益和贮藏方法操作的简便性,本研究探究了 1-MCP 熏蒸对无花果采后贮藏品质的影响。虽然较多研究报道无花果的采后贮藏保鲜效果,但是关于 1-MCP 对不同品种无花果采后品质影响的研究未有报道。

本研究以‘玛斯义陶芬’和‘布兰瑞克’无花果为研究对象,通过测定其在低温贮藏期间果实品质指标的变化,探究 1-MCP 对无花果的保鲜效果。前期工作筛选出 1-MCP 处理无花果的最佳浓度是 1.5 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$,本研究在此基础上进一步探究 1-MCP 熏蒸处理对低温贮藏期无花果品质的影响,为 1-MCP 提高无花果贮藏性提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

无花果果实(*Ficus carica* L.),品种为‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’晴天的清晨 采自江苏省南京市无花果园,选取无病虫害、无机械损伤、无腐烂的新鲜八成成熟无花果,采后 2 h 内运回实验室。

HP-2136 便携式色差仪 上海皖夫光电科技有限公司; WYT-4 型手持糖量仪 北京万行吉利经贸有限公司; GY-3 硬度计 杭州托普仪器有限公司; GL-21MC 高速冷冻离心机 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司; Telaire7001 气体分析仪 北京宝云兴业科贸有限公司; 7890A-5975C MSD 气质联用仪

美国 Agilent 公司; BSA124-CW 电子天平 德国赛多利斯有限公司;冷库 南京吉良制冷设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 分别随机选用‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’无花果果实作为对照组和处理组,处理组用 1.5 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 1-MCP 常温((20±2)℃、RH45%~55%)熏蒸处理 24 h,熏蒸结束时,通风 1 h 后在(2±1)℃、RH90%~100%下贮藏,以未经 1-MCP 处理的作为对照组。测定熏蒸前后无花果果实挥发性物质的变

化,每隔 4 d 测定果实冷藏期间品质指标。各处理设置三个平行,每平行 80 个果实,设置 2 次重复。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 色差 采用 Si-Eun 等^[18]的方法并稍作修改。分别选取靠近果实果柄区域(约占整个果实面积的 2/3)、果目区域(约占整个果实面积的 1/3)的 3 个点测定果皮的 L^* 、 a^* 、 b^* 值,每组测定 15 个果实, L^* 值代表亮度, a^* 值代表红绿, b^* 值代表黄蓝。

1.2.2.2 硬度 利用硬度计测定,每组随机选取 10 个果实,均匀选取果实赤道部位 3 点作为测定点。

1.2.2.3 失重率 采用称重法测定。

1.2.2.4 可溶性固形物含量 采用手持糖量仪测定。

1.2.2.5 可滴定酸含量 采用 NaOH 滴定法测定^[19]。

1.2.2.6 呼吸强度 采用气体分析仪测定,每次称取 200 g 左右样品,准确记录样品重量,将样品放在密闭玻璃缸中 30 min 后进行测定,读数并记录,结果以 $\text{CO}_2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 表示,重复测定 3 次。

1.2.2.7 挥发性物质 参照 Oliveira 等^[20]的方法稍作修改。顶空固相微萃取:将无花果果皮和果肉切碎后立即用液氮研磨,置于-80℃下。取 5 g 样品于 20 mL 顶空瓶中,并加入 1.5 mL 饱和食盐水,溶解混匀后,用带有聚四氟乙烯隔垫盖子密封于 60℃下水浴平衡 15 min,使用 65 μm CAR/PDMS 萃取头顶空吸附 45 min 后,将萃取头插入 GC 进样口,解析 5 min。采用气质联用仪,进行 GC-MS 检测。GC 条件:使用的毛管柱型号为 HP-5MS(30 m×250 μm ×0.25 μm);载气(He)流量为 1 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$;升温程序:起始温度 38℃,保持 3 min,以 4℃· min^{-1} 升至 130℃,再以 10℃· min^{-1} 升至 220℃,进样口温度 250℃,不分流进样;MS 条件:离子源温度:230℃;电离方式:EI;电子能量:70 eV;质量范围:35~550 $\text{AMU}\cdot\text{s}^{-1}$;发射电流:100 μA 。

结果运用计算机谱库(NIST/WILEY)进行初步检索,再结合文献进行人工谱图解析,从而确定香气物质的各个化学成分,利用面积归一化法计算各组分相对含量,采用 Excel、SIMCA-P 软件对香气数据进行整理、比较分析。

