

CO₂伤害对软枣猕猴桃风味品质的影响

张鹏, 陈曦冉, 贾晓昱, 李江阔

Effects of CO₂ Injury on the Flavor Quality of *Actinidia arguta*

ZHANG Peng, CHEN Xiran, JIA Xiaoyu, and LI Jiangkuo

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022040343>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

不同品种软枣猕猴桃品质指标的主成分分析

Principal Component Analysis of Quality Indexes of Different Varieties of *Actinidia arguta*

食品工业科技. 2019, 40(5): 233-238 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.05.038>

软枣猕猴桃主要活性成分及药理活性研究进展

Research Progress on Main Active Constituents and Pharmacological Activities of *Actinidia arguta*

食品工业科技. 2019, 40(3): 333-338,344 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.03.053>

乙醇熏蒸处理对中华猕猴桃生理代谢及贮藏品质的影响

Effects of Ethanol Fumigation on Physiological Metabolism and Quality of *Actinidia*

食品工业科技. 2019, 40(23): 266-271 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.23.043>

响应面法优化复合型打瓜软枣猕猴桃格瓦斯饮料发酵条件

Optimization of Fermentation Conditions for a Complex Type of Seeding-watermelon Kiwi Fruit Kvass Beverage by Response Surface Method

食品工业科技. 2019, 40(6): 211-215 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.06.035>

1-MCP对无花果采后贮藏品质的影响

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

食品工业科技. 2021, 42(15): 276-282 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090284>

酵母及原料品种对猕猴桃酒挥发性成分的影响

Effects of Yeast and Raw Material Varieties on Volatile Components of Kiwifruit Wine

食品工业科技. 2019, 40(3): 216-223 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.03.034>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

张鹏, 陈曦冉, 贾晓昱, 等. CO₂ 伤害对软枣猕猴桃风味品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 378–386. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040343

ZHANG Peng, CHEN Xiran, JIA Xiaoyu, et al. Effects of CO₂ Injury on the Flavor Quality of *Actinidia arguta*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 378–386. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040343

· 贮运保鲜 ·

CO₂ 伤害对软枣猕猴桃风味品质的影响

张 鹏¹, 陈曦冉², 贾晓昱¹, 李江阔^{1*}

(1. 天津市农业科学院农产品保鲜与加工技术研究所, 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;
2. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866)

摘要: 为明确 CO₂ 伤害对软枣猕猴桃风味品质的影响, 本研究以“龙成二号”软枣猕猴桃为试材, 采用电子鼻和顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术, 以不粘贴气调元件为 CK 组, 粘贴气调元件为 TR 组(环境稳定时 O₂ 含量为 11.22%~15.55%, CO₂ 含量为 9.00%~11.93%), 研究软枣猕猴桃贮藏期间挥发性成分变化情况, 并测定了相关品质指标。结果表明: CK 组可以维持果肉翠绿的颜色, 保持果实新鲜的清香风味; TR 组加快果实叶绿素含量的下降使得末期果肉黄化严重, 贮藏 45 d 时表现出 CO₂ 伤害症状, 同时抑制 TSS 升高, 提高末期 TA 含量, 加速 V_C 的消耗; 此外, 通过电子鼻分析发现果实新鲜度拐点较 CK 组提前 15 d; 60 d 果实主要特征挥发性成分 2-己烯醛和己醛相对含量下降至检测线以下, 而乙醇相对含量达到 36.78%, 果实新鲜的青草风味消失, 发酵味异味明显, 风味发生较大改变。综上, TR 组引起果实 CO₂ 伤害, 降低营养品质, 破坏原有风味, 不利于维持软枣猕猴桃贮藏期品质。

关键词: 软枣猕猴桃, CO₂ 伤害, 贮藏品质, 挥发性成分

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)04-0378-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040343



本文网刊:

Effects of CO₂ Injury on the Flavor Quality of *Actinidia arguta*

ZHANG Peng¹, CHEN Xiran², JIA Xiaoyu¹, LI Jiangkuo^{1*}

(1. Institute of Agricultural Products Preservation and Processing Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, National Engineering and 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;
2. Food Science College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: In this study, "Longcheng No.2" *Actinidia arguta*, electronic nose, and headspace solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry were used to investigate the effects of CO₂ injury on the flavor quality of *Actinidia arguta*. The change of volatile components and related quality indexes were determined during storage, with the non-sticking controlled atmosphere element as CK group and the sticking controlled atmosphere element as TR group (the content of O₂ was 11.22%~15.55% and the content of CO₂ was 9.00%~11.93% in stable state). The results showed that CK treatment could maintain the green color of flesh and keep the fresh and fragrant flavor of fruit. TR treatment could accelerate the decrease of fruit chlorophyll content, the flesh yellow seriously at the end stage and showed symptoms of CO₂ injury after 45 d storage, at the same time inhibited the increase of TSS, increase the content of TA and accelerate the consumption of V_C. After 60 days, the main characteristics volatile components 2-hexenal and hexanal could not be detected. While the relative contents of ethanol were 36.78%, with the obvious fermentation flavor and the disappearance of the fresh grass flavor of the fruit. In conclusion, TR treatment could cause CO₂ injury, reduce nutritional quality, destroy original flavor, and was not conducive to maintaining the quality of *Actinidia arguta* during storage.

收稿日期: 2022-04-28

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2022YFD1600504, 2018YFD0401303); 甘肃省科技计划重大项目(21ZD4NA016)。

作者简介: 张鹏(1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果蔬贮运保鲜与无损检测技术, E-mail: zhangpeng811202@163.com。

* 通信作者: 李江阔(1974-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品安全与果蔬贮运保鲜新技术, E-mail: lijkuo@sina.com。

Key words: *Actinidia arguta*; CO₂ injury; storage quality; volatile components

软枣猕猴桃(*Actinidia arguta*)又称软枣子、奇异莓,广泛分布于我国东北、华北、西北各地,以东北地区资源最为丰饶^[1]。其营养丰富、味美多汁、酸甜适口、香气浓郁,具有抗氧化、抗炎、降血糖等保健功效,倍受消费者的青睐^[2]。软枣猕猴桃上市集中、不耐贮运,易出现软化、酒化等不良现象,因此在延缓果实衰老的同时也需保持较好的果品风味。

