

# 果蔬乙烯催熟系统设计及香蕉催熟试验

孟祥春, 黄泽鹏, 毕方铖

(广东省农业科学院果树研究所·农业部南亚热带果树生物学与遗传资源利用重点实验室, 广州 510640)

**摘要:**【目的】综合精准自动控制果蔬采后催熟所需温度、湿度、乙烯及CO<sub>2</sub>气体参数, 实现用乙烯气体安全自动催熟采后果蔬。【方法】在可控温控湿贮藏库中, 设计加装乙烯气体输入感应装置、CO<sub>2</sub>感应清除装置和微电脑调控程序终端, 组成采后果蔬乙烯气体催熟系统, 将库内多传感器和执行机构与微电脑调控终端连接, 通过程序实现自动控制催熟各参数, 并试验应用于香蕉的催熟。【结果】乙烯气体催熟系统可精确有效地自动控制贮藏库内的湿度、乙烯和CO<sub>2</sub>气体体积分数, 通入乙烯气体催熟处理2~3 d即可使香蕉达到外观销售需求, 且贮藏过程中香蕉的果肉硬度降低慢, 货架期达8 d。【结论】同乙烯利催熟相比, 采用该系统催熟香蕉具有安全自动、蕉果黄色色泽(*b'*值)和亮度值(*L'*)较高、后熟软化速度慢、货架期延长2~3 d等优点, 可替代传统的乙烯利催熟方法。

**关键词:** 香蕉; 乙烯气体; 传感器; 微电脑控制终端; 品质因子

中图分类号: S668.1 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2018)03-0376-09

## A system for ripening fruits and vegetables with gaseous ethylene and its experimental application in stimulating banana ripening

MENG Xiangchun, HUANG Zepeng, BI Fangcheng

(Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Science · Key Laboratory of South Subtropical Fruit Biology and Genetic Resource Utilization, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

**Abstract:** 【Objective】Fruits and vegetables, such as banana, avocado, kiwifruit and tomato are harvested at green mature status. They are subsequently allowed to ripen at ambient conditions for uniform color. Currently in China, dipping or spraying with ethephon is the most common method to induce ripening of fruits and vegetable. Because the use of ethephon is banned in many countries due to health and environmental reasons, there is great need to develop ripening device and techniques using ethylene gas. The gaseous ethylene is a plant hormone promoting physiological senescence. For successful induction of ripening, accurate control of relative humidity (RH), temperature, and ethylene and CO<sub>2</sub> concentrations in the airtight ripening room is very important. Otherwise, there will be negative effects on ripening, pigmentation and quality. Because of their delicious, nice yellow-colored and nutritious pulp, bananas are the most popular fruit in China, especially in the north part. Ethephon is still commercially used in wholesale markets to ripen banana. Little information on ripening banana using gaseous ethylene has been reported, and there is need to standardize the method of ripening banana with this gas so that the uniformly ripened banana can fetch a remunerative price in domestic and international markets. 【Methods】A system for inducing fruit and vegetable ripening with gaseous ethylene was designed and built in a storage room with automatic temperature and RH controlling. The system consisted of three main parts: 1) ethylene gas input, sensing and regulation settings; 2) a device for sensing CO<sub>2</sub> concentration and removing excessive CO<sub>2</sub> released by fruit respiration; 3) a micro-computer controlling terminal, software and other attached accessories. The system was a dry-fog humidity control system, in

收稿日期: 2017-02-23 接受日期: 2018-01-09

基金项目: 广东省科技厅国际科技合作计划(2013B050800015; 2015A050502036); 广东省科技厅科技计划(2014A020208055; 2014A020208064)

作者简介: 孟祥春, 女, 副研究员, 博士, 主要从事果蔬采后生物学及贮运保鲜技术研究。E-mail: gerbera\_mxc@126.com

which mists generated through the fogger can rapidly spread providing steady RH as high as 90%-98%. Sensors for ethylene, CO<sub>2</sub>, temperature and RH in the ripening room can continually sense their changes and transmit the signal to the corresponding micro-computer controlling terminal, then the controlling unit can automatically turn on or off each part, so that ethylene, CO<sub>2</sub>, temperature and RH in the ripening room could constantly be maintained at the optimized points, which are most important for successful ripening characterized by uniform color and minimum weight loss and rotting. 【Results】Application test and evaluation of the ripening system used for banana ripening was conducted. Results showed that the ripening system can accurately control ethylene, CO<sub>2</sub> and RH in the airtight ripening room at the set points. Banana fruit harvested at 75%-80% full maturity were exposed to 0.01% ( $\varphi$ ) ethylene gas for three days at 18-20 °C and RH 95%. Commercial properties of the ripe banana fruit treated with gaseous ethylene were excellent with better bright yellow color, higher hardness in pulp, later development of pericarp brown flecks and longer shelf-life as compared to the control bananas ripened with ethephon dipping. In addition, there was no significant difference in quality parameters between ethylene gas treated banana and ethephon dipped banana. However, the content of vitamin C in ethylene gas treated banana was slightly higher. Moreover, there was less weight loss and less mechanical damage in ethylene gas treated bananas. 【Conclusion】In conclusion, one of the advantages of the ripening system using ethylene gas for fruits and vegetables is its accurate and automatic control of all the parameters needed for artificial ripening. The operation of the ripening system needs just water, electricity, air and ethylene gas with no production of wastes, such as plastic packaging film and ethephon derives. Therefore, this ripening system is energy saving, environmental friendly and labor saving. In a ripening room as big as 500 cubic meters, up to fifty tons of bananas can be ripened. This ripening system using gaseous ethylene is a good alternative to the traditional method with ethephon and meets the international food safety standards. The ripening system can also be used in ripening fruits such as tomato, mango and kiwifruit and in citrus de-greening. With the development of domestic fruit and vegetable industries, the ripening system has a wide range of potential applications. However, further experiments and commercial tests should be conducted to find the optimal conditions for different fruits and vegetables at different maturity stages.

