

# 自发气调包装对不同品种青椒贮藏品质的影响

陈 菊, 孙小静\*, 苏 丹, 王雪雅, 李文馨, 陆 敏

(贵州省农业科学院辣椒研究所, 贵阳 550006)

**摘 要:** **目的** 探究自发气调包装对不同品种青椒贮藏品质的影响。**方法** 以贵州主栽的“改良螺丝椒王”和“黔椒 8 号”品种为实验材料, 使用 MP20 气调包装袋对其进行包装处理, 贮藏于 $(10\pm 0.3)^{\circ}\text{C}$ 的环境内 32 d, 每隔 8 d 进行一次相关指标的测定, 研究贮藏期间不同品种间青椒品质变化。**结果** 随着贮藏时间的延长, 青椒果实的腐败率、失重率和转红指数均呈上升趋势, 相比之下, “黔椒 8 号”的贮藏性能优于“改良螺丝椒王”。两个品种共检测出 48 种挥发性物质, 主要以醛类、酯类为主; 在贮藏末期, “黔椒 8 号”对醛类和酯类物质的保留率高于“改良螺丝椒王”, 风味损失较少。根据化合物的香气活性值得出, 两个辣椒品种共有的关键特征呈香物质为: (*E,E*)-2,4-癸二烯醛、水杨酸甲酯、肉豆蔻醛、正己醛、2-己烯醛和  $\beta$ -紫罗兰酮, 其含量均随着贮藏时间的延长而下降。贮藏期间, “改良螺丝椒王”特有的挥发性物质为 3-萜烯和反式-2-壬醛, “黔椒 8 号”特有的挥发性物质为 1-己醇和环己醇。**结论** 在低温下采用 MP20 气调包装袋进行包装的“黔椒 8 号”的贮藏效果最佳。**关键词:** 青椒; 低温; 气调包装; 贮藏; 品质

## Effects of modified atmosphere packaging on storage quality of different green *Capsicum annuum* L. varieties

CHEN Ju, SUN Xiao-Jing\*, SU Dan, WANG Xue-Ya, LI Wen-Xin, LU Min

(Chili Pepper Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the effects of modified atmosphere packaging on storage quality of different green *Capsicum annuum* L. varieties. **Methods** This study used “Modified Screw Pepper King” and “Qianjiao No.8” as raw material to explore the changes in quality by atmosphere modified packaging during low temperature storage, which were packaged in modified atmosphere packaging bag (MP20) and stored at  $(10\pm 0.3)^{\circ}\text{C}$  for 32 days, and the quality changes of different varieties of green *Capsicum annuum* L. during storage were studied by measuring the related indexes every 8 days. **Results** The decay rate, weight loss rate and turning red index of green *Capsicum annuum* L. were increased with the prolongation of storage time. Among them, “Qianjiao No.8” had better storage performance than “Modified Screw Pepper King”. A total of 49 volatile substances were detected in 2 varieties, mainly aldehydes and esters; at the end of storage, “Qianjiao No.8” had a higher retention rate for aldehydes and esters than “Modified Screw Pepper King”, resulting in less flavor loss. According to the quantitative results and

**基金项目:** 贵州省省级科技计划项目(黔科合支撑[2021]一般 124、黔科合支撑(2022)重点 016 号)、贵州省农业科学院青年基金项目(黔农科院青年科技基金[2023]18 号)

**Fund:** Supported by the Provincial-level Science and Technology Planning Projects (Guizhou Science and Technology Cooperation [2021] General 124, the Guizhou Science and Technology Cooperation (2022) Key 016), and the Project of Youth Fund of Guizhou Academy of Agricultural Sciences (Youth Science and Technology Fund of Guizhou Academy of Agricultural Sciences [2023] No.18)

**\*通信作者:** 孙小静, 助理研究员, 主要研究方向为农产品贮藏及加工。E-mail: 981970257@qq.com

**\*Corresponding author:** SUN Xiao-Jing, Assistant Professor, Chili Pepper Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China. E-mail: 981970257@qq.com

threshold values, the aroma activity value of green *Capsicum annuum* L. was calculated. The results showed that the common characteristic aroma compounds of 2 varieties were (*E,E*)-2,4-decadienal, methyl salicylate, myristic aldehyde, *n*-hexanal, *trans*-2-hexenal and  $\beta$ -ionone, and their content all decreased with the storage time. During storage, 3-carene and *trans*-2-nonanal were found to be the only volatile compounds in “Modified Screw Pepper King”, 1-hexanol and cyclohexanol were found to be the only volatile compounds in “Qianjiao No.8”. **Conclusion** “Qianjiao No.8” has the better storage effect, which is packed with MP20 air conditioning bag at low temperature.

**KEY WORDS:** green *Capsicum annuum* L.; low temperature; modified atmosphere packaging; storage; quality

## 0 引言

贵州辣椒因香气浓郁、风味独特和品质优异而受到消费者的喜爱。贵州的青椒品种繁多,果形多样,有螺丝椒、线椒、牛角椒、羊角椒和灯笼椒等果型,且各品种间的生理特性和贮藏特性差异较大。由于鲜辣椒的含水量较高,采后生理代谢旺盛,在贮藏过程中易受病原菌侵染而腐烂,失去商品价值<sup>[1]</sup>。此外,鲜食辣椒的生产和市场供需矛盾较为突出:生产旺季时供过于求,腐烂损失严重;生产淡季时供不应求,价格居高不下<sup>[2]</sup>,因此维持鲜果采后品质是生产上亟待解决的问题。目前学者对单一青椒品种(线椒、牛角椒)的品质影响研究较多,对螺丝椒和多品种之间的贮藏保鲜研究较少。在贵州的消费市场,螺丝椒和线椒是鲜食辣椒的主要类型。其中,“黔椒 8 号”是贵州省农科院辣椒研究所选育的线椒品种,其在 2022 年种植面积超过 5 万亩;“改良螺丝椒王”是贵州省内引进的螺丝椒品种,其在 2022 年种植面积超过 3 万亩。然而,国内外对这两个品种的贮藏保鲜技术研究却鲜有报道。