自发气调包装(modified atmosphere package, MAP)作为一种方便且无毒的物理保鲜技术,可通过果实自身呼吸代谢,平衡贮藏环境中 CO₂ 和 O₂ 的浓度比例,进而抑制果实呼吸作用,减缓生理代谢速度,达到提高果实贮藏品质的目的^[3],此方法在李^[4]、翠香猕猴桃^[5]等果蔬中均证实有效。不同果实对 CO₂ 耐受程度不同,贮藏过程中若处理不当,形成不适宜的气体组分则会产生负面影响。O₂ 过低或 CO₂ 过高均会破坏果实品质,阻碍呼吸代谢,引起组织损伤,影响果品风味,最终丧失商品性。孙兴盛等^[6]发现在 16% O₂+3% CO₂ 的气调条件下软枣猕猴桃保鲜效果最好。冉昇等^[7]采用 0.05 mm 聚乙烯(polyethylene, PE)包装袋对“绿迷一号”软枣猕猴桃进行贮藏,环境稳定时测得 O₂ 含量在 5.68%~9.38% 之间波动,CO₂ 含量在 7.27%~11.78% 之间波动,结果表明 50 d 时果实发黄,膜脂过氧化加重,伴有较为严重的发酵气味,表现为 CO₂ 伤害症状。多项研究表明不适宜的贮藏环境会引起果蔬 CO₂ 伤害,缩短贮藏期,但对软枣猕猴桃风味品质的具体变化情况尚不明确。

风味作为果实品质的重要组成部分,其中挥发性气味尤其是香气物质的影响至关重要。目前,电子鼻结合顶空固相微萃取(head space solid-phase microextraction, HS-SPME)和气相色谱-质谱(gas chromatography mass spectrometry, GC-MS)分析技术广泛应用于桃^[8]、葡萄^[9]、香蕉^[10]等水果挥发性物质的检测。电子鼻作为一种有效的无损检测技术,通过模拟动物嗅觉系统,利用传感器的响应图谱识别样品香气物质,具有操作简便、准确性高、重复性好等优点;HS-SPME-GC-MS 作为检测挥发性成分的常用技术手段,可以在较短时间内完成样品的分离及定性定量分析,具有分辨率高、灵敏度强的优点,两种技术结合使用,可以相互验证和补充,提高检测的准确性。

本实验采用气调包装对软枣猕猴桃进行贮藏,TR 组为 CO₂ 伤害组,探究 CO₂ 伤害对果实挥发性成分及品质变化的影响,为软枣猕猴桃气体伤害风味研究提供依据,为快速监测和提前预警果蔬品质变化提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

“龙成二号”软枣猕猴桃 产自辽宁省丹东市,

采摘时间为 2020 年 9 月,挑选可溶性固形物含量在 6.5%~7.0% 之间,大小均一,无明显损伤的果实为试材。气调箱(箱体规格:28 cm×22 cm×12 cm,箱体两侧通风口规格:20 mm×15 mm,气调元件:PE 透气膜,厚度 0.02 mm) 宁波国嘉农产品保鲜包装技术有限公司;草酸、钼酸铵、偏磷酸、氯化钠、95% 乙醇 天津市大茂化学试剂厂;氢氧化钠、EDTA、冰乙酸、硫酸 天津市江天化工有限公司;以上试剂均为国产分析纯。

3-30K 型高速离心机 德国 Sigma 离心机有限公司; Synergy H1 型多功能微孔板检测酶标仪 美国伯腾仪器有限公司; HH-1 型恒温水浴锅 金坛市金南仪器制造有限公司; PAL-1 型便携式手持折光仪 日本爱宕公司; 916Ti-Touch 型电位滴定仪 瑞士万通中国有限公司; TA.XT.Plus 型物性仪 英国 SMS 公司; PEN3 型便携式电子鼻 德国 Airsens 公司; SPME Fiber 型固相微萃取手柄、50/30 μm PDMS/CAR/DVB 型固相微萃取纤维头 美国 Supleco 公司; Trace DSQ MS 型气相色谱-质谱联用仪 美国 Finnigan 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 处理方法 果实采摘后采用冷链物流车(0~4 ℃)12 h 内运回实验室,在冰温库(-0.8~-0.2 ℃)内充分预冷后分装为每箱约 2.2 kg,封盖贮藏 60 d,每 15 d 各拿出 3 箱果实测定相关指标;本实验设置 2 个处理,对照组(CK)不粘贴气调元件(以空气为对照,O₂ 含量:20.90%,CO₂ 含量:0.03%),伤害组(TR)粘贴气调元件,箱内气体含量稳定时 O₂ 含量为 11.22%~15.55%、CO₂ 含量为 9.00%~11.93%。

1.2.2 测定指标与方法

1.2.2.1 叶绿素含量的测定 参考李合生^[11]的方法制取叶绿素提取液,取 1.0 g 果实匀浆,加入 10 mL 95% 乙醇溶液,暗处提取 24 h 后,于波长 665 和 649 nm 下测定叶绿素含量。

$$C_1 = 13.95A_{665} - 6.88A_{649}$$

$$C_2 = 24.96A_{649} - 7.32A_{665}$$

$$\text{叶绿素含量(mg/g)} = \frac{(\text{浓度} \times \text{体积} \times \text{稀释倍数})}{\text{样品质量}}$$

式中: C₁、C₂ 分别为叶绿素 a、叶绿素 b 浓度(mg/L)。

1.2.2.2 可溶性固形物(total soluble solids, TSS)含量的测定 将果实匀浆通过 4 层纱布过滤,取 0.2 mL 滤液采用手持折光仪测定 TSS 含量。

1.2.2.3 可滴定酸(titrable acid, TA)含量的测定 取 20.0 g 果实匀浆加入蒸馏水定容至 250 mL,水浴加热 30 min 冷却至室温,脱脂棉过滤,取 20 mL 滤

液与 40 mL 蒸馏水混合,采用电位滴定仪^[12]测定 TA 含量。

1.2.2.4 维生素 C(vitamin C, V_C)含量的测定 采用钼蓝比色法^[13]测定 V_C 含量。

1.2.2.5 硬度的测定 软枣猕猴桃每个处理取 6 个(单果约重 25 g)果实采用物性仪测定硬度,探头型号 P/2,直径 2 mm,测试速度 2.00 mm/s,测定深度 10 mm,最小感知力 5 g。

1.2.2.6 挥发性成分的测定 电子鼻检测方法:选取 7 个大小均一的软枣猕猴桃(总重约 180 g)放入 500 mL 烧杯中用保鲜膜密封,在常温(18~22 ℃)下放置 5 min 后采用顶空吸气法进行电子鼻检测分析。检测条件为:样品测试时间 50 s,样品准备时间 5 s,自动调零时间 10 s,传感器清洗时间 220 s,内部流量 100 mL/min,进样流量 100 mL/min,选取检测过程中第 48~50 s 的 G/G₀ 值进行分析。电子鼻 10 个传感器名称以及响应成分见表 1。