1.3 数据处理

采用 Excel 2016 软件进行统计分析,使用 SAS 软件的 Duncan 多重比较检验进行差异显著分析。

2 结果与分析

2.1 1-MCP 处理对无花果果实色泽影响

在贮藏期间,无花果果皮颜色的变化与其品质的优劣有着密切的关系,是影响消费者购买意愿的重要因素。如图 1A 所示,贮藏期间两品种无花果果皮光泽不断变暗;‘布兰瑞克’的果皮亮度显著高于‘玛斯义陶芬’($P<0.05$);1-MCP 处理组的 L^* 值下降幅度小于对照组。如图 1B 所示,‘玛斯义陶芬’的 a^* 值普遍高于‘布兰瑞克’;经过 1-MCP 处理的‘布兰瑞克’ a^* 值缓慢上升;贮藏 5~13 d 时,‘玛斯义陶芬’经 1-MCP

的果实 a^* 值显著高于对照组果实 ($P < 0.05$), 说明 1-MCP 处理可以使‘玛斯义陶芬’果皮红色加深, 而延缓‘布兰瑞克’绿度下降。如图 1C 所示, 贮藏期间两品种果实的 b^* 值均呈缓慢下降的趋势, 1-MCP 处理组果皮 b^* 值高于对照组。孙锐等^[21] 的研究表明, ‘布兰瑞克’在成熟过程中 b^* 值降低, 果皮黄色变淡。本结果表明‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’果皮的黄色均变淡。

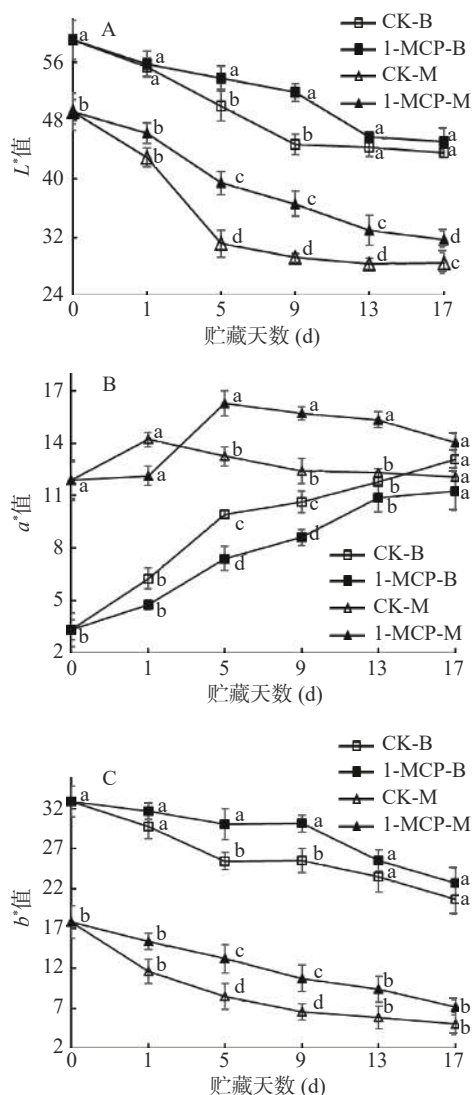


图 1 1-MCP 对‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’无花果 L^* 值(A)、 a^* 值(B)、 b^* 值(C)的影响

Fig.1 Effects of 1-MCP on L^* value(A), a^* value(B) and b^* value(C) of ‘Branswick’ and ‘Masiyitaofen’ fig fruit.

注: 不同字母表示各处理间差异显著 ($P < 0.05$); ‘布兰瑞克’对照组记为 CK-B, ‘玛斯义陶芬’对照组记为 CK-M; ‘布兰瑞克’1-MCP 处理组记为 1-MCP-B, ‘玛斯义陶芬’1-MCP 处理组记为 1-MCP-M; 图 2~图 6 同。

2.2 1-MCP 处理对无花果果实硬度影响

硬度可以评价果实成熟或后熟的软化程度。由图 2 可知, 两品种无花果果实在低温贮藏过程中逐渐变软, 在贮藏第 5 d 后果实的硬度下降幅度逐渐变缓, 且对照组果实的硬度均显著低于同一时期下 1-MCP 处理组 ($P < 0.05$)。经 1-MCP 处理的两品种无花果贮藏 17 d 时的果实硬度与对照组贮藏第 5 d 时的果实硬度相近。吕真真等^[6] 研究发现, 1-MCP 结

合低温能够显著地降低油桃果实硬度的下降。本研究结果表明, 1-MCP 处理能够明显延缓无花果低温冷藏前期(贮藏第 1~9 d)果实硬度的下降。

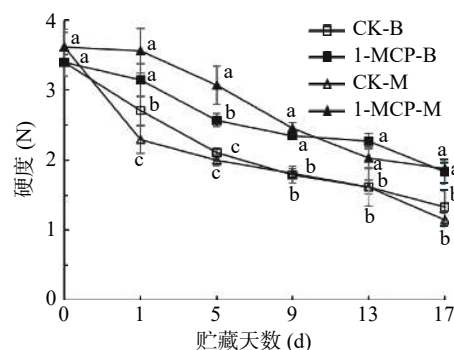


图 2 1-MCP 对‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’无花果硬度的影响

Fig.2 Effects of 1-MCP on firmness of ‘Branswick’ and ‘Masiyitaofen’ fig fruit.