目前,低温贮藏是辣椒及其他食品产业中最常用的保鲜方法,低温能降低酶活性,抑制有害微生物活动、减缓呼吸和蒸腾作用带来的损耗,从而延长产品的货架期<sup>[2-3]</sup>。但在辣椒的实际贮藏保鲜过程中,单一的冷藏保鲜一般达不到企业的预期效果,常需与其他保鲜方法结合使用<sup>[4-7]</sup>。自发气调包装(modified atmosphere packaging, MAP)是采用不同透气性的包装袋,使保鲜袋内保持稳定的低 O<sub>2</sub> 和一定 CO<sub>2</sub> 浓度的环境,从而延长果蔬的贮藏期<sup>[8-9]</sup>。MAP 已成为我国果蔬气调保鲜的主要方式,其具有成本低、操作便捷、效果显著等特点,被应用于百香果<sup>[4]</sup>、韭菜<sup>[5]</sup>、杨梅<sup>[9]</sup>、胡萝卜<sup>[6]</sup>等多种蔬菜和水果的贮藏。目前,国内外大量研究表明,采用低温结合气调包装可以减缓青椒果实品质下降和减少腐烂的发生,但其研究主要集中在营养品质等理化指标的变化<sup>[10-11]</sup>,且只采用单一的保鲜方式,而对杀菌结合在低温条件下自发气调包装保鲜的方式和其贮藏期间挥发性风味物质变化的研究却鲜有报道。

课题组前期研究发现,青椒在室温下的货架期是 4-5 d,

转红、腐败和风味劣变是影响贮藏后期商品性的关键因素。为此,本研究选取贵州省引进和选育的主栽品种“改良螺丝椒王”和“黔椒 8 号”为试材,探究杀菌后低温条件下自发气调包装对这两种青椒的保鲜效果,分析贮藏期间转红指数、腐烂率、失重率、可溶性蛋白和叶绿素等品质指标和主体挥发性风味成分的变化,以期青椒贮藏保鲜提供基础理论数据,提高青椒的贮运品质。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

“改良螺丝椒王”(LS)于 2022 年 8 月初采自贵州省龙里县洗马镇花京村辣椒基地,“黔椒 8 号”(QQ)于 2022 年 8 月初采自贵州省辣椒研究所种植基地。挑选无病虫害、无机械损伤、无畸形、形状大小、成熟度一致的辣椒为供试材料,每个品种 30 kg 备用。MP20 气调包装袋,由广东省农科院蚕业与农产品加工研究所提供。

蒽酮、蔗糖、乙醇、考马斯亮蓝 G-250、磷酸(分析纯,天津市富宇精细化工有限公司);2-辛醇(色谱纯,上海阿拉丁生化科技有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

Evolution 201 紫外分光光度计、MultiskanGO 酶标仪(美国赛默飞世尔科技公司);HH-1 数显恒温水浴锅(上海梅香仪器有限公司);BSA124S 万分之一电子天平[塞多利科学仪器(北京)有限公司];MCO-18AC 智能人工气候箱(PHCbi 生命科学研究产品);ILC-S1000N 质构仪(美国 FTC 公司);Allegra X-22R 高速冷冻离心机(贝克曼库尔特有限公司);DWHL218 超低温冷藏箱(长虹美菱有限公司);HP6890/5975C 气相色谱-质谱联用仪(美国安捷伦公司);50/30um DVB/CAR/PDMS 萃取纤维头(美国 Supelco 公司);OXYBABY O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 分析仪、OXYBABY 6.0 顶空气体分析仪(德国威特公司);MPS Robotic 自动进样器[哲斯泰(上海)贸易有限公司]。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 气调包装青椒的保鲜处理

将挑选好的青椒用 50  $\mu\text{g/mL}$  的 ClO<sub>2</sub> 进行杀菌清洗,晾晒后置于 4℃条件下预冷 24 h。把青椒装入厚度 20  $\mu\text{m}$

的气调保鲜袋中, 用封口机封口后, 于 10℃下贮藏 32 d, 每个处理设 3 个平行, 每隔 8 d 进行观察、取样和相关指标的测定。取样时, 把青椒果实的果肉切成小块后测定挥发性风味物质, 再取青椒经液氮速冻粉碎后置于-80℃的冰箱中冷冻保存, 用于感官(转红指数、腐败率等)、可溶性蛋白、叶绿素等指标的测定。

### 1.3.2 腐烂率的测定

将表面腐烂 10%以下定为腐败, 腐烂率的计算公式见式(1)。

$$\text{腐烂率}/\% = \frac{\text{腐烂果数}}{\text{总果数}} \times 100\% \quad (1)$$

### 1.3.3 转红指数的测定

参考曹森等<sup>[7]</sup>的方法, 即根据辣椒果面所呈现的转红面积大小分为 4 个等级: 0 级(无伤斑和烂斑的绿果); 1 级(转红面积<1/3)、2 级(1/3≤转红面积<2/3)、3 级(转红面积≥2/3)。计算公式见式(2)。

$$\text{转红指数}/\% = \frac{\sum(\text{转红果实数} \times \text{转红级数})}{\text{果实总数} \times \text{最高转红级数}} \times 100\% \quad (2)$$

### 1.3.4 失重率的测定

失重率采用称量法<sup>[12]</sup>, 计算公式见式(3)。

$$\text{失重率}/\% = \frac{\text{贮藏前质量} - \text{贮藏后质量}}{\text{贮藏前质量}} \times 100\% \quad (3)$$