表 1 电子鼻传感器名称与其响应成分
Table 1 Electronic nose sensors and their response to odorant compounds

序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香性成分敏感
2	W5S	对氮氧化物反应灵敏,尤其是对阴性氮氧化物感应更加灵敏
3	W3C	对氨类、芳香型化合物敏感,主要对氨水灵敏
4	W6S	主要对氢气敏感
5	W5C	对烷烃、芳香型化合物敏感,极性很小的化合物
6	W1S	主要对烃类敏感,灵敏度大
7	W1W	主要对硫化物敏感,对很多的萜烯类和有机硫化物也都很敏感
8	W2S	对醇类灵敏,对羰基也都有响应
9	W2W	对芳香成分和有机硫化物敏感
10	W3S	对烷烃敏感,对甲烷非常敏感

顶空固相微萃取(HS-SPME)和气相色谱-质谱分析(GC-MS)检测方法:软枣猕猴桃打浆离心 10 min (10000 r/min)后,取 8 mL 上清液和 2.5 g NaCl 于 15 mL 顶空瓶内,采用 Thermo Triplus RSH 自动进样装置进行固相微萃取及进样操作,选用 100 μm PDMS 萃取头;气相色谱条件:HP-INNOWAX 色谱柱(30 m×20.25 mm×0.25 μm);载气为 He,流速 1 mL/min,不分流;质谱条件:连接杆温度 280 ℃,电离方式为 EI,离子源温度 200 ℃,质量扫描范围 m/z 35~350;程序升温:40 ℃ 保留 3 min,然后以 4 ℃/min

升至 120 ℃ 保留 0 min,再以 5 ℃/min 至 210 ℃ 保留 5 min。传输线温度为 250 ℃。

1.3 数据处理

每个试验重复测定 3 次;采用 Excel 2010 进行数据汇总处理与分析、SPSS 19.0 进行差异显著性分析($P<0.05$ 表示差异显著);电子鼻数据使用 Winmuster 软件进行线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)和载荷分析(loading analysis, LA);香气成分结果通过 NIST/Wiley 标准谱库检索,根据保留时间结合文献的标准图谱,选择正反匹配度大于 800 的挥发性物质进行定性分析,并用峰面积归一法测算各化学成分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 CO₂ 伤害对软枣猕猴桃感官和叶绿素含量的影响

由图 1 可知,贮藏初期软枣猕猴桃果肉为绿色,质地均匀。CK 组 45 d 时部分果实出现软化现象,伴随着贮藏时间的延长,末期果实质地变得松散、果肉颜色加深、软果数量增加、软化程度加重;TR 组 45 d 时果肉颜色发生改变,60 d 时颜色转变发展到整个果实,出现较为典型的 CO₂ 气体伤害症状,张鹏等^[14]的研究表明在 CO₂ 含量为 4.3%~5.0% 时,“长江一号”软枣猕猴桃出现 CO₂ 伤害症状,与本研究现象相似。

叶绿素为软枣猕猴桃果实绿色的重要来源^[15],主要由叶绿素 a 和叶绿素 b 构成,果实衰老过程中叶绿素发生降解引起黄化。由图 2 可知,贮藏期间 TR 组软枣猕猴桃叶绿素含量表现为先升高再降低的趋势,贮藏 15 d 时 TR 组叶绿素含量较 CK 组高 4.17 mg/g,说明在短时间内环境中 CO₂ 浓度较高有利于保持果实色泽;随着时间的延长 CO₂ 伤害加重,果肉颜色发生改变,叶绿素含量出现下降,而 CK 组伴随着果实的成熟,叶绿素含量稍有升高;60 d 时 CK 组叶绿素含量显著($P<0.05$)高于 TR 组,此时 CK、TR 组叶绿素含量分别为 38.28、22.09 mg/g,CK 组含量为 TR 组的 1.73 倍。结合感官效果图(图 1)可知,TR 组可加速果实叶绿素分解转黄,果实颜色发生较大改变,贮藏后期丧失商品性。

2.2 CO₂ 伤害对软枣猕猴桃贮藏品质的影响

果实在成熟衰老过程中伴随着糖、酸及其他营养物质的合成与分解,其含量直接影响果实的风味和品质。可溶性固形物是衡量果蔬成熟度、品质及风味的重要指标之一。由表 2 可以看出,在贮藏期间

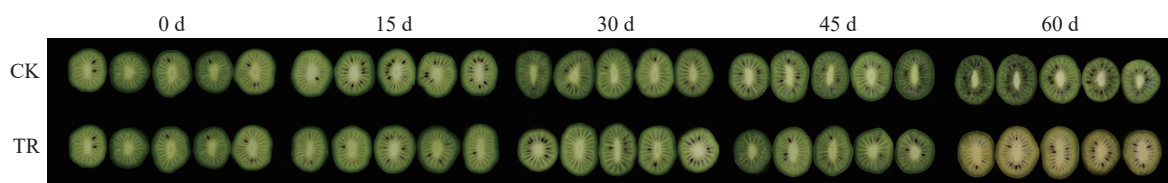


图 1 CO₂ 伤害对软枣猕猴桃的感官效果图

Fig.1 Sensory effect of CO₂ injury to *Actinidia arguta*

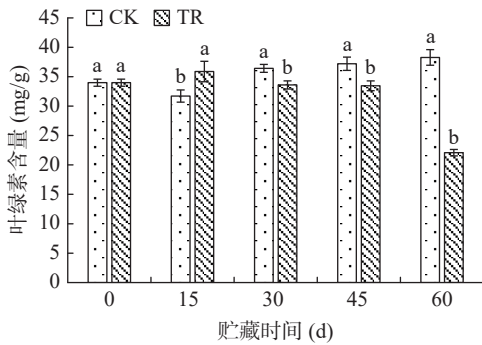


图 2 CO₂ 伤害对软枣猕猴桃叶绿素含量的影响

Fig.2 Effects of CO₂ injury on chlorophyll content of *Actinidia arguta*

注: 不同小写字母代表差异显著($P<0.05$)。

果实的 TSS 含量呈现先上升后下降的趋势, 贮藏初期含量为 6.88%, 60 d 时 CK、TR 组 TSS 含量分别为 13.27% 和 11.58%; CK 组末期 TSS 含量较高, 成熟速度较快, TR 组上升幅度较小, 说明 CO₂ 伤害可抑制果实 TSS 含量的升高, 阻碍可溶性糖的转化。