2.3 1-MCP 处理对无花果果实失重率影响

无花果贮藏期间由于水分蒸发、呼吸消耗和病害腐烂等因素会造成果实失重, 失重率是评价果实贮藏品质的重要指标之一。如图 3 所示, 两品种果实失重率均随着贮藏时间延长而不断增加。贮藏 13 d 时, ‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’对照组果实失重率为 13.5%、12.5%, 此时果实失水和软烂情况严重, 经过 1-MCP 处理的两品种果实在贮藏 17 d 时失重率分别为 9.8% 和 11.3%, 果实失去商品价值。张龙等^[7] 研究表明, 1-MCP 处理明显降低了果实贮藏过程中的质量损失。本研究结果显示, 1-MCP 处理能够很好地抑制无花果失重率的上升, 但抑制作用在两个品种之间无显著差异。

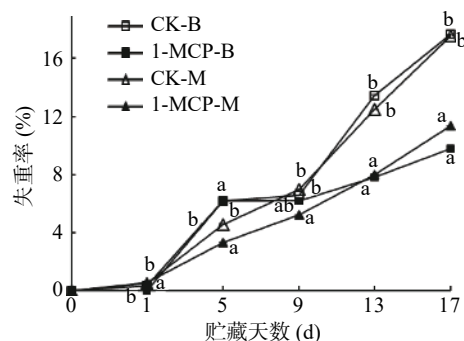


图 3 1-MCP 对‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’无花果失重率的影响

Fig.3 Effects of 1-MCP on weight loss rate of ‘Branswick’ and ‘Masiyitaofen’ fig fruit

2.4 1-MCP 处理对无花果果实可溶性固形物 (TSS) 影响

TSS 能够直接反映果实的成熟程度和品质状况, 是评价果实耐贮性和口感的重要指标。由图 4 可知, 两品种无花果的 TSS 含量在贮藏期间均呈现先上升后下降的趋势, 经过 1-MCP 处理和未经处理的对照组‘布兰瑞克’果实的 TSS 含量都显著高于同一时期下相同处理的‘玛斯义陶芬’ ($P < 0.05$)。贮藏 5 d

时两品种对照组果实 TSS 含量到达峰值, 1-MCP 处理组果实的 TSS 含量均在贮藏第 9 d 时到达峰值, 分别是对照组果实 TSS 含量峰值的 1.07、1.14 倍。马加春等^[22]对无花果的研究发现, 1-MCP 延缓了无花果贮藏过程中 TSS 含量的下降, 减少了果实营养物质的流失。本研究结果表明, ‘布兰瑞克’在口感上比‘玛斯义陶芬’更甜, 1-MCP 有效推迟了两品种无花果 TSS 峰值出现的时间, 延缓 TSS 含量的下降, 维持了果实良好的风味。

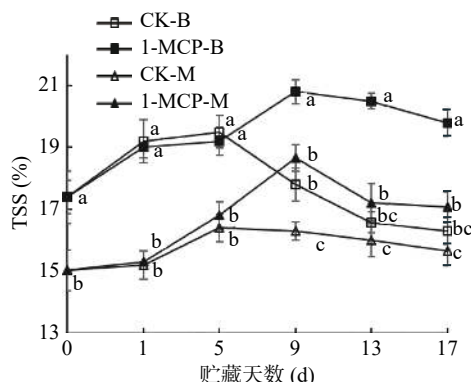


图 4 1-MCP 对‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’无花果可溶性固形物的影响

Fig.4 Effects of 1-MCP on TSS of ‘Branswick’ and ‘Masiyitaofen’ fig fruit

2.5 1-MCP 处理对无花果果实可滴定酸 (TA) 含量影响

TA 含量对果实的糖酸比、风味和贮藏性具有重要的影响。由图 5 可知, 贮藏期间‘玛斯义陶芬’果实的 TA 含量显著高于‘布兰瑞克’($P<0.05$)。相对于‘布兰瑞克’, ‘玛斯义陶芬’果实风味偏酸。在贮藏 5 d 之后, 果实的 TA 含量在各组之间呈现出显著性差异, 1-MCP 显著地延缓了两个品种无花果果实 TA 含量的下降($P<0.05$), 维持果实良好的风味品质。1-MCP 对果实 TA 含量下降的延缓作用在‘玛斯义陶芬’上更为明显。张晓娜^[23]研究结果同样表明, 1-MCP 可减少果实 TA 的损失。