### 1.3.5 叶绿素和可溶性蛋白的测定

叶绿素含量和可溶性蛋白含量参考李合生<sup>[13]</sup>的方法进行测定。

### 1.3.6 保鲜袋内 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的测定

采用 OXYBABY O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 分析仪测定保鲜袋内 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的含量。把垫贴片贴到保鲜袋上, 用采样探头扎透垫贴片<sup>[14]</sup>, 用 OXYBABY 6.0 顶空气体分析仪测定保鲜袋内气体成分。

### 1.3.7 GC-MS 检测和分析

称取 5 g 切碎后的青椒加入到 20 mL 顶空瓶中, 再加入 5 μL 的内标溶液(2-辛醇质量浓度为 5 mg/L), 用封盖器封口, 采用自动进样器进样, 每组取 3 个平行样, 气相色谱和质谱条件参考王雪雅等<sup>[15]</sup>的方法, 匹配度大于 85%的成分作为鉴定结果。香气活性值(odour activity value, OAV)<sup>[16-19]</sup>为香气活性物质在青椒中的浓度与其香气阈值的比值, 使用 OAV 评估单一香气活性物质对青椒样品整体香气轮廓的贡献。

## 1.4 数据处理

通过 Excel 2010 进行数据的整理, 所有实验重复 3 次, 取平均值±标准偏差, 采用 Origin 2020 进行制图, 采用 SPASS 16.0 软件对数据进行处理, 用 Duncan 法多重比较进行极差检验, 5%为显著水平, 利用 Tbtools 软件进行风味热图分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 青椒低温气调贮藏期间物理指标的变化

腐败和转红是青椒在贮藏过程中最直观的外在表征, 能够反映出果实的新鲜程度和采后果实衰老的程度<sup>[20]</sup>, “黔椒 8 号”和“改良螺丝椒王”的贮藏外观变化过程如图 1 所示。

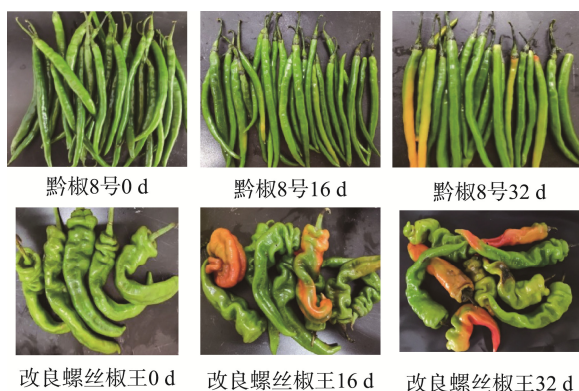
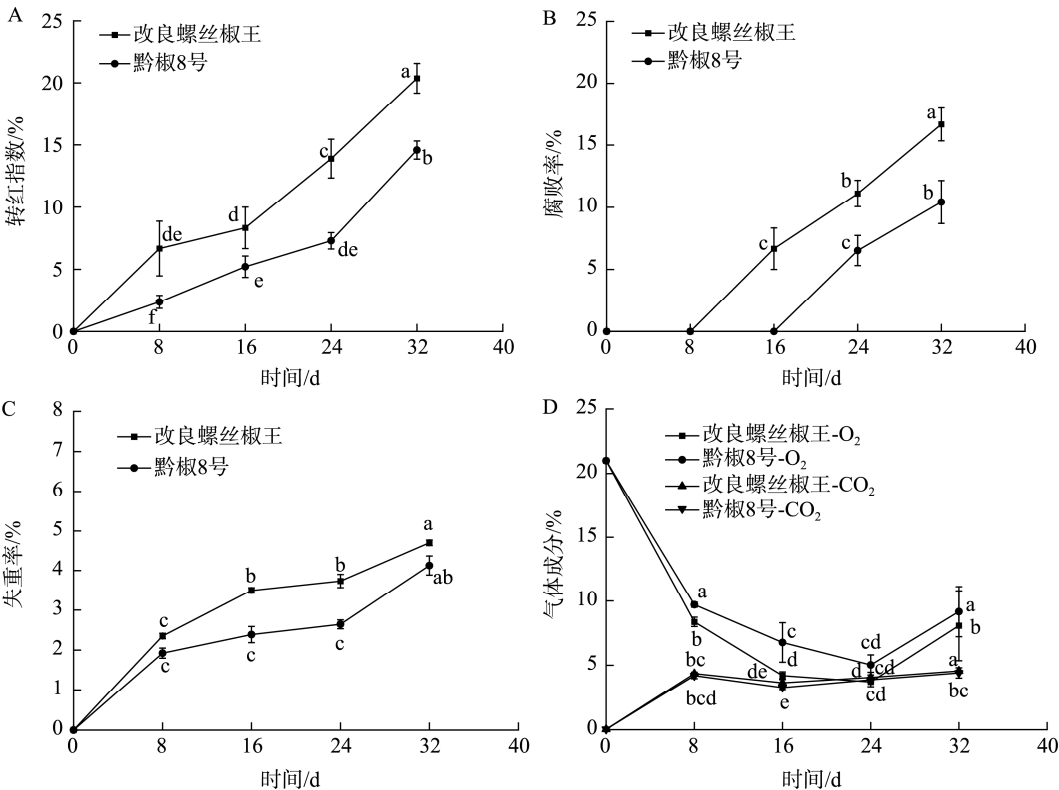