可滴定酸含量与果实的口感密切相关, 同时可以作为呼吸底物为生理活动提供能量^[16]。由表 2 可以看出, 软枣猕猴桃 TA 含量呈现下降趋势, 但贮藏 60 d 时 TR 组其含量稍有增加, 较 45 d 升高 0.03%, 可能是由于该组果实细胞 pH 下降引起的, 使测得的 TA 含量增加; 60 d 时 CK、TR 组较贮藏初期 TA 含量分别下降了 0.54%、0.29%, 下降幅度 CK 组

>TR 组。综上, CK 组 TA 含量消耗速度较快, TR 组则会引起 60 d 含量小幅度的升高, 可能对果品产生负面影响。

V_C 含量是衡量果实品质的常用指标之一, 其含量的变化可作为判断贮藏期品质的重要依据^[17]。贮藏 15 d 时 CK、TR 组 V_C 含量峰值分别为 90.72、89.39 mg/100 g, 伴随着贮藏时间的延长其含量开始下降, 末期各组含量分别下降至 36.84、30.66 mg/100 g, CK 组含量显著($P<0.05$)高于 TR 组, 说明 CO₂ 伤害加快果实 V_C 含量的下降。

软枣猕猴桃在成熟过程中发生软化, 硬度对其品质的影响十分重要。由表 2 可知, 初期果肉平均硬度较大, 伴随着贮藏时间的延长硬度持续下降; 60 d 时 CK 组软化现象最为明显, 果肉平均硬度仅为 72.89 g, 此时 TR 组为 93.72 g 较 CK 组高 20.83 g, 组间差异显著($P<0.05$)。TR 组可延缓果肉硬度的下降, 可能是因为软枣猕猴桃受到 CO₂ 伤害后代谢受阻造成的, 王杰等^[18]的研究也表明, 苹果在受到 CO₂ 伤害时果实硬度下降不明显。

2.3 CO₂ 伤害对软枣猕猴桃电子鼻检测分析

LDA 分析本质上是一种投影, 通过所采集的挥发性物质成分响应值在空间中的分布状态及彼此之间的距离来反应样品气味的变化速率^[19]。由图 3A 可知, LD1 的贡献率为 55.61%, LD2 的贡献率为 31.47%, 总贡献率为 87.08%, 基本可以代表样品信

表 2 CO₂ 伤害对软枣猕猴桃贮藏品质的影响

Table 2 Effects of CO₂ injury on storage quality of *Actinidia arguta*

指标	处理	贮藏时间(d)				
		0	15	30	45	60
TSS含量(%)	CK	6.88±0.48 ^a	10.08±0.04 ^b	11.75±0.05 ^b	13.58±0.08 ^a	13.27±0.14 ^a
	TR	6.88±0.48 ^a	12.28±0.08 ^a	11.98±0.13 ^a	12.93±0.58 ^b	11.58±0.08 ^b
TA含量(%)	CK	1.28±0.04 ^a	1.17±0.04 ^a	1.12±0.02 ^a	0.92±0.01 ^b	0.74±0.01 ^b
	TR	1.28±0.04 ^a	1.24±0.04 ^a	1.05±0.02 ^b	0.96±0.01 ^a	0.99±0.01 ^a
V _C 含量(mg/100 g)	CK	45.51±0.76 ^a	90.72±3.02 ^a	75.38±3.97 ^a	74.37±1.80 ^a	36.84±1.00 ^a
	TR	45.51±0.76 ^a	89.39±1.32 ^a	77.54±0.76 ^a	68.54±1.53 ^b	30.66±0.58 ^b
果肉平均硬度(g)	CK	256.71±19.37 ^a	188.97±21.88 ^a	114.28±6.18 ^a	108.91±4.17 ^b	72.89±6.31 ^b
	TR	256.71±19.37 ^a	180.70±6.43 ^a	125.47±8.84 ^a	118.83±1.45 ^a	93.72±10.24 ^a

注: 不同小写字母代表每一列各指标的显著性差异($P<0.05$)。

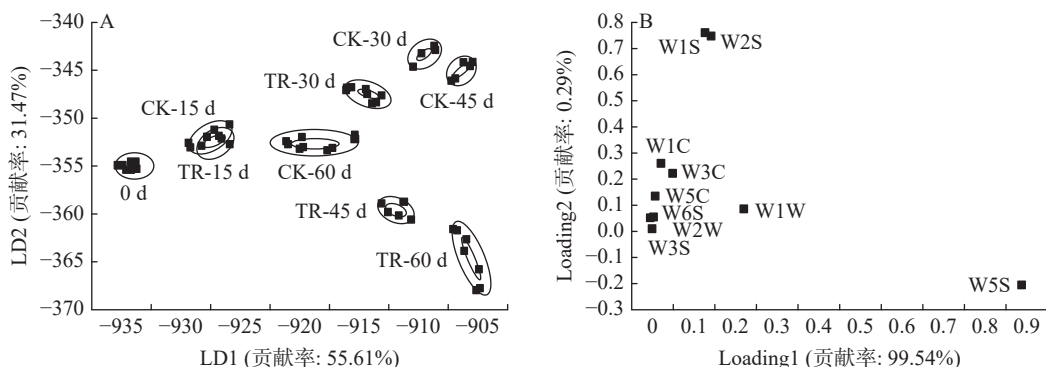


图 3 CO₂ 伤害软枣猕猴桃挥发成分线性判别分析(A)和载荷分析(B)

Fig.3 Linear discriminant analysis (A) and loading analysis (B) of volatile components of *Actinidia arguta* with CO₂ injury

息。从椭圆区域间的距离看,15 d 时 CK、TR 挥发性成分所代表的椭圆相互重叠,说明此时组间挥发性成分相近;30 d 以后 2 组椭圆距离逐渐增大,相互独立,不发生重叠,并且 60 d 的 TR 组椭圆距此时 CK 组椭圆距离最远,完全区分,说明 TR 组对软枣猕猴桃挥发性成分有很大的改变。从椭圆区域随时间变化的分布位置看,CK 组在贮藏 0~45 d 时沿 LD1 正方向变化,45~60 d 时沿 LD2 负方向变化,TR 组在贮藏 0~30 d 时与 CK 组变化方向相同,30~60 d 时沿 LD2 负方向变化;由此看来,CK 组贮藏 45 d 是软枣猕猴桃挥发性物质发生变化的时间点即为新鲜度的拐点,而 TR 组在 30 d 时就出现该点。综上,TR 组在贮藏 30 d 时挥发性成分开始发生变化,贮藏末期情况加剧、品质降低、风味变化严重。

LA 分析是对传感器贡献率进行分析,距离原点越远传感器负载参数越大,则该传感器在模式识别中发挥的作用越大,反之作用越小可以忽略^[20]。由图 3B 可知,第一主成分的贡献率为 99.54%,第二主成分的贡献率为 0.29%,总贡献率为 99.83%,基本代表了样品的全部特征。由图 3B 可知,W5S(对氮氧化物敏感)对第一主成分贡献最大,其次为 W1W(对硫化物敏感),W1S(对烃类敏感)对第二主成分敏感、其次为 W2S(对醇类敏感)。