**Key words:** Banana; Ethylene gas; Sensor; Micro-computer controlling terminal; Quality effectors

乙烯作为一种植物激素,可激发及促进呼吸跃变型水果的后熟过程,这一原理已被作为一种商业的采后处理方式应于采后果蔬的催熟<sup>[1-2]</sup>。乙烯利(2-氯乙基膦酸)是一种人工合成的可释放乙烯气体的低毒有机磷植物生长调节剂农药,由于在农业生产中使用方便,普遍用于促进各类瓜果开花、成熟、抑制植物生长、打破种子休眠等方面<sup>[3-4]</sup>。已有研究报道乙烯利普遍应用于香蕉<sup>[5-6]</sup>、芒果<sup>[7-8]</sup>、番茄<sup>[9-10]</sup>、罗汉果<sup>[11]</sup>等果蔬的采后催熟处理,也应用于柑橘果实的脱绿<sup>[12-13]</sup>。乙烯利作用于农作物时首先渗透至植物组织,在植物体内分解产生有活性作用的乙烯气体、2-羟基磷酸和氯化物。因此采用乙烯利催熟采后果蔬,会造成乙烯利或其分解生成的副产物残留超标,给果蔬的食用安全带来安全隐患,同时对果蔬的口

感也有一定影响<sup>[2-3,14]</sup>。此外,大量乙烯利溶液利用后直接废弃,严重污染环境。有报道显示,使用质量分数为6 000 mg·kg<sup>-1</sup>的乙烯利涂果或浸果催熟,可造成果实残留量严重超标<sup>[14]</sup>。采用2.5% ( $\varphi$ ) 乙烯利催熟‘Latundan蕉’,乙烯利的残留量达23 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[15]</sup>。乙烯利目前在欧美等发达国家已被禁止用于采后果实的催熟。

用外源乙烯催熟水果时,乙烯气体、CO<sub>2</sub>气体、温度、相对湿度和处理时间等参数的正确利用及最佳水平选择决定了催熟水果的质量<sup>[1,16]</sup>。采用乙烯利浸泡或喷淋催熟不能实现对这些催熟参数的综合精准控制,以达到果蔬催熟后品质的最大化。另外,大量催熟时,易造成催熟房内果实呼吸产生的CO<sub>2</sub>积累伤害。在催熟库中,将果蔬暴露在适当浓度的

乙烯气体中一定时间,并同时控制温度、湿度、CO<sub>2</sub>等参数在最佳水平,才能实现最佳催熟,这也是国际上通用的标准果蔬催熟技术,在国外水果规模化商业生产中普遍应用于香蕉、鳄梨、猕猴桃、芒果等果蔬的采后催熟及柑橘的采后脱绿<sup>[17-18]</sup>。Dhall等<sup>[2]</sup>试验证实,与乙烯利催熟采收后的番茄相比,采用0.01%(φ)乙烯气体处理采收时成熟度不一致的番茄更优,其可使番茄果实充分成熟,红色色泽均一,有较高的硬度及最小的腐烂率。

国内目前建有少量利用乙烯气体催熟果蔬的催熟房(库),但存在关键参数(乙烯气体和CO<sub>2</sub>浓度)控制不精确、空气相对湿度低造成催熟过程中失水失重严重、自动化程度低等问题。因此,乙烯气体控制装置催熟的技术在国内生产上应用不多。生产上急需一种可综合且精准控制贮藏库内的温度、湿度、乙烯和CO<sub>2</sub>浓度等参数的催熟系统及方法。因此,笔者组建了一种采后果蔬乙烯气体催熟系统装置,并以香蕉的催熟为例进行性能分析评价,以期为果蔬产业提供一种安全自动、环保、标准的乙烯气体催熟装置设施和配套技术。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

1.1.1 组装果实乙烯气体催熟系统的装备及材料 乙烯气体催熟系统主要由温度控制装置、相对湿度控制装置、乙烯气体输入感应装置、CO<sub>2</sub>感应清除装置4个执行机构和1个微电脑调控终端5部分组成。原有贮藏库中的温度控制装置为常规的制冷机组系统(制冷压缩机和冷风机)和温度传感器(型号:瑞士ROTRONIC,HC2-ST;测温范围:-50~100℃;精度:±0.1℃;)。一般果蔬的催熟温度在20℃左右,且温度需求范围广,所以也可采用较大功率的空调系统控温。

控制环境相对湿度的为“干雾”湿度自动控制装置,其雾化器以净化水和压缩空气为原料,可喷发2~10 μm的水雾离子均匀扩散到环境空气中,提供90%~98%的精确高湿度(湿度传感器型号:瑞士ROTRONIC,HC2-SH;测温范围:0~100%RH;精度:±0.8%RH),其配置组成见文献[19]。

乙烯气体输入感应和CO<sub>2</sub>感应清除装置主要由换气扇组合、乙烯气罐、乙烯输入管道及控制电阀、乙烯气体浓度传感器[型号:瑞士MEMBRAPOR,

C2H<sub>4</sub>/C-200;量程:0~0.02%;输出信号:(100±30)nA/ppm]和CO<sub>2</sub>气体浓度传感器(型号:瑞士MEMBRAPOR,NDIR-CO<sub>2</sub>/G-200;量程:0~20%VOL;精度:±2%FS;分辨率:0.01%VOL)组成。

微电脑调控终端采用以色列HygroTech Module2装置,其包含乙烯和CO<sub>2</sub>自动控制程序,用于乙烯和CO<sub>2</sub>浓度值设定、乙烯和CO<sub>2</sub>自动或手动控制模式选择、乙烯气体输入控制电阀的开关时长等参数的设定。此微电脑调控终端仅适用于小中型的果蔬催熟库,每个可控制3~5个催熟库房,不能达到大型催熟库多达10多个房间分别控制乙烯和CO<sub>2</sub>的要求,大型贮藏库可采用配套升级的电脑自动催熟控制装备及软件系统。