图1 青椒贮藏过程的外观变化

Fig.1 Appearance changes of green *Capsicum annuum* L. during storage

随着贮藏期的延长, 青椒果实的转红指数呈上升趋势(图 2A)。在整个贮藏期内, “改良螺丝椒王”的转红指数一直高于黔椒 8 号, 二者差异显著( $P<0.05$ )。由图 2B 可知, 随着贮藏期的延长, 青椒果实腐烂率呈上升趋势。贮藏至 16 d 时, “黔椒 8 号”果实未腐烂, “改良螺丝椒王”的果实轻微腐烂。贮藏至 32 d 时, “改良螺丝椒王”和“黔椒 8 号”果实的腐烂率快速上升, 分别达到 16.67%和 10.42%, 二者差异显著( $P<0.05$ ), 这可能是因为“改良螺丝椒王”的果实较大, 形状凸凹不平整, 容易被腐败菌侵染所致。

青椒内部是空腔, 果实很容易发生失水皱缩, 影响果实的商品价值<sup>[21]</sup>。如图 2C 所示, 在贮藏期间, 果实失重率不断上升, “改良螺丝椒王”高于“黔椒 8 号”, 这可能是由于在贮藏过程中“改良螺丝椒王”果实较大, 其蒸腾作用和呼吸速率较大, 导致果实水分流失增大。在果蔬贮藏中一般失重率超过 5%就会有皱缩萎蔫现象的发生<sup>[20-23]</sup>, 实验中直至贮藏 32 d, “改良螺丝椒王”和“黔椒 8 号”的失重率分别达到 4.86%和 4.12%, 二者差异不显著( $P>0.05$ ), 均没有出现明显的皱缩失水现象, 这可能是因为青椒在自发气调包装内空气湿度较高所致。图 2D 显示, 在贮藏中后期气调包装袋内的 O<sub>2</sub> 浓度为 3.03%~8.07%, CO<sub>2</sub> 浓度为 3.25%~4.40%, 可以看出果实的呼吸受到了抑制, 从而满足了果实休眠呼吸的气体环境需求。SALTVEIT<sup>[24]</sup>认为辣椒在 8℃下贮藏时, 气调包装最佳的 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 浓度在 2%~5%内, 与本研究结果基本一致。



注：不同小写字母表示同一时间不同样品间差异显著(P<0.05)，下同。

图2 青椒低温气调贮藏期间物理指标的变化

Fig.2 Changes of physical indexes of green *Capsicum annuum* L. during controlled atmosphere storage at low temperature

2.2 青椒低温气调贮藏期间化学指标的变化

可溶性蛋白是重要的渗透调节物质和营养物质，其含量的积累能提高细胞的保水能力，对细胞的生命物质及生物膜起到保护作用<sup>[25]</sup>。如图 3A 所示，在整个贮藏过程中，辣椒中可溶性蛋白含量整体表现出逐渐下降的趋势，在贮藏初期，“黔椒 8 号”的可溶性蛋白含量下降较迅速，“改良螺丝椒王”的可溶性蛋白含量下降较平缓，在贮藏 24 d 时，“改良螺丝椒王”和“黔椒 8 号”的可溶性

蛋白含量下降均明显增快，分别降为初始的 51.78%和 60.76%。青椒颜色是影响消费者购买的重要指标。随着贮藏时间的延长，青椒颜色由绿转红，此时青椒衰老，商品性下降<sup>[26]</sup>。由图 3B 所示，在贮藏期间，青椒的叶绿素含量呈下降趋势，即在贮藏期间，青椒逐渐褪绿。在贮藏 32 d 时，“改良螺丝椒王”和“黔椒 8 号”的叶绿素含量为 8.11 mg/100 g 和 12.98 mg/100 g，分降为初始的 73.57%和 81.22%。