2.4 CO₂ 伤害软枣猕猴桃 GC-MS 检测分析

软枣猕猴桃在整个贮藏期间共检测出 30 种挥发性成分,GC-MS 对样品的解析均在 94% 以上,可代表整个样品数据,各组挥发性物质具体变化情况见表 3。

醛类物质气味阈值较低,对总体挥发性贡献较大,其中 C₆~C₉ 的醛类具有青草香、水果香、坚果香风味^[21]。由表 3 可见,醛类主要为 2-己烯醛(59.75%~80.19%)和己醛(6.16%~12.27%),果实表现为青草及苹果香味;贮藏初期 2-己烯醛相对含量为 80.19%,伴随着贮藏时间的延长各组其相对含量逐渐下降,其中 TR 组下降幅度最大,45 d 时相对含量仅为 59.75%,末期未能检测到,此时 CK 组该挥发性成分依旧保持较高水平为 75.14%;己醛作为新鲜果实的主要呈味物质其含量逐渐升高,使特有的清香风味更加突出,但 60 d 时 TR 组同样未能检测到该物质。

醇类物质作为果实风味物质的重要组成部分,其前体物质多为不饱和脂肪酸^[22]。期间共检测出 5 种醇类物质,其中芳樟醇(玫瑰香气)仅在 0 d 检测到 0.12%,此外 2 组均检测到具有蘑菇香和清香的 1-辛烯-3-醇、有甜味和较淡花香的 2-乙基己醇以及表现为油脂和草药香味的 3-辛醇;仅 TR 组在贮藏 45 d 时检测到相对含量为 11.71% 的乙醇,伴随着贮藏时间的延长乙醇含量迅速增加,末期相对含量升高至 37.68%,成为该组中含量最高的挥发性化合物,而 CK 组未检测到。

酯类物质是大多数水果特有且典型的果香味和

甜味的来源,是由醇类物质、羧酸及乙酰辅酶 A 在酰基转移酶作用下转化而成的^[23]。初期软枣猕猴桃果实组织中未检测到酯类物质,随着贮藏时间的延长,2 组中均检测出具有香蕉气味的乙酸叶醇酯,清香及水果清甜味道的乙酸己酯、苯甲酸乙酯和邻苯二甲酸二丁酯,其中乙酸己酯相对含量最高(0.34%~1.59%)对果实风味贡献较大;而贮藏末期只有 TR 组检测出具有强烈甜果香的丁酸乙酯(0.81%)、香蕉味道的乙酸异戊酯(0.49%)及(Z)-2-戊烯醇乙酸酯(0.63%)占总酯相对含量的 37.76%;60 d 果实酯类相对含量排序为 TR 组>CK 组,TR 组酯类物质的增加可能是贮藏末期乙醇相对含量的升高促进酯化反应引起的。

烃类物质在贮藏期间均仅检测到 2 种物质且含量较低。贮藏初期甲苯及苯乙烯含量分别为 1.12% 和 3.88%,伴随着贮藏时间的延长各含量逐渐下降,15 d 后甲苯含量下降至检测水平以下;苯乙烯相对含量最高的为 CK 组,其次为 TR 组。酸类物质相对含量较低,果实组织中仅检测到甲基牛磺酸,酸类物质在贮藏前中期逐渐升高,至贮藏结束时降至检测水平以下,但 TR 组下降速度最快。

此外,TR 组在 45 d 时检测到含量为 1.54% 的 3-羟基-2-丁酮及 4.75% 的 2-羟基-丙酰胺,60 d 时两种物质相对含量升高至 15.39% 和 21.11%,并新检测到 4.45% 的 3,4-环氧-3-乙基-2-丁酮,酮类物质相对含量的升高可能是由于不饱和脂肪酸降解和氨基酸分解所引起的^[24],此时这 3 种化合物含量累计为 40.95%,占该组果实挥发性物质相对含量近半;甲氧基苯酚在各组均有发现,含量较低且稳定,但在 TR 组末期该物质有一个小幅度的升高;以上这些挥发性成分可能会对果品产生负面影响,这可能是果实异味的主要来源。

综上,CK 组在贮藏末期己醛、2-己烯醛相对含量分别为 11.00% 和 75.14%,可以较好地维持果实原有风味,酯类物质生成较少,果实后熟进程发展较为缓慢;相反在 TR 组条件下的软枣猕猴桃贮藏末期失去果实原有清香风味,60 d 时未检测出己醛和 2-己烯醛,而乙醇相对含量达到 37.68%,果实酸败严重、异味明显、品质降低、失去食用性。

2.5 CO₂ 伤害对软枣猕猴桃挥发性成分类别相对含量的影响

软枣猕猴桃贮藏期间挥发性类别相对含量变化见图 4。由图 4 可知,果实香气成分中醛类物质占比较高(3.05%~91.69%),CK 组含量高于 TR 组,TR 组 45 d 含量下降到 72.99%,贮藏结束时仅检测到 3.05%,说明贮藏环境中过高的 CO₂ 含量则会加快醛类物质的消耗,并且伴随着伤害加重下降速度加快;TR 组醇类物质在 45 d(13.37%)及 60 d(43.74%)时上升较快,其中乙醇相对含量占主导,组织中产生大量的乙醇不仅对果实产生伤害并且严重影响果品风

表 3 CO₂ 伤害软枣猕猴桃贮藏期挥发性成分相对含量变化
Table 3 Changes of relative volatile components in *Actinidia arguta* during storage by CO₂ injury