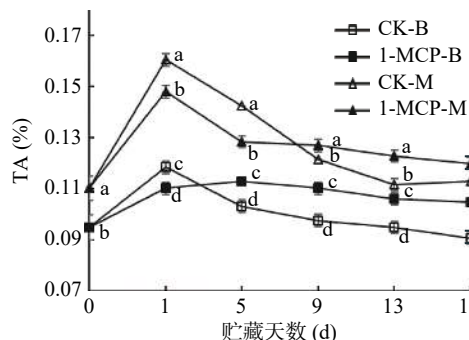


图 5 1-MCP 对‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’无花果可滴定酸含量的影响

Fig.5 Effects of 1-MCP on TA content of ‘Branswick’ and ‘Masiyitaofen’ fig fruit

2.6 1-MCP 处理对无花果果实呼吸强度的影响

呼吸作用会消耗果实体内的有机物, 降低果实

的品质和耐贮性。如图 6 可知, ‘布兰瑞克’对照组和 1-MCP 处理组果实的呼吸强度在贮藏期间呈先上升后下降的趋势, 且分别在贮藏 9 d 和 13 d 时呼吸达到峰值, 1-MCP 处理组呼吸高峰出现时间较对照组明显被推迟, 且峰值较对照组低 15.4%。未经 1-MCP 处理的‘玛斯义陶芬’在贮藏 5 d 时出现呼吸峰值, 1-MCP 处理组果实呼吸高峰出现时间(贮藏 13 d 时)延后, 且峰值较对照组低 12.7%。申文赞等^[24]在‘布兰瑞克’上的研究发现, 1-MCP 能够降低无花果的呼吸速率。韩璐等^[1]对无花果的研究发现, 1-MCP 处理能够降低无花果果实的呼吸速率, 推迟呼吸高峰的出现。本研究结果表明, 1-MCP 处理抑制了两品种无花果果实的呼吸强度, 延迟果实呼吸高峰出现的时间, 且对‘玛斯义陶芬’呼吸高峰的延迟作用更为明显。

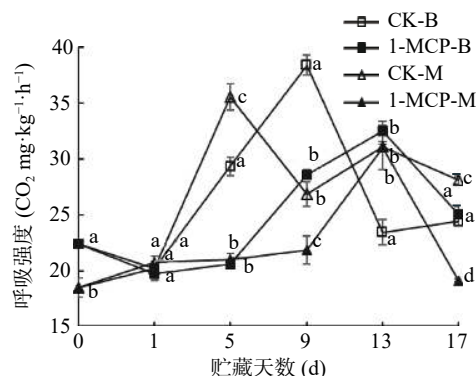


图 6 1-MCP 对‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’无花果呼吸强度的影响

Fig.6 Effects of 1-MCP on respiration intensity of ‘Branswick’ and ‘Masiyitaofen’ fig fruit

2.7 1-MCP 熏蒸前后无花果挥发性物质的影响

由表 1 可知, ‘布兰瑞克’无花果共检测出 18 种挥发性物质, 包括醛类物质 8 种, 烯类物质 4 种, 酚类、酮类物质各 1 种, 以及杂环类物质 4 种。其中, 醛类是‘布兰瑞克’挥发性物质的主要成分, 以苯甲醛、己醛、2-己烯醛、壬醛为代表。1-MCP 处理组醛类物质各组分的相对含量普遍高于 CK 组, 其中己醛、2-己烯醛、庚醛、苯乙醛的相对含量 1-MCP 处理组显著高于新鲜无花果和 CK 组($P<0.05$), 说明乙烯可能对‘布兰瑞克’中醛类物质合成的影响较小。烯类挥发性物质是第二主要成分, 1-MCP 处理抑制了‘布兰瑞克’烯类挥发性物质的生成。2,4-壬二烯、 α -古芸烯只在新鲜‘布兰瑞克’果实中检出; 适量的乙烯调节可促使 2,4-二烯醛、苯乙烯的合成。

相较于‘布兰瑞克’无花果, ‘玛斯义陶芬’挥发性物质种类更为丰富, 包括 9 种醛类物质, 9 种烯类物质, 8 种醇类物质, 酚类、酸类物质各 1 种, 2 种酮类物质, 以及 5 种杂环类物质, 共计 35 种挥发性物质。苯甲醛、壬醛、己醛、苯甲醇为代表的醛醇类物质是‘玛斯义陶芬’挥发性物质的主要组分。己醛、2-己烯醛、苯甲醛、壬醛等醛类物质组分是‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’的共有成分, 但其相对含量在‘布兰瑞克’中较高, 且 1-MCP 处理对‘布兰瑞克’醛类物质生