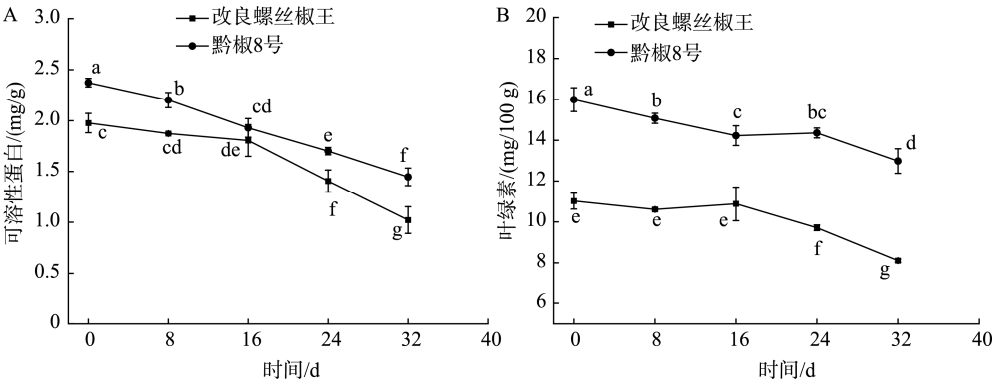


图3 青椒低温气调贮藏期间化学指标的变化

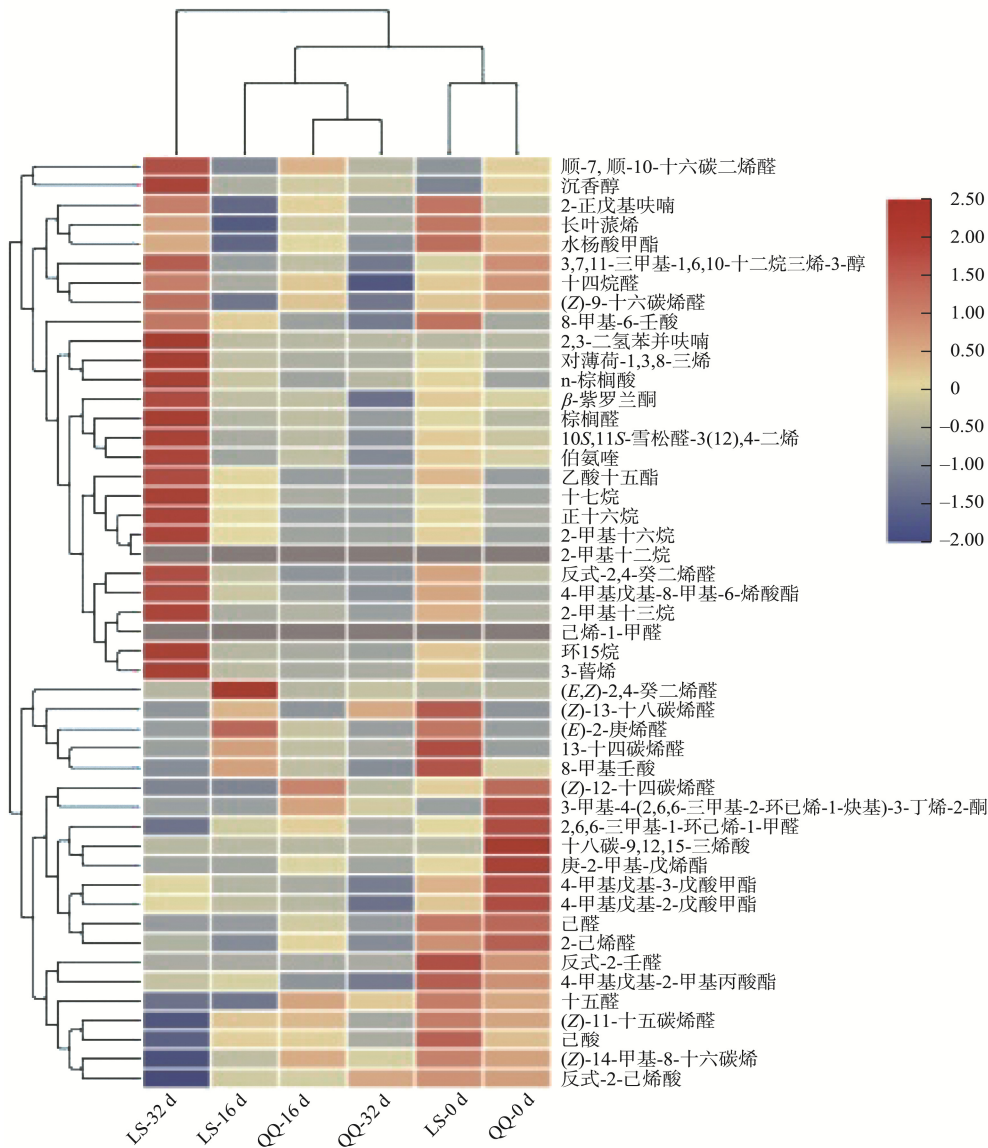
Fig.3 Changes of chemical indexes of green *Capsicum annuum* L. during controlled atmosphere storage at low temperature

2.3 青椒低温气调贮藏期间风味的变化

从“改良螺丝椒王”和“黔椒 8 号”中共鉴定出 48 种挥发性化合物, 包括烷烃类 6 种、醛类 17 种、烯类 5 种、酸类 6 种、酯类 7 种、醇类 2 种、酮类 2 种和芳香及杂环类 3 种。为了进一步明确青椒采后在贮藏期间挥发性风味物质的变化, 对挥发性物质含量进行热图聚类分析(图 4)。由图 4 可知, 青椒不同时期的挥发性物质的含量差异明显, 根据不同品种采后不同时期的聚类分析可知, LS-0 d 和 QQ-0 d 在最小距离水平发生聚类, 说明新鲜的不同品种青椒的挥发性物质的含量相似度较高, QQ-16 d 和 QQ-32 d 在最小距离水平发生聚类, 说明“黔椒 8 号”的第 16 d 和第 32 d 的挥发性物质的含量相似度较高, 随着欧氏距离的增加,

LS-16 d 和 LS-32 d 才开始聚类在一起, 说明“改良螺丝椒王”的第 16 d 和第 32 d 的挥发性物质与其他处理差异较大。

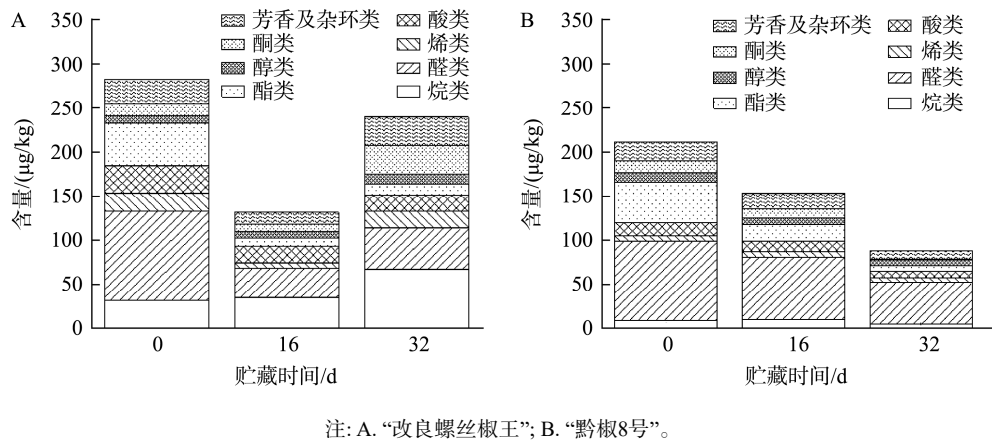
“改良螺丝椒王”的总挥发性香气物质含量在贮藏过程中呈先下降后上升的趋势(图 5A), 其香气成分主要以醛类为主其次是酯、烷烃类含量较高。“黔椒 8 号”的总挥发性香气物质含量在贮藏过程中呈下降的趋势(图 5B)。在贮藏期间, 其香气成分主要以醛类为主, 其次是酯类、芳香类含量较高。在贮藏结束时, “黔椒 8 号”和“改良螺丝椒王”的醛类分别占总香气成分总量的 53.87%和 19.26%, 酯类分别占总香气成分总量的 7.40%和 5.31%。在贮藏末期, “黔椒 8 号”对醛类和酯类物质的保留率高于“改良螺丝椒王”, 其特色风味损失较少。



注: LS为“改良螺丝椒王”; QQ为“黔椒8号”。

图4 青椒采后贮藏过程中挥发性物质含量热图

Fig.4 Heat map of volatile substance content during post harvest storage of green *Capsicum annuum* L.