编号	中文名	CK组相对含量(%)					TR组相对含量(%)				
		0 d	15 d	30 d	45 d	60 d	0 d	15 d	30 d	45 d	60 d
醇类	1 乙醇	-	-	-	-	-	-	-	-	11.71	37.68
	2 1-辛烯-3-醇	0.32	1.14	0.56	0.27	0.39	0.32	0.85	0.40	0.31	2.36
	3 3-辛醇	0.57	1.06	0.82	0.51	0.75	0.57	0.95	0.95	0.54	1.67
	4 2-乙基己醇	0.91	1.81	1.29	0.76	2.17	0.91	0.90	0.64	0.81	2.03
	5 芳樟醇	0.12	-	-	-	-	0.12	-	-	-	-
	小计	1.92	4.01	2.67	1.54	3.31	1.92	2.70	1.99	13.37	43.74
醛类	1 己醛	6.16	8.41	9.23	10.61	11.00	6.16	9.12	10.64	12.27	-
	2 2-己烯醛	80.19	78.83	78.56	79.64	75.14	80.19	78.72	77.73	59.75	-
	3 (E,E)-2,4-己二烯醛	1.41	1.38	1.39	0.97	1.39	1.41	1.53	1.25	0.73	-
	4 2-庚烯醛	-	0.24	0.51	0.17	0.25	-	0.17	0.36	-	0.55
	5 苯甲醛	-	1.90	-	-	-	-	1.46	-	-	-
	6 (E)-2-辛烯醛	-	0.24	-	-	-	-	0.21	0.16	-	-
	7 壬醛	0.25	-	0.25	0.16	0.26	0.25	0.24	0.27	0.24	1.48
	8 (Z,E)-2,6-壬二烯醛	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.52
	9 癸醛	0.18	-	0.21	0.14	-	0.18	-	0.18	-	-
	10 (Z)-癸-2-烯醛	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.50
	小计	88.19	91.00	90.15	91.69	88.04	88.19	91.45	90.59	72.99	3.05
酯类	1 丁酸乙酯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.81
	2 乙酸异戊酯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49
	3 (Z)-2-戊烯醇乙酸酯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.63
	4 乙酸叶醇酯	-	1.00	0.46	-	0.33	-	0.30	0.29	0.98	1.02
	5 乙酸己酯	-	1.59	0.85	0.34	0.78	-	0.93	0.85	0.62	0.75
	6 苯甲酸乙酯	-	-	-	-	0.77	-	-	-	0.40	0.69
	7 十四酸异丙酯	-	-	-	-	0.66	-	-	-	-	-
	8 邻苯二甲酸二丁酯	-	-	0.18	1.62	0.66	-	-	-	1.68	0.86
	小计	0	2.59	1.49	1.96	3.20	0	1.23	1.14	3.68	5.25
酮类	1 3-羟基-2-丁酮	-	-	-	-	-	-	-	-	1.54	15.39
	2 3,4-环氧-3-乙基-2-丁酮	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.45
	小计	0	0	0	0	0	0	0	1.54	19.84	
烃类	1 甲苯	1.12	-	-	-	-	1.12	-	-	-	-
	2 苯乙烯	3.88	0.56	0.57	-	-	3.88	0.16	-	-	-
	小计	5.00	0.56	0.57	0	0	5.00	0.16	0	0	0
其他	1 甲基牛磺酸	0.19	0.34	0.60	0.99	-	0.19	0.41	-	-	-
	2 2-羟基-丙酰胺	-	-	-	-	-	-	-	-	4.75	21.11
	3 甲氧基苯肼	-	0.94	1.09	0.80	0.81	-	0.70	0.97	0.69	1.59
	小计	0.19	1.28	1.69	1.79	0.81	0.19	1.11	0.97	5.44	22.70
	总计	95.30	99.44	96.57	96.98	95.36	95.30	96.65	94.69	97.02	94.58

注：“-”表示未检测出。

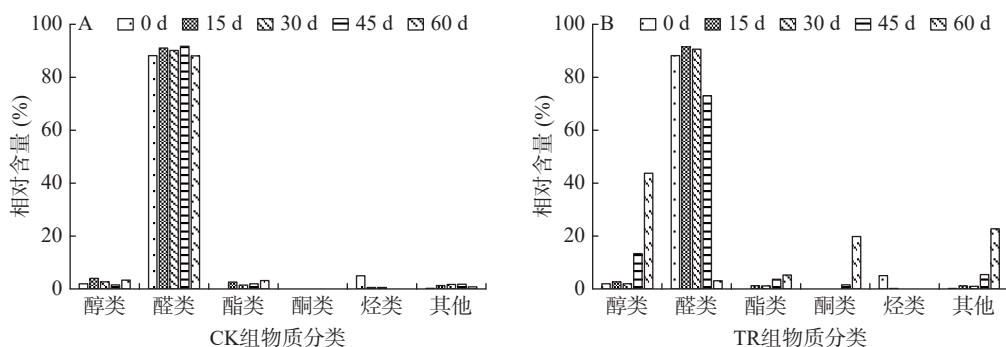


图 4 CO₂ 伤害对软枣猕猴桃挥发性成分类别相对含量的影响

Fig.4 Effects of CO₂ injury on the relative contents of volatile components in *Actinidia arguta*

味;酯类物质在末期小幅度上升,且相对含量略高于CK组;与醇类物质相同,末期酮类物质和2-羟基-丙酰胺含量大幅度升高。综上,TR组虽可促进醇、酯、酮及其他物质的生成,但乙醇含量大幅度升高会使果实产生异味^[25],不利于其品质,并且具有果实特征风味的醛类物质,末期下降至检测水平以下,故TR组对果实贮藏期风味品质带来较大的负面影响。

3 讨论

软枣猕猴桃颜色为翠绿色,在果实发生衰老时,活性氧积累,发生膜脂过氧化,导致细胞膜的透过性增加,加快色素的降解,影响果实外观品质^[26]。陈勇等^[27]研究表明,不适宜的贮藏气体组分会引起西兰花MDA含量升高和叶绿素的下降。本研究发现,CK组伴随着果实的成熟,果肉颜色加深,叶绿素含量升高,并且末期时果实软化现象明显,果肉平均硬度下降较快;TR组软枣猕猴桃45d时果肉颜色发生轻微改变,60d时情况加剧,果组织变为黄褐色,说明CO₂伤害会引起软枣猕猴桃叶绿素快速降解,对果实颜色的改变起到关键作用。

风味是评价果实品质的重要指标之一,甜味和酸味决定着食用口感。TSS主要为糖类物质,是甜味的重要来源,一般来说含量越高其食用性越好;适宜的酸类物质可以更好的体现果品风味,水果中有机酸主要有苹果酸、柠檬酸、酒石酸^[28],随着后熟作用逐渐降低。魏宝东等^[29]在采用不同保鲜膜对“阳光玫瑰”葡萄品质的研究中指出,PE薄膜可以延缓TA含量的下降,贮藏效果最优。本研究发现,末期CK、TR组TSS含量差异显著($P<0.05$),分别为13.27%、11.58%;TR组60d时TA含量为0.99%较45d升高0.03%,其含量升高可能是由于糖酵解末端产物有机酸发生积累,同时产生的乳酸也会引起细胞中pH的下降^[30];研究表明合理气调包装有利于保持猕猴桃果实V_C含量^[31],在本研究中CK和TR组均会引起V_C含量大幅度下降,其中TR组下降较快,末期含量仅为32.83mg/100g,可能是CO₂伤害加速其含量的消耗。综上,TR组抑制TSS含量的升高,加快V_C含量的消耗,促进TA含量的增加,不利于软枣猕猴桃的贮藏。