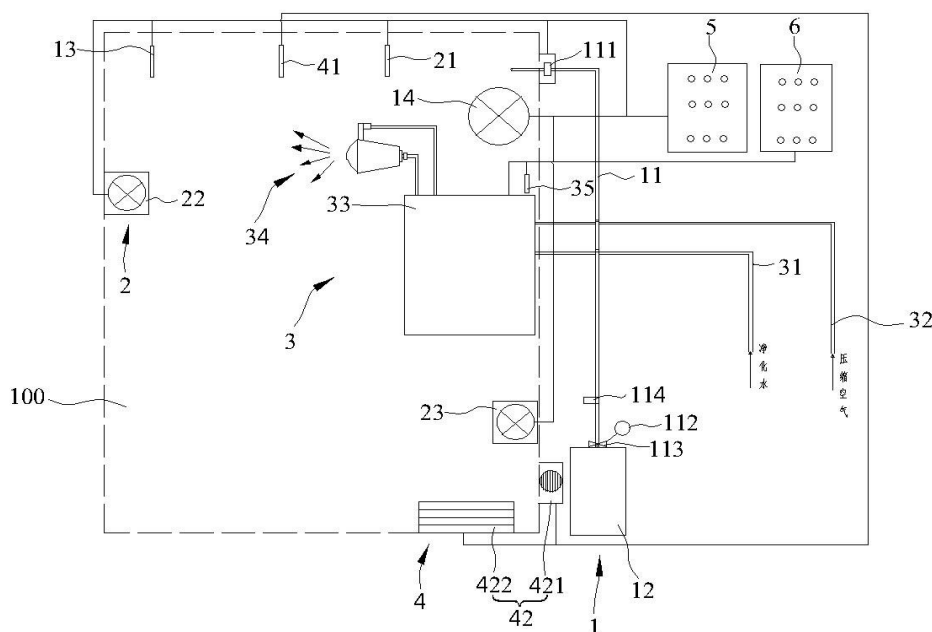
1.1.2 香蕉果实 以广东东莞大步村香蕉种植基地75%~80%饱满度的香蕉巴西种(*Musa acuminata*, AAA group ‘Carvendish’)为试材,75%~80%饱满度的判断标准为果身圆满,尚见棱角<sup>[20]</sup>。分别在2015年和2016年10月至12月采收3个批次的果实进行3次重复试验。

### 1.2 方法

1.2.1 果实乙烯气体催熟系统的设计原理 在可控温控湿的贮藏库中,设计加装乙烯气体输入感应装置、CO<sub>2</sub>感应清除装置和微电脑调控程序终端,组成采后果蔬乙烯气体催熟系统。将库内的多传感器(乙烯、CO<sub>2</sub>、温度和湿度)和相应执行机构与微电脑调控终端电连接并通过程序实现控制。库内的乙烯和CO<sub>2</sub>浓度传感器不断感应乙烯和CO<sub>2</sub>气体浓度变化,将浓度信号传递至微电脑调控终端,后者根据乙烯设定输入值和实测感应值的差异自动启动乙烯气体输入的开或关,同时根据CO<sub>2</sub>的输入限值和实测值差异自动控制CO<sub>2</sub>清除装置的开启和关闭。

1.2.2 果实乙烯气体催熟系统组装连接方式 乙烯气体自动催熟系统在贮藏库中的组装及连接如图1所示。100为贮藏库,1为乙烯气体输入感应装置,包括乙烯输送管(11),乙烯输送管的出口端设置在贮藏库内,进口端与乙烯气罐(12)连接,在乙烯输送管上设置有控制乙烯输入开或关的电磁阀(111),贮藏库内设置有乙烯传感器(13),可感应的乙烯气体体积分数范围为0~0.02%。在乙烯气罐处设置有压力表(112)和开关阀(113),在乙烯输送管靠近开关阀的一端还设置有调节乙烯流量的微调阀(114)。





100 为贮藏库;1. 乙烯气体输入感应装置;11. 乙烯输送管;111. 电磁阀;112. 压力表;113. 乙烯开关阀;114. 乙烯微调阀;12. 乙烯气罐;13. 乙烯传感器[0~0.02%( $\varphi$ )];14. 空气循环扇;2. CO<sub>2</sub>感应清除装置;21. CO<sub>2</sub>传感器;22. 进气扇;23. 排气扇;3. 干雾湿度自动控制装置;31. 净化水输送管;32. 压缩空气输送管;33. 水气混合及压力调节控制箱;34. 雾化器;35. 湿度传感器;4. 温度控制装置;41. 温度传感器;42. 制冷机组系统;421. 制冷压缩机;422. 冷风机;5. 乙烯和 CO<sub>2</sub> 微电脑调控终端;6. 冷库温湿度调控终端。

100. Storage room. 1. Ethylene gas input and sense device; 11. Ethylene gas transporting tube; 111. Electromagnetic valve; 112. Pressure meter; 113. Switch valve of ethylene gas; 114. Micro-regulation valve of ethylene gas; 12. Ethylene gas tank; 13. Ethylene gas sensor [0-0.02% ( $\varphi$ )]; 14. Air circulation fan; 2. CO<sub>2</sub> sense and elimination device; 21. CO<sub>2</sub> sensor; 22. Air intake fan; 23. Air ventilation fan; 3. Dry-fog controlled humidity device; 31. Transporting tube for purified water; 32. Transporting tube for compressed air; 33. Water & air mixing and pressure regulating unit; 34. Fogger; 35. Relative humidity sensor; 4. Temperature controlling device; 41. Temperature sensor; 42. Machinery unit for air cooling; 421. Refrigerating compressor; 422. Cooling air machine; 5. Micro-computer controlling unit for ethylene and CO<sub>2</sub>; 6. Controlling unit for temperature and humidity.