注: A. “改良螺丝椒王”; B. “黔椒8号”。

图5 青椒低温气调贮藏期间大类挥发性风味物质含量的变化  
Fig.5 Changes of volatile flavor compounds in green *Capsicum annuum* L. during controlled atmosphere storage at low temperature

阈值的高低决定了香味的浓郁程度, 阈值越低, 香味越浓, 阈值越高, 香味越弱<sup>[27-28]</sup>。采用 OAV 法对两个品种辣椒的挥发性风味成分进行分析, OAV≥1 的组分是青椒的关键风味物质, 0.1≤OAV<1 的组分是青椒的重要修饰风味物质。如表 1 所示, 对于“改良螺丝椒王”品种, 共有 9 种风味物质的 OAV≥1, 对香气具有较大贡献。其中, (E,E)-2,4-癸二烯醛的 OAV 最大, 其次为水杨酸甲酯、肉豆蔻醛、正己醛、3-萜烯、2-己烯醛、(E)-2-庚烯醛、β-紫罗兰酮和反式-2-壬醛。β-环柠檬醛和 2-正戊基呋喃的 OAV 介于 0.1~1.0 之间, 对辣椒的香气组成也有一定贡献。对于“黔椒 8 号”品种, 共有 7 种风味物质 OAV>1, 其中(E,E)-2,4-癸二烯醛的 OAV 最大, 其次为水杨酸甲酯、肉豆蔻醛、正己醛、2-己烯醛、1-己醇和 β-紫罗兰酮。通过分析两个品种的高 OAV 组分发现两个品种共有的关键风味物质为: (E,E)-2,4-癸二烯醛、水杨酸甲酯、肉豆蔻醛、正己醛、2-己烯醛和 β-紫罗兰酮。(E,E)-2,4-癸二烯醛的 OAV 最高, 其呈现出甜橙、油脂香味, 水杨酸甲酯呈现出

冬青叶香味, 肉豆蔻醛呈现出鸢尾香、脂肪香, 正己醛和 2-己烯醛呈现为强烈的清香、叶香, β-紫罗兰酮则呈现木香花香味, 这 6 种物质决定了在贮藏初期青椒果实的青草味香气。在贮藏期间, 6 种关键化合物的 OAV 随着贮藏时间的延长呈现降低趋势。陈翰等<sup>[29]</sup>研究结果认为 (E,E)-2,4-癸二烯醛是新鲜青椒的特征性气味成分之一, JUNIOR 等<sup>[30]</sup>研究结果认为正己醛、2-己烯醛是青椒的特征性气味成分, 这与本研究结果相一致。OAV>1 的醇类有 1-己醇, 具有水果香气, OAV 随着贮存时间的延长无明显变化, 环己醇具有樟脑气味, 其在青椒新鲜状态下未检出, 而在青椒贮藏中后期检出, 这可能是辣椒在贮藏的中后期开始腐烂变质所致。OAV>1 的烯类有 3-萜烯, 其是“改良螺丝椒王”品种青椒特有的挥发性风味物质, 其呈现出松木香, OAV 随着贮藏时间的延长呈现降低趋势。此外, 反式-2-壬醛是“改良螺丝椒王”品种青椒贮藏初期特有的挥发性风味物质, 其具有黄瓜味、青草味。“黔椒 8 号”特有的挥发性风味物质为 1-己醇和环己醇。

表 1 青椒贮藏过程中重要香气活性物质的 OAVs  
Table 1 OAVs of important aroma active substances during green *Capsicum annuum* L. storage

| 物质             | 阈值 <sup>[20]</sup> | 气味描述     | 改良螺丝椒王  |        |        | 黔椒 8 号 |        |        |
|----------------|--------------------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                |                    |          | 0 d     | 16 d   | 32 d   | 0 d    | 16 d   | 32 d   |
| 正己醛            | 0.039              | 青草气、苹果香  | 58.21   | 0.00   | 0.00   | 65.13  | 20.26  | 0.00   |
| 反式-2-壬醛        | 0.4                | 黄瓜味、青草气  | 1.10    | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| 2-己烯醛          | 0.63               | 甜杏仁香, 清香 | 10.81   | 1.08   | 3.54   | 14.29  | 7.08   | 1.13   |
| (E)-2-庚烯醛      | 0.25               | 青草香、脂香味  | 3.16    | 3.49   | 0.00   | 0.00   | 0.84   | 0.00   |
| (E,E)-2,4-癸二烯醛 | 0.0023             | 橙子香、脂香味  | 1278.26 | 478.26 | 121.74 | 417.39 | 0.00   | 0.00   |
| β-环柠檬醛         | 0.88               | 果香和清香    | 0.19    | 0.16   | 0.00   | 0.42   | 0.20   | 0.09   |
| 水杨酸甲酯          | 0.04               | 冬青叶香味    | 575.00  | 34.75  | 30.00  | 410.00 | 330.00 | 144.00 |
| 1-己醇           | 0.034              | 水果香气     | 0.00    | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 11.18  |
| 环己醇            | 0.64               | 樟脑气味     | 0.00    | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.59   | 0.89   |
| 肉豆蔻醛           | 0.06               | 鸢尾香、脂肪香  | 218.50  | 171.50 | 97.50  | 249.83 | 220.50 | 110.83 |
| 3-萜烯           | 0.77               | 松木香      | 14.73   | 3.55   | 3.84   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| β-紫罗兰酮         | 5.67               | 木香花香     | 2.35    | 1.49   | 0.49   | 1.90   | 1.53   | 0.00   |
| 2-正戊基呋喃        | 4.8                | 果香、泥土味   | 0.18    | 0.00   | 0.17   | 0.08   | 0.11   | 0.05   |