果实香气物质来源于挥发性化合物,挥发性物质主要包括醛、醇、酯、酮、烯萜类^[32],而特征芳香物质的种类和含量决定果实的代表风味。本研究表明,2-己烯醛、己醛在软枣猕猴桃贮藏期间相对含量较高,果实表现为独特的青草和水果香,与前人的研究相似^[33]。同时本研究发现,贮藏45d时仅TR组检测到11.71%乙醇,可能是环境中CO₂浓度升高使果实呼吸代谢途径发生改变引起的^[34];伴随着伤害的加深,影响软枣猕猴桃风味及品质的挥发性成分含量快速升高,贮藏结束时,乙醇相对含量积累为37.68%,2-羟基-丙酰胺升高至21.11%,两种物质占总挥发性成分的58.79%,此时2-己烯醛、己醛相对含量均下

降至检测水平以下,软枣猕猴桃原有的青草香味被带有发酵类异味所取代,Mattheis等^[35]的研究表明,在贮藏过程中CO₂含量过高,会引起CO₂伤害形成异味,吕凤艳等^[36]在对西兰花保鲜的研究中发现,当贮藏环境中O₂比例过低,会引起组织中乙醛、乙醇相对含量升高,与本研究结果相近;同时电子鼻检测分析表明,30d为TR组果实新鲜度的拐点,45d时果品风味开始发生明显变化,60d情况加剧,与GC-MS结果相同。综上,说明在TR组下形成的高浓度CO₂贮藏环境,果实呼吸途径发生改变,末期发生乙醇等有害物质的积累,果实组织产生伤害,对果品风味的形成与表达产生不良影响。

4 结论

TR组的软枣猕猴桃贮藏在较高CO₂浓度环境中(O₂:11.22~15.55%,CO₂:9.00~11.93%),在该条件下果实在贮藏45d时发生CO₂伤害,后期发展逐渐严重,加快叶绿素和V_C含量的下降,抑制TSS含量升高,提高末期TA含量,促进乙醇的形成并且加速果实特征风味挥发性物质2-己烯醛和己醛含量的减少,不利于维持果实贮藏品质,对果品产生负面影响,破坏原有风味、酒化严重、异味增加、失去食用性。本研究为软枣猕猴桃合理气调提供理论依据,为实现快速监测、提前预警果品变化提供数据支撑;但仍存在局限,今后可更加深入探究不同环境作用伤害的时间与程度,为将来优化贮藏环境、预警伤害发生时间提供基础。

参考文献

- [1] 金花林,姜明亮,李旭,等.软枣猕猴桃果胶分解酶基因克隆及表达量分析[J].北方园艺,2020(15):21-26. [JIN H L, JIANG M L, LI X, et al. Pectin decomposition enzyme gene cloning and expression analysis in *Actinidia arguta* fruit[J]. Northern Horticulture, 2020(15): 21-26.]
- [2] KIM D J, YOON S J, LEE H P, et al. Degradation kinetics of phenolic content and antioxidant activity of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta*) puree at different storage temperatures[J]. LWT - Food Science and Technology, 2018, 89: 535-541.
- [3] BOTH V, BRACKMANN A, THEWES F R, et al. The influence of temperature and 1-MCP on quality attributes of 'Galaxy' apples stored in controlled atmosphere and dynamic controlled atmosphere[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2018, 16: 168-177.
- [4] BI X F, DAI Y S, ZHOU Z Y, et al. Combining natamycin and 1-methylcyclopropene with modified atmosphere packaging to evaluate plum (*Prunus salicina* cv. 'Cuihongli') quality[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 183: 111749.
- [5] JIAO J Q, GUO L Y, LIU H, et al. Effect of different packaging film thicknesses on chilling injury in postharvest 'Cuixiang' kiwifruit[J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2021, 49: 168-181.
- [6] 孙兴盛,银徐蓉,周福慧,等.气调包装对软枣猕猴桃品质的影响[J].包装工程,2019,40(19):73-79. [SUN X S, YIN XU R, ZHOU F H, et al. Effect of modified atmosphere packaging on quali-