表 1 1-MCP 熏蒸处理对‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’无花果果实挥发性物质的影响

Table 1 Effects of fumigation treatments of 1-MCP on volatile components of “Branswick” and “Masiyataofen” fig fruit

品种	种类	编号	挥发性物质	相对含量(%)		
				新鲜无花果	CK组	处理组
布兰瑞克	醛类	1	己醛	11.01±0.23 ^a	11.04±0.84 ^b	14.73±0.53 ^c
		2	2-己烯醛	7.19±0.52 ^a	6.79±0.16 ^a	15.60±2.02 ^b
		3	庚醛	2.40±0.24 ^a	2.84±0.18 ^a	3.48±0.30 ^b
		4	苯甲醛	44.81±1.13 ^a	41.26±0.95 ^b	40.09±3.78 ^b
		5	苯乙醛	1.32±0.13 ^a	1.58±0.12 ^a	2.45±0.40 ^b
		6	壬醛	22.68±3.78 ^a	10.28±0.97 ^b	11.11±0.91 ^b
		7	癸醛	1.95±0.06 ^a	—	2.15±0.60 ^a
		8	2,4-二烯醛	—	1.95±0.12 ^a	2.76±0.24 ^b
	烯类	共计		91.36	75.74	92.37
		9	苯乙烯	—	16.80±2.64 ^a	3.68±0.61 ^b
		10	2,4-壬二烯	0.54±0.10 ^a	—	—
		11	α -人参烯	—	0.84±0.13 ^a	—
		12	α -古芸烯	0.77±0.07 ^a	—	—
	酮类	共计		1.31	17.64	3.68
		13	1-苝酮	0.93±0.30 ^a	1.96±0.28 ^b	1.53±0.29 ^b
	酚类	共计		0.93	1.96	1.53
		14	苯酚	—	1.54±0.33 ^a	0.51±0.04 ^b
	杂环类	共计		0.00	1.54	0.51
		15	对二氯苯	—	2.14±0.22 ^a	—
		16	间二甲苯	2.35±1.39 ^a	—	—
		17	2-戊基呋喃	1.77±0.17 ^a	—	1.90±0.06 ^a
		18	萘	0.87±0.15 ^a	0.96±0.12 ^a	—
		共计		4.99	0.96	1.90
	总计			98.59	97.84	99.99
玛斯义陶芬	醛类	1	2-乙基丙烯醛	1.45±0.19 ^a	—	—
		2	己醛	4.92±0.44 ^a	5.17±0.34 ^a	5.5±0.58 ^b
		3	2-己烯醛	0.93±0.29 ^a	0.89±0.30 ^a	2.66±0.71 ^b
		4	庚醛	2.02±0.03 ^a	2.03±0.14 ^a	1.82±0.10 ^a
		5	苯甲醛	46.52±0.53 ^a	51.35±8.96 ^b	49.05±1.14 ^c
		6	苯乙醛	0.83±0.15 ^a	0.72±0.02 ^a	0.75±0.13 ^a
		7	壬醛	6.98±0.79 ^a	6.61±1.10 ^a	5.16±0.63 ^b
		8	反式庚二烯醛	—	0.75±0.03 ^a	0.86±0.06 ^a
		9	(E,E)-2,4-壬二烯醛	0.46±0.09 ^a	—	—
	醇类	共计		64.11	67.52	65.8
		10	6-庚烯-1-醇	0.79±0.04 ^a	—	—
		11	3-乙基-4-甲基戊醇	3.74±0.34 ^a	—	7.61±0.72 ^b
		12	异辛醇	1.28±0.19 ^a	—	—
		13	苯甲醇	11.30±1.22 ^a	8.02±1.06 ^b	8.20±1.02 ^b
		14	苯乙醇	0.79±0.01 ^a	—	—
		15	1-己醇	—	2.72±0.18 ^a	1.33±0.12 ^b
		16	DL-6-甲基-5-庚烯-2-醇	—	0.62±0.02 ^a	—
		17	2H-吡喃-3-醇	—	0.71±0.17 ^a	—
	烯类	共计		17.90	12.07	17.14
		18	3,7,7-三甲基二环[4.1.0]庚-3-烯	8.00±0.74 ^a	—	—
		19	苯乙烯	—	5.69±0.45 ^a	1.30±0.07 ^b
		20	1-石竹烯	0.56±0.02 ^a	0.41±0.16 ^a	0.86±0.09 ^a
		21	1-人参烯	—	0.57±0.10 ^a	0.43±0.06 ^a
		22	环己烯	1.03±0.08 ^a	—	—
		23	1,5,5-三甲基-6-亚甲基环己烯	2.96±0.15 ^a	—	1.86±0.16 ^b
		24	2,6-辛二烯	—	1.88±0.22 ^a	1.98±0.58 ^a
		25	3-萜烯	—	4.41±0.15 ^a	5.50±0.44 ^b
		26	4-萜烯	—	—	5.50±0.44 ^a