### 3 结 论

在低温结合气调包装贮藏期间,“黔椒 8 号”和“改良螺丝椒王”的转红指数、腐败率和失重率均随贮藏时间的延长呈上升趋势,可溶性蛋白和叶绿素含量均随贮藏时间的延长呈下降趋势。整体来看,在贮藏的中后期,“黔椒 8 号”的腐败率和转红指数显著低于“改良螺丝椒王”,可溶性糖和叶绿素等物质消耗均低于“改良螺丝椒王”,因此,“黔椒 8 号”的贮藏性能优于“改良螺丝椒王”。两个品种共检测出 48 种挥发性物质,主要以醛类、酯类为主。在贮藏末期,“黔椒 8 号”对醛类和酯类物质的保留率显著高于“改良螺丝椒王”,风味损失较少。根据定量结果和阈值对每种物质的 OAV 进行计算,确定了两个品种共有的关键特征呈香物质为(*E,E*)-2,4-癸二烯醛、水杨酸甲酯、肉豆蔻醛、正己醛、2-己烯醛和  $\beta$ -紫罗兰酮,其含量均随着贮藏时间的延长而下降;3-萜烯是“改良螺丝椒王”整个贮藏过程特有的风味物质,其 OAV 随着贮藏时间的延长呈现降低趋势,反式-2-壬醛是“改良螺丝椒王”品种青椒贮藏初期特有的风味物质。“黔椒 8 号”特有的挥发性风味物质为 1-己醇和环己醇。综上,“黔椒 8 号”品种青椒的耐贮性好,且贮藏期特色风味损失较少,后续将对不同品种青椒的表面菌群进行研究,明确各品种青椒的优势菌群,为青椒的绿色保鲜提供理论依据。

### 参考文献

- [1] KUMAR N, PRATIBHA, NEERAJ, *et al.* Effect of active chitosan-pullulan composite edible coating enrich with pomegranate peel extract on the storage quality of green bell pepper [J]. LWT-Food Sci Technol, 2020, 12(8): 1–36.
- [2] SUN H, LI Q, MAO LZ, *et al.* Investigating the molecular mechanisms of pepper fruit tolerance to storage via transcriptomics and metabolomics [J]. Horticulturae, 2021, 242(7): 101–119.
- [3] 张少平, 李洲, 练冬梅, 等. 青椒采收后贮藏保鲜研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(18): 1–14.  
ZHANG SP, LI Z, LIAN DM, *et al.* Progress in techniques for postharvest quality preservation of green peppers [J]. Food Sci, 2022, 43(18): 1–14.
- [4] 吉宁, 张丽敏, 彭熙, 等. 低温下不同自发气调袋对百香果贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(23): 54–63.  
JI N, ZHANG LM, PENG X, *et al.* Effects of different spontaneous modified atmosphere package bags on storage quality of passion fruit at low temperature [J]. Packag Eng, 2021, 42(23): 54–63.
- [5] 巫梅婷, 王玲, 陈于陇, 等. 自发气调包装下不同品种韭菜贮藏品质对比分析[J]. 保鲜与加工, 2023, 23(4): 9–15.  
WU MT, WANG L, CHEN YL, *et al.* Comparative analysis of storage qualities of different varieties of leeks under modified atmospheric package [J]. Storage Process, 2023, 23(4): 9–15.
- [6] 李丽, 易萍, 孙健, 等. 低温结合气调包装处理对鲜切胡萝卜品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47: 159–165.  
LI L, YI P, SUN J, *et al.* The effect of low temperature combined with modified atmosphere packaging on quality of fresh-cut carrots [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(4): 159–165.
- [7] 曹森, 赵成飞, 钟梅, 等. 自发气调包装对辣椒贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(13): 271–276.  
CAO S, ZHAO CF, ZHONG M, *et al.* Effect of modified atmosphere packaging on the storage quality of *Capsicum annuum* L. [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38 (13): 271–276.
- [8] RANJEET S, SK G, KOTWALI WALE N. Shelf-life enhancement of green bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under active modified atmosphere storage [J]. Food Packag Shelf Life, 2014, 1(2): 101–112.
- [9] 郑鹏蕊, 李东立, 付亚波, 等. 一种自发气调包装袋对杨梅果实采后品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(6): 28–34.  
ZHENG PR, LI DL, FU YB, *et al.* Effects of a spontaneous modified atmosphere packaging bag on postharvest qualities of bayberry (*Myrica rubra*) fruits [J]. Storage Process, 2022, 22(6): 28–34.
- [10] GONZALEZ-AGUILARGA, AYALA-ZAVAL JF, RUIZ-CRUZS, *et al.* Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh-cut bell peppers [J]. LWT-Food Sci Technol, 2004, 37(8): 817–826.
- [11] FUONGFUCHAT A, CHINSIRIKUL W, KERDDONFAG N, *et al.* The utilization of simple mathematical model in developing equilibrium modified atmosphere inside the package of fresh produce [J]. Agric Sci J, 2006, 37(5): 62–65.
- [12] OLVEIRA-BOUZAS V, PITA-CALVO C, VÁZQUEZ-ODÉRIZ ML, *et al.* Evaluation of a modified atmosphere packaging system in pallets to extend the shelf life of the stored tomato at cooling temperature [J]. Food Chem, 2021, 364: 130309.
- [13] 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.  
LI HS. Principles and techniques of plant physiology and biochemistry experiments [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [14] 雷婷婷, 殷诚, 孙陟岩, 等. 气态臭氧结合微孔气调包装对杨梅品质和抗氧化性能的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(13): 112–119.  
LEI TT, YIN C, SUN ZY, *et al.* Effect of ozone gas combined with perforated modified atmosphere packaging on quality and antioxidant capacity of Chinese bayberry [J]. Food Sci, 2023, 44(13): 112–119.
- [15] 王雪雅, 陆宽, 孙小静, 等. 贵州不同辣椒品种的品质及挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 212–218.  
WANG XY, LU K, SUN XJ, *et al.* Quality and flavor analysis of different hot pepper varieties grown in Guizhou [J]. Food Sci, 2018, 39(4): 212–218.
- [16] 刘斌善, 魏晓明, 邵丹青, 等. GC-MS-O 结合 OAV 表征烧麦中关键香气成分及其在储存过程中的变化情况[J]. 食品科学, 2022, 43(20): 1–16.  
LIU BS, WEI XM, SHAO DQ, *et al.* Characterization of the key odorants in Shaomai and their changes during storage by GC-MS/O coupled with OAV [J]. Food Sci, 2022, 43(20): 1–16.