图1 乙烯气体催熟装置系统的结构组成及组装连接示意图

Fig. 1 Structures and installing diagram of the ripening system using ethylene gas

气罐上的开关阀为乙烯气体流量的第一控制开关,微调阀为乙烯气体流量的第二控制开关。在乙烯输送管出口端的下方还设置有促进空气循环的气体循环扇(14)。2为CO<sub>2</sub>感应清除装置,包括CO<sub>2</sub>传感器(21)和设置在贮藏库相对的2个墙壁上的进气扇(22)和排气扇(23)。乙烯气体输入感应装置和CO<sub>2</sub>感应清除装置均与乙烯和CO<sub>2</sub>微电脑调控终端(5)连接并受其控制。3为干雾湿度自动控制装置,净化水及压缩空气分别经水(31)、气(32)输送管道输送至水气混合及压力调节控制箱(33),然后通过雾化器(34)喷发出“干雾”,库内设置有湿度传感器(35)。4为温度控制装置,包括库内温度传感器(41)、含有库外制冷压缩机(421)和库内冷风机(422)的制冷机组系统(42)。冷库温湿度调控终端(6)分别与温度及湿度控制终端连接,并自动将温湿

度控制在设定值水平。

1.2.3 香蕉催熟试验方法 果实乙烯气体催熟系统催熟香蕉的操作流程及方法如下。

(1)预处理及包装入库。香蕉采收后抹除果指残花,经落梭、清洗杀菌、剔除残次果、装箱后转入催熟库中或将条蕉直接悬挂在催熟库中。如果要将梳蕉装入承装容器,必须使用有通风孔的纸箱或胶筐,以使空气及乙烯气体可循环流动。容器的码放要遵循可使空气充分循环流通的原则,并留有检查及出货通道。

(2)启动温度和湿度控制装置。果蔬入库后关好库门,依次启动温度控制装置及干雾湿度控制装置。将温度设定为18~20℃,空气相对湿度设定为95%。

(3)启动乙烯和CO<sub>2</sub>控制装置。待催熟库内的

温度和湿度稳定在设定值之后,打开乙烯和CO<sub>2</sub>微电脑调控终端电源,启动乙烯和CO<sub>2</sub>气体控制装置,设定输入乙烯气体体积分数为0.01%,CO<sub>2</sub>体积分数上限值为0.2%,然后打开乙烯气罐开关,至乙烯气罐的压力表显示为0.05~0.1 MPa。

(4)进行催熟。2~5 h后,库内乙烯气体体积分数即可达到并稳定在设定值,持续运行系统,期间根据需要可不定期检测记录温度、相对湿度、乙烯浓度和CO<sub>2</sub>浓度值。催熟进行过程中,由于换气或制冷压缩机运行导致的温度、相对湿度及乙烯气体浓度变化均会被微电脑控制终端感应并启动相应控制装置自动调控至设定值水平。

(5)停止催熟。饱满度为75%~80%的香蕉一般需要2~4 d果皮可完全转黄,这时即可停止催熟。停止催熟时,先关闭乙烯气罐开关,停止乙烯通入,将CO<sub>2</sub>控制系统的进气扇和排气扇转换为持续运行模式,继续运行6~10 h以移去催熟库内的剩余乙烯气体,然后打开库门,出库催熟的香蕉。

对照组的处理方法为:配制1 000 mg·kg<sup>-1</sup>的乙烯利溶液,将同样预处理后的蕉把依次在乙烯利溶液中浸泡30~60 s,随后取出香蕉用塑料袋包装密封置于18~20 °C环境中3 d。

每次催熟处理20箱(纸箱大小为53 cm×29 cm×37 cm,四周各有2个长方形通风孔,蕉把上下叠放,两蕉把之间垫一层泡沫棉),每箱5~6把梳蕉,质量为10~15 kg,试验设3次重复。

2个试验组的香蕉在催熟3 d后,放置在20~22 °C的模拟货架环境中,进行8 d的货架期观察,并进行果实品质指标测定。

1.2.4 香蕉成熟度及品质指标观测及分析方法 参考文献[20]的标准,根据果皮外观颜色将香蕉后熟过程划分为1~7个阶段:1为全绿色;2为亮绿色;3为绿色中间有少面积黄色;4为黄色中间有少面积绿色;5为黄色,只有蕉指尖端带绿色;6为全部黄色,无绿色;7为全部黄色,出现梅花点。一般认为阶段值4、5和6是香蕉上架架销售的最佳成熟阶段,阶段值7是货架期终止的指示。每样品观测记录10个果指的后熟阶段值,结果取平均值。

用GY-4数显果实硬度计测量果指中部横切面的果肉硬度,每样品测定6个果指,结果取平均值。

采用爱色丽(X-Rite)SP-60色差仪测定果指弓形背部上中下3个部位的L\*、a\*、b\*色度值,每样品取

10个果指,结果取平均值。

每处理取10个果指的果肉,加水混合后榨汁,经过滤后立即用日本ATAGO数显手持糖度计PAL-1测定可溶性固形物含量(TSS),然后取果汁5 mL,称重后分别用NaOH中和滴定法和2,6-二氯靛酚滴定法测定可滴定酸(TA)和维生素C含量,详细操作方法参考香蕉的国家标准<sup>[21]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 乙烯气体及乙烯利催熟处理后香蕉果实后熟及果肉硬度变化