续表 1

品种	种类	编号	挥发性物质	相对含量(%)		
				新鲜无花果	CK组	处理组
玛斯义陶芬	酚类	共计		4.55	12.96	17.43
		27	苯酚	—	0.19±0.03 ^a	—
		共计		0.00	0.19	0.00
	酸类	28	壬酸	—	—	0.19±0.08 ^a
		共计		0.00	0.00	0.19
		29	双环[2.2.1]庚烷-2-酮	0.58±0.05 ^a	0.88±0.05 ^b	0.57±0.09 ^a
	酮类	30	7H-呋喃并[3,2-G][1]苯并吡喃-7-酮	0.70±0.19 ^a	—	—
		共计		1.28	0.88	0.57
		31	对二甲苯	—	3.26±0.18 ^a	1.04±0.08 ^b
	杂环类	32	间二甲苯	0.63±0.14 ^a	—	—
		33	对二氯苯	2.52±0.06 ^a	3.10±0.18 ^b	2.36±0.12 ^a
		34	萘	—	—	0.20±0.02 ^a
		35	1,1,4a-三甲基-5,6-二亚甲基十氢化萘	0.94±0.05 ^a	—	—
		共计		4.09	6.36	3.60
		总计		91.93	99.98	104.54

注: 同行不同字母表示差异显著($P<0.05$); “—”代表该物质未检出。

成的促进作用更为明显, 1-MCP 处理显著抑制了‘玛斯义陶芬’苯甲醛和壬醛的生成($P<0.05$)。醇类是‘玛斯义陶芬’的第二主成分, 在‘布兰瑞克’中未检测到醇类物质。挥发性物质的含量和种类会影响果实的整体香气, ‘玛斯义陶芬’1-MCP 处理组果实新增了以苯乙烯为代表的 4 种烯类物质和以苯甲醇为代表的 8 种醇类物质, 其中含量较高的苯甲醇赋予果实一种特殊的“绿苹果香味”, 苯乙醇具有玫瑰花香, 苯乙烯具有清甜味, 3-萜烯、4-萜烯则具有松木香气, Grison 等^[25]的实验也有类似结果。‘玛斯义陶芬’中的第三大挥发性物质烯类组分种类比‘布兰瑞克’更为丰富, 苯乙烯是两者的共有成分, 且 1-MCP 处理对两品种苯乙烯的生成都起到了抑制的作用。

由图 7(A, B) 知, 1-MCP 明显影响了‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’无花果的香气成分变化。图 8A 中, 第一主成分醛类可解释 48% 的变量, 第二主成分烯类可解释 40.3% 的变量, 结合两图(7A、8A)可知, 1-MCP 明显刺激了‘布兰瑞克’无花果香气中己醛、2-己烯醛、庚醛、苯乙醛的生成, 抑制了苯酚、苯乙烯的合成。图 8B 中, 第一、二主成分醛类和醇类可分别解释 59.0%、29.6% 的变量, 结合两图(7B、8B)可知, 1-MCP 处理明显地抑制了无花果挥发性物质中 DL-6-甲基-5-庚烯-2-醇、2H-吡喃-3-醇、苯乙烯、1-己醇、1-人参烯、3-萜烯、苯酚的生成, 促进了壬酸、2-己烯醛、和 1-石竹烯的合成。

无花果香气的主要特征成分包括乙酸丁酯、乙酸异戊酯、3-羟基-2-丁酮、苯甲醛等^[20,25], Trad 等^[26]发现 Bouhouli 无花果香气中以酯类物质为主, 以乙酸丁酯为代表; Oliveira 等^[20]发现乙酸乙酯是无花果香气的主要成分; Villalobo 等^[27]也发现无花果中种类及含量较多的酯类物质。但本试验结果表明苯甲醛、壬醛和己醛等醛类物质是‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’香气的主要成分, 并未检出酯类成分, 推测这种差异产生的原因可能是本研究所用无花果成熟度低,