- [17] 荣波, 蒋青香, 林诗笛, 等. 基于 GC-MS-O 结合 OAV 比较铁观音和白芽奇兰茶叶的香气品质[J]. 现代食品科技, 2022, 38(12): 351–363.  
RONG B, JIANG QX, LIN SD, *et al.* Comparison of the aroma qualities of Tieguanyin and Baiyaqilan teas based on GC-MS-O and OAV [J]. Mod Food Sci Technol, 2022, 38(12): 351–363.
- [18] JING W, MENG H, JIE M, *et al.* Identification of key odor-active compounds and development of odor wheels in rubber product industries using TD/GC-O-MS, OAV, and statistical analysis [J]. Atmos Pollut Res, 2023, 14(8): 101837.
- [19] ZHU JC, NIU Y, XIAO ZB. Characterization of the key aroma compounds in Laoshan green teas by application of odour activity value (OAV), gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry (GC-MS-O) and comprehensive two-dimensional gas chromatography mass spectrometry (GC×GC-qMS) [J]. Food Chem, 2020, 339: 128136.1–128136.12.
- [20] WANG YX, ZHOU FH, ZUO JH, *et al.* Pre-storage treatment of mechanically-injured green pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit with putrescine reduces adverse physiological responses [J]. Postharvest Biol Technol, 2018, 145: 239–246.
- [21] 杜金华, 傅茂润, 李苗苗, 等. 二氧化氯对青椒采后生理和贮藏品质的影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39(6): 1215–1219.  
DU JH, FU MR, LI MM, *et al.* Effects of chlorine dioxide on post-harvest physiology and storage quality of green peppers [J]. Sci Agric Sin, 2006, 39(6): 1215–1219.
- [22] 高哲, 韩涛, 李红卫, 等. 钙和水杨酸处理对冬枣采后品质的影响[J]. 食品科学, 2007, 28(6): 336–339.  
GAO Z, HAN T, LI HW, *et al.* effects of calcium and SA treatment on qualities of jujube fruits during cold storage [J]. Food Sci, 2007, 28(6): 336–339.
- [23] RANJITHA K, SUDHAKAR RDV, SHIVASHANKARA KS, *et al.* Effect of pretreatments and modified atmosphere packaging on the shelf life and quality of fresh-cut green bell pepper [J]. J Food Sci Technol, 2015, 52: 7872–7882.
- [24] SALTVEIT ME. A summary of ca requirements and recommendations for vegetables [J]. Acta Hort, 2003, 600: 723–727.
- [25] 罗政, 耿子坚, 陈飞平, 等. 不同气调包装对鲜食冬枣保鲜效果的比较[J]. 广东农业科学, 2021, 48(3): 151–159.  
LUO Z, GENG ZJ, CHEN FP, *et al.* Comparison of fresh-keeping effects of different modified atmosphere packaging on fresh winter jujube [J]. Guangdong Agric Sci, 2021, 48(3): 151–159.
- [26] PATEL N, GANTAIT S, PANIGRHI J. Extension of postharvest shelf-life in green bell pepper (*Capsicum annuum* L.) using exogenous application of polyamines (spermidine and putrescine) [J]. Food Chem, 2019, 275 (MAR.1): 681–687.
- [27] YANG Y, AI L, MU Z, *et al.* Flavor compounds with high odor activity values (OAV>1) dominate the aroma of aged Chinese rice wine (Huangjiu) by molecular association [J]. Food Chem, 2022, (30): 132370.1–132370.12.
- [28] HAO J, ZHANG MT, YE J, *et al.* HS-SPME-GC-MS and OAV analyses of characteristic volatile flavour compounds in salt-baked drumstick [J]. LWT, 2022, 170: 114041.
- [29] 陈翰, 罗安伟, 陈旭蕊, 等. 青椒新鲜度与其挥发性气味成分的关系[J]. 食品科学, 2016, 37(7): 6–14.  
CHEN H, LUO ANW, CHEN XR, *et al.* Relationship between volatile components of green pepper and its freshness [J]. Food Sci, 2016, 37(7): 6–14.
- [30] JUNIOR S, TAVARES AM, FILHO JT, *et al.* Analysis of the volatile compounds of Brazilian chilli peppers (*Capsicum* spp.) at two stages of maturity by solid phase micro-extraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Res Int, 2012, 48(1): 98–107.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

## 作者简介



陈 菊, 硕士, 实习研究员, 主要研究方向为农产品贮藏及加工。  
E-mail: juchen0924@163.com



孙小静, 助理研究员, 主要研究方向为农产品贮藏及加工。  
E-mail: 981970257@qq.com