乙烯气体处理组和乙烯利对照组的香蕉在20~22 °C模拟货架贮放期间的后熟阶段值变化如图2所示,图3为相应的果肉硬度变化。结果(图2,图4)显

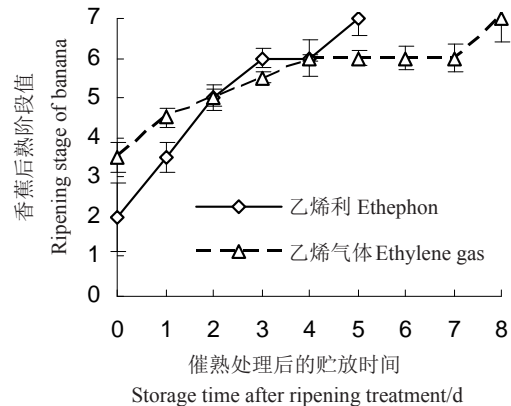


图2 乙烯利及乙烯气体催熟处理后贮放过程中香蕉阶段值变化

Fig. 2 Changes in ripening stage values of banana ripened by ethephon and ethylene gas treatments

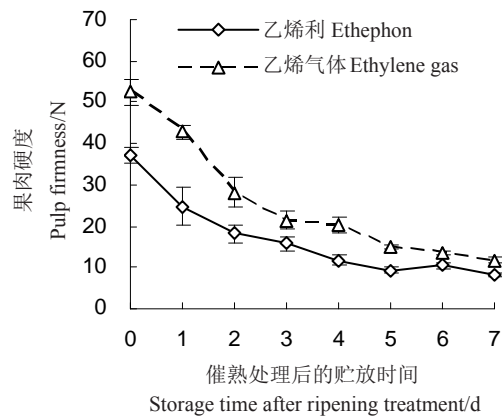


图3 乙烯利及乙烯气体催熟处理后贮放过程中香蕉果肉硬度变化

Fig. 3 Changes in pulp firmness of banana ripened by ethephon and ethylene gas treatments

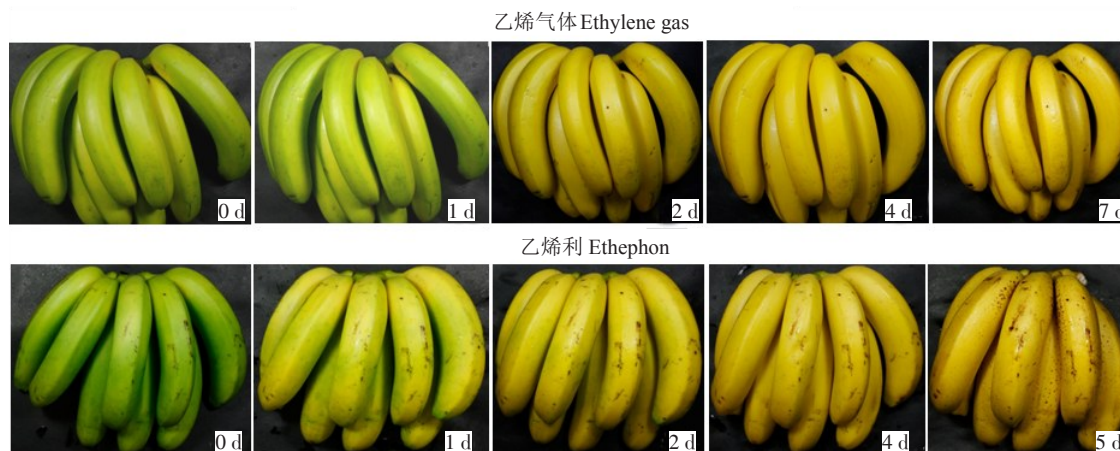


图4 乙烯利及乙烯气体催熟处理后模拟货架贮放过程中香蕉果皮色泽及果实成熟度变化

Fig. 4 Changes in banana pericarp color and ripening stage at different shelflife after ripening treatment with ethephon and ethylene gas respectively

示,用乙烯利催熟处理后的香蕉,0 d时果皮呈明亮绿色,阶段值为2,1 d时后熟至阶段值3~4,2 d时后熟至阶段值5,3 d和4 d时处于阶段值6,5 d到达阶段值7,即果皮全黄并出现了梅花点。阶段值4、5和6的香蕉具有最佳销售外观,因此加上3 d的密闭时间,本试验中用乙烯利催熟共需4~5 d才能达到外观销售需求。而持续通入乙烯气体催熟3 d后的香蕉(货架期0 d)在阶段值3~4,即果皮已开始转黄,已达到外观销售需求。之后成熟度不断增加,第4天到达阶段值6,之后在阶段值6可以维持3 d,第8天到达阶段值7,即货架期终止。对比可以看出,乙烯气体催熟的香蕉果皮转色提早,出现梅花点的速度慢,比乙烯利催熟的香蕉果多2~3 d的货架期。

在催熟处理后贮放期5 d内,乙烯气体催熟处理的香蕉果实硬度也一直显著高于乙烯利催熟处理的果实( $P < 0.05$ ),至第6和第7天,2种方法催熟处理的果实硬度降低到同一水平(图3)。

## 2.2 香蕉乙烯气体及乙烯利催熟处理后的色差变化

乙烯气体处理组和乙烯利对照组的蕉果在20~22 °C下贮放期间果皮的色差值变化如表1所示,2个催熟处理组在催熟终止后的模拟货架贮放0~4 d过程中,果面 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值均呈上升趋势,果面明亮度不断增加( $L^*$ 值代表明亮度, $L^*$ 值越大,明亮度越强),逐渐由深绿色转变为黄色( $a^*$ 值代表红绿色, $a^*$ 值越大,绿色越少; $b^*$ 值代表黄蓝色, $b^*$ 值越大,越偏于黄色)。同第4天相比,乙烯利对照组第5、6和7天的 $L^*$ 和 $b^*$ 值有所下降,表明果皮色泽明亮度下降,黄色变为暗淡。而乙烯气体处理组第7天的 $L^*$ 和 $b^*$ 值同第4、5和6天相比变化不明显,处于同一显著水平( $P < 0.05$ )。表明乙烯气体催熟的果皮色泽保持时间较长。另外,在第4、5、6和7天,乙烯气体催熟处理组果面的 $L^*$ 和 $b^*$ 值明显高于乙烯利对照组, $a^*$ 值则低于乙烯利对