- ty of *Actinidia arguta*[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(19): 73–79.]
- [7] 冉昇, 高萌, 屈魏, 等. 限气包装对‘绿迷一号’软枣猕猴桃采后贮藏特性的影响[J]. 西北农业学报, 2020, 29(12): 1848–1858. [RAN B, GAO M, QU W, et al. Effects of air-limiting packag on postharvest storage characteristics of kiwifruit ‘Lümi No.1’ *Actinidia arguta* fruit[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2020, 29(12): 1848–1858.]
- [8] 范霞, 崔心平. 基于 HS-SPME-GC-MS 和电子鼻技术研究不同肉质桃子采后贮藏期的香气成分[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 222–229. [FAN X, CUI X P. Analysis of aroma compounds of different peach flesh types during postharvest storage by headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose[J]. Food Science, 2021, 42(20): 222–229.]
- [9] 陈辰, 鲁晓翔, 张鹏, 等. 电子鼻结合 GC-MS 检测玫瑰香葡萄贮后货架期内挥发性物质的变化[J]. 现代食品科技, 2015, 31(10): 313–320. [CHEN C, LU X X, ZHANG P, et al. Determination of shelf quality after storage of muscat grape by electronic nose combined with GC-MS[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(10): 313–320.]
- [10] DOU T X, SHI J F, LI Y, et al. Influence of harvest season on volatile aroma constituents of two banana cultivars by electronic nose and HS-SPME coupled with GC-MS[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 265(C): 109214.]
- [11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 136–137. [LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 136–137.]
- [12] 李文生, 冯晓元, 王宝刚, 等. 应用自动电位滴定仪测定水果中的可滴定酸[J]. 食品科学, 2009, 30(4): 247–249. [LI W S, FENG X Y, WANG B G, et al. Study on determination of titratable acidity in fruits using automatic potentiometric titator[J]. Food Science, 2009, 30(4): 247–249.]
- [13] 李军. 钼蓝比色法测定还原型维生素 C[J]. 食品科学, 2000, 21(8): 42–45. [LI J. Determination of reduced vitamin C by molybdenum blue colorimetry[J]. Food Science, 2000, 21(8): 42–45.]
- [14] 张鹏, 刘振通, 李江阔, 等. 不同气调元件对软枣猕猴桃冷藏期保鲜品质及电子鼻判别的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(12): 130–136. [ZHANG P, LIU Z T, LI J K, et al. Effects of different air combination on the preservation quality and electronic nose identification of kiwi *Actinidia arguta* during cold storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(12): 130–136.]
- [15] 宋小青, 任亚梅, 张艳宜, 等. 采后猕猴桃叶绿素降解机制及 1-MCP 处理对其代谢的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(17): 260–265. [SONG X Q, REN Y M, ZHANG Y Y, et al. Mechanism of chlorophyll degradation and effect 1-MCP treatment on chlorophyll metabolism in postharvest kiwifruit[J]. Food Science, 2017, 38(17): 260–265.]
- [16] 白玉, 纪海鹏, 陈存坤, 等. 臭氧处理对阿克苏苹果贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(15): 237–242. [BAI Y, JI H P, CHEN C K, et al. Effect of ozone treatment on storage quality of Akus apple[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(15): 237–242.]
- [17] 罗冬兰, 曹森, 马超, 等. 生物保鲜纸处理对百香果采后贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(16): 156–162. [LUO D L, CAO S, MA C, et al. Effects of biological preservative paper treatment on the storage quality of passion fruit[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(16): 156–162.]
- [18] 王杰, 里程辉, 王颖达. 苹果贮藏期二氧化碳伤害及贮藏建议[J]. 北方果树, 2019(3): 50–51. [WANG J, LI C H, WANG Y D. Carbon dioxide damage during apple storage and storage suggestions[J]. Northern Fruits, 2019(3): 50–51.]
- [19] 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]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 297–303, 320. [XUE Y L, DONG L C, ZHANG P, et al. Analysis of the volatile components of blueberry fruits with different treatments during shelf life by GC-MS combined with electronic nose[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(19): 297–303, 320.]
- [20] 严娟, 蔡志翔, 张明昊, 等. 利用电子鼻评价桃果实香气[J]. 植物遗传资源报, 2021, 22(1): 274–282. [YAN J, CAI Z X, ZHANG M H, et al. Evaluation of aroma in peach fruit by electronic nose[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(1): 274–282.]
- [21] WANG D, CAI J, ZHU B Q, et al. Study of free and glycosidically bound volatile compounds in air-dried raisins from three seedless grape varieties using HS-SPME with GC-MS[J]. Food Chemistry, 2015, 177: 346–353.]
- [22] WEI C Q, LIU W Y, XI W P, et al. Comparison of volatile compounds of hot-pressed, cold-pressed and solvent-extracted flaxseed oils analyzed by SPME-GC/MS combined with electronic nose: Major volatiles can be used as markers to distinguish differently processed oils[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2014, 117(3): 320–330.]
- [23] DIXON J, HEWETT E W. Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: A review[J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2000, 28(3): 155–173.]
- [24] 陈敬鑫, 张德梅, 李永新, 等. 低氧贮藏对采后果实风味的影响研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(13): 273–280. [CHEN J X, ZHANG D M, LI Y X, et al. Progress toward understanding the effect of low-oxygen storage on the flavor of postharvest fruits[J]. Food Science, 2021, 42(13): 273–280.]
- [25] 张沙沙, 罗晓莉, 曹晶晶, 等. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析松茸减压贮藏过程中挥发性风味成分变化[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(14): 243–248. [ZHANG S S, LUO X L, CAO J J, et al. Analysis of the changes in volatile flavor components during hypobaric storage of tricholoma matsutake using electronic nose combined with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(14): 243–248.]
- [26] MARÍA C O, JOS G C, LAURA I, et al. Encapsulating betalains from *Opuntia ficus-indica* fruits by ionic gelation: Pigment chemical stability during storage of beads[J]. Food Chemistry, 2016, 202: 373–382.]
- [27] 陈勇, 张玉笑, 郭衍银, 等. O₂/CO₂ 主动自发气调对西兰花

- 活性氧代谢及保鲜效果的影响[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2020, 34(4): 1-6. [CHEN Y, ZHANG X Y, GUO Y Y, et al. Effects of O₂/CO₂ active modified atmosphere packaging on reactive oxygen species metabolism and storage quality of broccoli[J]. Journal of Shandong University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 34(4): 1-6.]
- [28] ROBLES A, FABJANOWICZ M, CHMIEL T, et al. Determination and identification of organic acids in wine samples. Problems and challenges[J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 2019, 120: 115630.
- [29] 魏宝东, 谷佰宇, 张鹏, 等. 不同保鲜膜对“阳光玫瑰”葡萄贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(15): 39-48. [WEI B D, GU B Y, ZHANG P, et al. Effect of different fresh-keeping film on the storage quality of "Sunshine Muscat" grapes[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(15): 39-48.]
- [30] MATHOOKO F M. Regulation of ethylene biosynthesis in higher plants by carbon dioxide[J]. *Postharv Biol Technol*, 1996, 7(1): 1-26.
- [31] 罗政, 袁兆飞, 陈飞平, 等. 不同气调包装袋对红心猕猴桃后熟品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(11): 4506-4512. [LUO Z, YUAN Z F, CHENG F P, et al. Effect of different modified atmosphere packaging bags on the post-ripening quality of red heart kiwifruit[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2021, 12(11): 4506-4512.]
- [32] HADI M E, ZHANG F J, WU F F, et al. Advances in fruit aroma volatile research[J]. *Molecules*, 2013, 18(7): 8200-8229.
- [33] 孙阳, 慈志娟, 刘振盼, 等. 不同软枣猕猴桃品种果实品质和香气成分差异分析[J]. 中国果树, 2021(5): 52-55,60. [SUN Y, CI Z J, LIU Z P, et al. Analysis on fruit quality and aroma components of different *Actinidia arguta* cultivars[J]. *China Fruits*, 2021(5): 52-55,60.]
- [34] 关文强, 刘兴华, 张华云, 等. 乙醇和乙醛含量与葡萄气体伤害关系的研究[J]. 食品科学, 2003(11): 136-139. [GUAN W Q, LIU X H, ZHANG H Y, et al. Study on effects of extreme gas concentration on the ethanol and acetaldehyde content in Meiguixiang grape[J]. *Food Science*, 2003(11): 136-139.]
- [35] MATTHEIS J, FELLMAN J K. Impacts of modified atmosphere packaging and controlled atmospheres on aroma, flavor, and quality of horticultural commodities[J]. *HortTechnology*, 2000, 10(3): 507-510.
- [36] 吕凤艳, 郭衍银, 王兆全. 西兰花气调保鲜过程中 O₂ 缓解 C O₂ 伤害的研究[J]. 北方园艺, 2016(13): 132-136. [LÜ F Y, GUO Y Y, WANG Z Q. Study on the alleviation of O₂ to CO₂ injury during broccoli storage under controlled atmospheres[J]. *Northern Horticulture*, 2016(13): 132-136.]