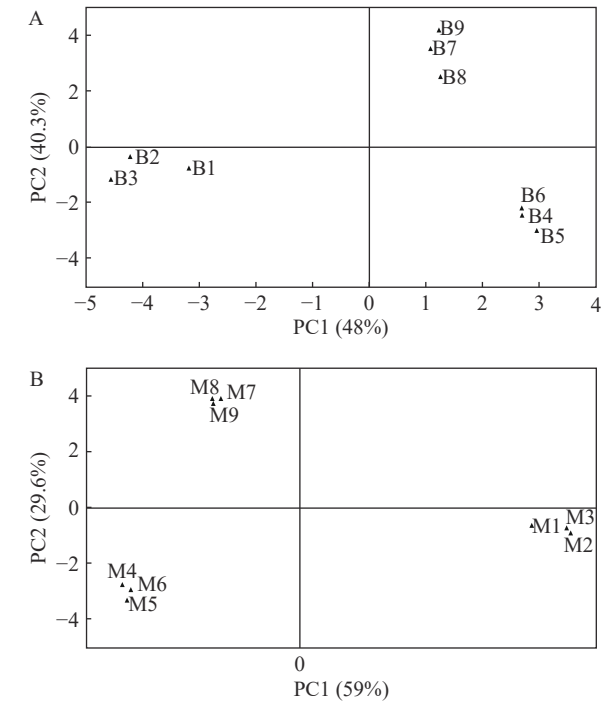


图 7 ‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’无花果果实样品得分图
Fig.7 Sample scores of volatile compounds of ‘Branswick’ and ‘Masiyataofen’ fig fruit

注: B1、B2、B3 为‘布兰瑞克’新鲜无花果样品, B4、B5、B6 为‘布兰瑞克’CK 组, B7、B8、B9 为‘布兰瑞克’1-MCP 处理组; M1、M2、M3 为‘玛斯义陶芬’新鲜无花果样品, M4、M5、M6 为‘玛斯义陶芬’CK 组, M7、M8、M9 为‘玛斯义陶芬’1-MCP 处理组。

而香气中酯类物质的形成主要发生在果实发育的后期^[10]。另外, 1-MCP 处理对果实一些挥发性物质的生成有一定抑制作用^[27]。

3 结论

通过对 1-MCP 处理‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’的贮藏品质进行探究, 结果表明, 1-MCP 处理对不同贮藏品质指标的影响存在一定的品种差异, 其中, 1-

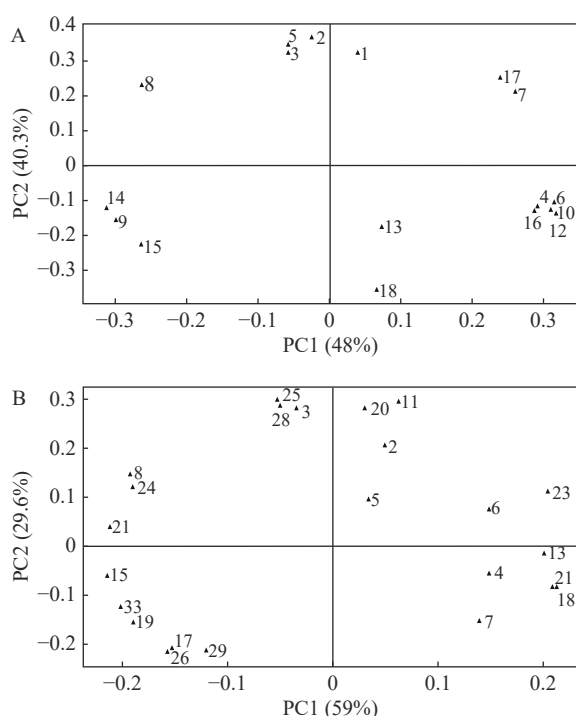


图8 ‘布兰瑞克’和‘玛斯义陶芬’无花果果实挥发性物质在主成分上的载荷图

Fig.8 Volatile compounds in the principal components of the load diagram in “Branswick” and “Masiyitaofen” fig fruit

注: 图中序号对应表2中的编号。

MCP 处理使‘玛斯义陶芬’果实红色更加鲜亮, 使‘布兰瑞克’果实绿色缓慢褪去; 1-MCP 处理能够明显延缓无花果低温冷藏前期果实硬度的下降; 1-MCP 处理减缓了无花果失重率的上升, 但抑制效果在两个品种之间无显著差异; 1-MCP 有效地推迟了两品种无花果 TSS 峰值出现的时间, 显著地延缓了果实 TA 含量的下降; 1-MCP 处理明显降低了‘布兰瑞克’的呼吸强度, 对‘玛斯义陶芬’呼吸高峰的延迟作用更为明显; ‘玛斯义陶芬’挥发性物质的种类和数量多于‘布兰瑞克’, 1-MCP 处理促进了两个品种无花果挥发性物质醛类中的一些主要组分的生成, 且对‘布兰瑞克’果实的促进作用更为明显。