表1 乙烯利及乙烯气体催熟处理后贮放过程中香蕉果皮色差( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值)变化

Table 1 Changes in pericarp color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) after ripening treatment with ethephon and ethylene gas

贮放时间 Storage time after ripening treatment/d	乙烯利 Ethephon			乙烯气体 Ethylene gas		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$
0	59.71±0.55	-10.70±0.86	42.06±1.55	60.07±1.18	-3.53±0.57	42.30±1.91
1	65.44±1.13	-3.77±0.53	46.53±0.89	61.95±2.03	2.14±0.47	49.83±1.22
2	69.73±1.76	2.15±0.42	48.80±2.07	64.28±0.89	3.42±0.28	51.40±2.60
3	71.62±0.75	4.64±0.67	50.95±0.84	69.15±0.76	2.57±0.37	53.41±1.26
4	70.73±3.20	7.15±0.39	55.58±2.80	77.20±3.02	5.17±0.27	57.01±3.42
5	68.54±1.37	8.21±0.46	51.15±1.04	75.93±0.93	5.61±0.34	58.28±1.12
6	66.41±0.67	9.24±0.38	46.57±0.81	74.62±0.63	7.13±0.59	53.49±0.84
7	66.48±0.78	9.85±0.89	47.24±2.20	78.90±1.56	8.03±0.24	56.62±2.12



照组,同样说明乙烯气体催熟可增强果面的黄色色泽及其明亮度,乙烯气体催熟处理组果面的色泽转变早于乙烯利对照组。

### 2.3 乙烯气体及乙烯利催熟处理后香蕉品质因子变化

图5为1 000 mg·kg<sup>-1</sup>乙烯利和0.01%( $\varphi$ )乙烯气体分别催熟处理后,香蕉在后熟过程中品质的变化。结果显示,2种催熟方式均可启动香蕉的后熟过程,随着后熟的进行,可溶性固形物含量均呈逐渐

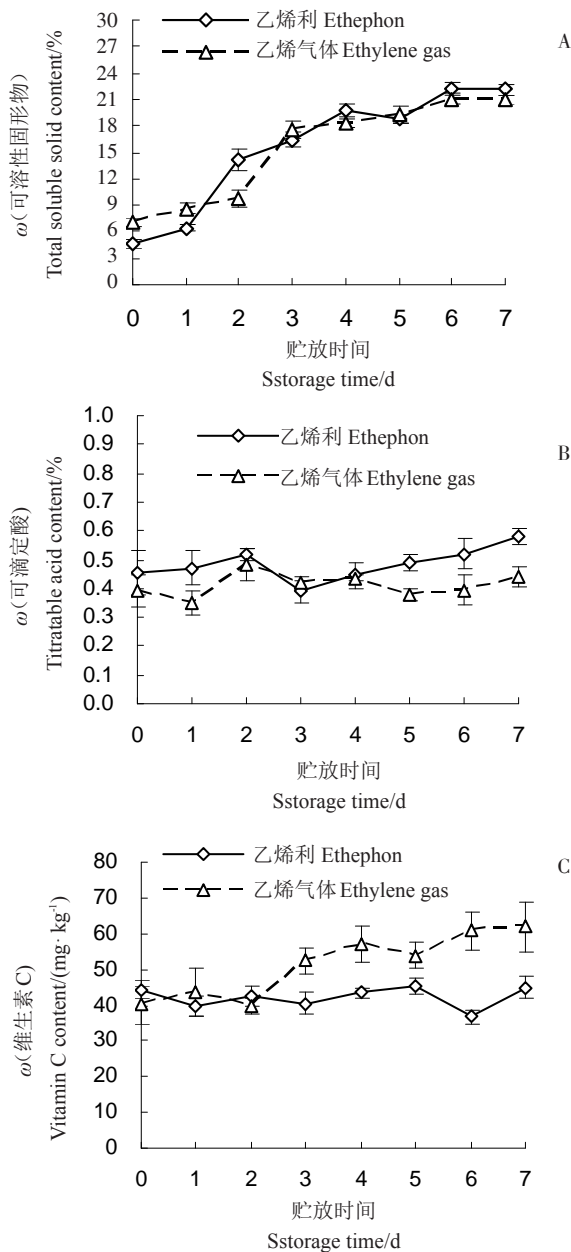


图5 乙烯利和乙烯气体催熟处理后贮藏过程中香蕉品质因子的变化

Fig. 5 Changes in banana pulp quality parameters after ripening treatment with ethephon and ethylene gas

上升趋势。在第2天,乙烯利催熟的果肉可溶性固形物含量显著高于乙烯气体,之后均在同一显著水平( $P < 0.05$ ),到第7天均达到最高值,乙烯利和乙烯气体催熟果实的可溶性固形物含量( $\omega$ )分别为22.15%和21.03%(图5-A)。果肉可滴定酸含量在后熟过程中的变化也呈略微上升的趋势,在第0~2、5~7天乙烯利催熟处理的可滴定酸含量显著高于乙烯气体催熟处理,在第3和4天2种处理在同一水平( $P < 0.05$ )(图5-B)。果实维生素C含量的变化后期上升明显,乙烯利对照处理组在第6天略微下降,这可能是取材蕉指的个体差异造成的。从第3天到第7天,乙烯气体催熟的香蕉果实维生素C含量( $\omega$ )为52.4~62.0 mg·kg<sup>-1</sup>,而乙烯利催熟处理的蕉果维生素C含量为40.0~45.0 mg·kg<sup>-1</sup>,低于乙烯气体催熟处理的果实维生素C含量(图5-C)。香蕉果肉可滴定酸和维生素C含量的差异表明,乙烯利和乙烯气体催熟导致的后熟软化及品质形成进程不同。在实际生产应用中,这种差异可能随拟催熟果实的成熟度、数量、温湿度等参数的变化而变化。