参考文献

- [1] 韩璐, 苑社强, 张晓娜, 等. 1-MCP 处理对无花果贮藏品质及采后生理的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(3): 339-341.
- [2] Ozkaya O, S Çömlekçioglu, H Demircioglu. Assessment of the potential of 1-methylcyclopropane treatments to maintain fruit quality of the common fig (*Ficus carica* L. cv. ‘Bursa Siyahi’) during Refrigerated Storage[J]. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2014, 42(2): 516-522.
- [3] 颜道民, 尹金晶, 唐晋文, 等. 鲜食无花果贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(9): 2462-2467.
- [4] Tessmer M A, Appezzato-da-glória B, Kluge R A. Evaluation of storage temperatures to astringency ‘Giombo’ persimmon: Storage at 1 °C combined with 1-MCP is recommended to alleviate chilling injury[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 257: 108675.
- [5] Blankenship S M, Dole J M. 1-Methylcyclopropane: A review[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, 28(1): 1-25.
- [6] 吕真真, 刘慧, 张春玲, 等. 1-甲基环丙烷和不同贮藏温度对

油桃果实硬度与细胞壁果胶的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 42(7): 317-323.

[7] 张龙, 江皓, 李利娟, 等. 1-MCP 处理对花红采后常温贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(21): 286-292.

[8] 徐冬颖, 张静, 姜爱丽, 等. 1-MCP 熏蒸处理对软枣猕猴桃的保鲜效果[J]. 包装工程, 2019, 40(11): 26-32.

[9] 邵青旭, 高湘荃, 时晓雪, 齐红岩. 低温贮藏对薄皮甜瓜果实风味品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2020, 51(1): 62-69.

[10] 纪淑娟, 卜庆状, 李江阔, 等. 1-MCP 处理对‘南果梨’冷藏后货架期果实香气的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(4): 656-660.

[11] 王云香, 张亚楠, 曲桂芹, 等. 1-MCP 处理对苹果采后常温贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(16): 280-285.

[12] 张雪丹, 安森, 张倩, 等. 无花果采后生理和贮藏保鲜研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(23): 363-369.

[13] Cantin C M, Palou L, Bremer V, et al. Evaluation of the use of sulfur dioxide to reduce postharvest losses on dark and green figs[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 59(2): 150-158.

[14] Irfan P K, Vanjakshi V, Prakash M N K, et al. Calcium chloride extends the keeping quality of fig fruit (*Ficus carica* L.) during storage and shelf-life[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 82: 70-75.

[15] 张冬梅, 杨震, 卫晓英, 等. 不同浓度二氧化氯对无花果流通过程中贮藏品质的影响[J]. 北方园艺, 2016(8): 127-130.

[16] 汪荷澄, 蒲云峰. 二氧化硫抗氧化能力及其在干果中的含量分析[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(2): 22-26.

[17] 严圆, 柳宇, 张云等. ‘玛斯义·陶芬’无花果冷藏期代谢特性及对不同保鲜处理的反应[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(17): 159-163.

[18] Si-Eun B, Jinwook L. Differential responses of fruit quality and major targeted metabolites in three different cultivars of cold-stored figs (*Ficus carica* L.)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 260: 108877.

[19] 全国食品工业标准化技术委员会. GB/T 12456-2008 食品中总酸的测定[S]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局; 中国国家标准化管理委员会, 2008: 12.

[20] Oliveira A P, Silva I R, Guedes de Pinho P, et al. Volatile profiling of *Ficus carica* varieties by HS-SPME and GC-IT-MS[J]. *Food Chemistry*, 2010, 123(2): 548-557.

[21] 孙锐, 孙蕾, 马金辉, 李静婷, 等. 不同成熟度无花果品质指标的变化分析[J]. 经济林研究, 2017, 35(2): 32-37.

[22] 马加春, 杨达, 李东立, 等. 功能集成包装在常温下无花果保鲜中的应用[J]. 食品科技, 2019, 44(2): 64-70.

[23] 张晓娜. 1-MCP 和臭氧处理对无花果贮藏生理及品质的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2011.

[24] 申文赞, 徐碧媛, 宋健坤, 等. 自发气调包装和 1-MCP 处理对无花果 (*Ficus carica* L.) 果实低温贮藏保鲜效果的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2019, 36(3): 164-170.

[25] Grison L, Edwards A A, Hossaert-mckey M. Interspecies variation in floral fragrances emitted by tropical *Ficus* species[J]. *Phytochemistry*, 1999, 52(7): 1293-1299.

[26] Trad M, Ginies C, Gaaliche B, et al. Does pollination affect aroma development in ripened fig (*Ficus carica* L.) fruit[J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 134: 93-99.

[27] Villalobos M D C, Serradilla M J, Martín a, et al. Use of equilibrium modified atmosphere packaging for preservation of ‘San Antonio’ and ‘Banane’ breba crops (*Ficus carica* L.)[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 98: 14-22.