### 3 讨论

笔者在可控温控湿的贮藏库中设计加装乙烯气体输入感应装置、CO<sub>2</sub>感应清除装置和微电脑调控程序终端,组建成果蔬乙烯气体催熟系统,可综合控制果蔬催熟所需的温度、高湿度、乙烯和CO<sub>2</sub>气体关键参数,实现催熟进程的自动控制。此系统的特点是干雾湿度自动控制装置可提供95%~98%的相对高湿度,系统中CO<sub>2</sub>浓度的精准监测可避免CO<sub>2</sub>积累造成的果皮伤害,有助于获得最佳的外观色泽和亮度,高湿度可控制果蔬催熟过程中的失水失重,增强果蔬新鲜度,提高外观商品价值。应用于香蕉催熟的试验显示,在温度18~20℃、相对湿度95%、乙烯气体体积分数0.01%、CO<sub>2</sub>体积分数上限值0.2%的催熟条件下,2~3 d香蕉果皮可转黄,达到销售外观需求。且采用此系统装置及配套技术催熟的蕉果转色均匀,色泽明亮度高,商品果率高,且催熟后的蕉果后熟软化速度慢,果实货架期较长。应用于其他香蕉品种(如‘粉蕉’‘贡蕉’等)的催熟也具有同样的优越性(数据未显示)。

柑橘、番茄、芒果、番木瓜等水果在采收后也存在一个类似的绿熟阶段,即果实为绿色时果肉已成熟,果实采收后在自然贮藏过程中果皮颜色会逐渐

转变为固有色泽,但该过程比较缓慢且转色不均匀,这直接影响果实的外观品质及批量销售,降低其商品价值<sup>[7,11-12]</sup>。目前国内广泛应用碳化钙催熟芒果,由于普遍认为碳化钙对人体健康有害,且用于催熟水果时会破坏水果的甜度和固有的风味,印度食品与药品监督管理局 FDCA 已在 2011 年发文禁止使用碳化钙催熟芒果,而鼓励业界人士采用乙烯气体的科学方法催熟芒果<sup>[8,14]</sup>。本研究中果实乙烯气体催熟系统装置催熟香蕉的原理及操作技术同样可应用于柑橘脱绿及芒果、番木瓜、番茄等果实的催熟和转色,从而在上市前提高果实外观品质和商品价值。后续需要进一步研究确定不同种果蔬的最佳催熟技术参数组合。

果蔬乙烯气体催熟系统催熟果蔬只消耗水电、空气及少量的乙烯气体,无任何废弃物产生,用之取代乙烯利和碳化钙的催熟方法,可避免废弃物对环境和水土的污染,安全环保,无食品安全隐患。另外,适合果蔬的大批量产业化催熟,节省人力成本。以香蕉为例,落梭装箱后经贮藏和运输的绿熟香蕉在销售地可直接转至催熟库进行催熟处理,无需翻箱取出用乙烯利浸果,减少了蕉果受机械损伤的可能性,也降低人工操作导致的病原菌接触传染,省工省时。

果实的外观色泽能直接提高其商品性,我国国产香蕉品质优良,但色泽暗哑淡黄,果皮机械损伤严重,因此商品档次低。主要原因之一是普遍应用乙烯利催熟方法,催熟处理装置及技术滞后,直接影响了上市香蕉的商品品质。随着我国香蕉产业的区域化、集约化程度越来越高,产业化经营必然发展迅速,采用符合国际食品安全操作标准的催熟装备及技术是必然的应用发展趋势,也是提高国产香蕉商品品质的关键技术环节<sup>[22-23]</sup>。笔者设计的乙烯气体催熟装置系统及配套技术的应用目前国内尚为空白,用之催熟香蕉有助于提高国产香蕉的商品档次,提升附加值,实现香蕉催熟的标准化、产业化和自动化生产,应用前景广阔,有很大的市场发展空间。

## 4 结 论

果蔬乙烯气体催熟系统可综合控制果蔬催熟所需的温度、湿度、乙烯和 CO<sub>2</sub> 气体关键参数,实现催熟进程的自动控制,实现最佳催熟,省工省时、安全环保,符合国际食品安全操作标准。采用此系统装

置及配套技术催熟的蕉果转色均匀,色泽明亮度高,商品果率高,货架期较长。本研究的果实乙烯气体催熟系统装置催熟香蕉的原理及操作技术同样可应用于柑橘脱绿及芒果、番木瓜、番茄等果实的催熟和转色。但不同果蔬及同一果蔬的不同品种所需的最佳催熟参数条件均不同,在实际操作中必须根据特定的果蔬品种、成熟度和计划出库时间等因素确定最佳催熟技术参数组合。

## 参考文献 References:

- [1] SALVEIT M E. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1999, 15 (3): 279-292.
- [2] DHALL R K, SINGH P. Effect of ethephon and ethylene gas on ripening and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) during cold storage[J]. *Journal of Nutrition & Food Science*, 2013, 3: 244-251.
- [3] SINGH Z. Effect of postharvest application of ethephon on fruit ripening, quality and shelf-life of mango under modified atmosphere packaging[J]. *Acta Horticulturae*, 2001, 553: 599-602.
- [4] 卓春宣,林盛洪,陈登云,詹有青,彭迎春. 乙烯利处理对促进金柑果实成熟的影响[J]. *亚热带农业研究*, 2013, 9(2): 119-122.  
ZHUO Chunxuan, LIN Shenghong, CHEN Dengyun, ZHAN Youqing, PENG Yingchun. Effect of ethephon on promoting the fruits maturation of kumquat[J]. *Subtropical Agriculture Research*, 2013, 9(2): 119-122.
- [5] KUDACHIKAR S G, KUDACHIKAR V B, PRAKASH M N K. Studies on physico-chemical changes during artificial ripening of banana (*Musa* sp.) variety 'Robusta' [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2011, 48(6): 730-734.
- [6] 尚政,张宇,王萌,章程辉. 40%乙烯利水剂催熟对香蕉品质的影响[J]. *热带农业科学*, 2014, 34(6): 48-53.  
SHANG Zheng, ZHANG Yu, WANG Meng, ZHANG Chenghui. 40% ethrel's ripening effect on the qualities of banana[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2014, 34(6): 48-53.
- [7] KULKARNI S G, KUDACHIKAR V B, VASANTHA M S, PRAKASH M N K, PRASAD B A, RAMANA K V R. Studies on effect of ethrel dip treatment on the ripening behavior of mango (*Mangifera indica* L.) variety 'Neelam' [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2004, 41(2): 216-220.
- [8] GILL P P S, JAWANDHA S K, SINGH N P, KAUR N, VERMA A. Influence of postharvest applications of ethephon on fruit ripening in mango[J]. *International Journal of Advanced Biological Research*, 2014, 4(4): 438-445.
- [9] 马冲,周欣欣,张佳,张宏军,路兴涛. 乙烯利催熟番茄应用现状及对品质的影响[J]. *农药科学与管理*, 2014, 35(2): 64-70.  
MA Chong, ZHOU Xinxin, ZHANG Jia, ZHANG Hongjun, LU



- Xingtao. The application status and effect analysis of ethephon on tomato[J]. Pesticide Science and Administration, 2014, 35(2): 64-70.
- [10] SARGENT S A. Ripening and quality responses of tomato fruit ethylene[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 36: 127-134.
- [11] 王磊, 卢凤来, 刘金磊, 刘幼娴, 宋云飞, 李典鹏. 罗汉果苦苦的采后处理研究[J]. 西南农业学报, 2014, 27(1): 344-348.  
WANG Lei, LU Fenglai, LIU Jinlei, LIU Youxian, SONG Yunfei, LI Dianpeng. Postharvest handling study of luohanguo bitter fruit[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(1): 344-348.
- [12] 孟祥春, 高子祥, 张昭其, 张爱玉. 夏橙果实发育后期及返青期类胡萝卜素积累及乙烯的调控[J]. 中国农业科学, 2011, 44(3): 538-544.  
MENG Xiangchun, GAO Zixiang, ZHANG Zhaoqi, ZHANG Aiyu. Carotenoid accumulation and its regulation by ethylene in fruits of Valencia orange during its late development and re-greening stages[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(3): 538-544.
- [13] 孟祥春, 毕方铖, 丁心, 邓其海. 柑橘采后规范化乙烯脱绿技术介绍[J]. 中国南方果树, 2014, 43(6): 118-120.  
MENG Xiangchun, BI Fangcheng, DING Xin, DENG Qihai. Introduction of normalized ethylene acceleration technology in citrus[J]. South China Fruits, 2014, 43(6): 118-120.
- [14] 孙琳琳, 张恒. 乙烯利对番茄果实品质及安全性的研究[J]. 农业灾害研究, 2011, 1(1): 88-89.  
SUN Linlin, ZHANG Heng. Effect of ethephon on quality and safety of tomato fruit[J]. Journal of Agricultural Catastrophology, 2011, 1(1): 88-89.
- [15] TAN Q L P, AN H T T, THANH L L, HONG L L T, TUYET S N T. The effects of ethephon on the ripening of Vietnamese Latundan bananas (*Musa sapientum*) [J]. Emirates Journal of Food & Agriculture, 2013, 26(3): 229-237.
- [16] TOVAR B, MONTALVO E, DAMIAN B M, GARCIA H S, MATA M. Application of vacuum and exogenous ethylene on Ataulfo mango ripening[J]. Food Science and Technology, 2011, 44(10): 2040-2046.
- [17] PARK Y S, JUNG S T, GORINSTEIN S. Ethylene treatment of 'Hayward' kiwifruits (*Actinidia deliciosa*) during ripening and its influence on ethylene biosynthesis and antioxidant activity [J]. Scientia Horticulturae, 2006, 108(1): 22-28.
- [18] GROSS E K, WANG C Y, SALTVEIT M. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. Agriculture Handbook 66 [M]. Washington, DC: United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2016: 76-81.
- [19] 孟祥春, 黄泽鹏, 毕方铖, 金文渊. 干雾湿度控制系统的组建及果蔬贮藏保鲜应用试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(11): 271-276.  
MENG Xiangchun, HUANG Zepeng, BI Fangcheng, JIN Wenyuan. Dry-fog controlled humidity system and its application in fruit & vegetable storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(11): 271-276.
- [20] ADEL A K. Banana: Recommendations for maintaining postharvest quality [EB/OL]. (2014-01-18) [2017-02-23]. [http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity\\_Resources/Fact\\_Sheets/Datastores/Fruit\\_English/?uid=9&ds=798](http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Fruit_English/?uid=9&ds=798).
- [21] 国家技术监督局. 香蕉: GB/T 9827—1988[S]. 北京: 中国标准出版社, 1988.  
State Bureau of Technical Supervision. Banana: GB/T 9827—1988[S]. Beijing: China Standards Press, 1988.
- [22] 柯佑鹏, 过建春, 夏勇开, 王芳. 2013 年海南香蕉产业损害监测预警分析报告[J]. 中国热带农业, 2014(2): 36-39.  
KE Youpeng, GUO Jianchun, XIA Yongkai, WANG Fang. Banana industry injury monitoring and early warning analysis report of Hainan in 2013[J]. China Tropical Agriculture, 2014(2): 36-39.
- [23] 李佳琪. 世界香蕉贸易格局变化对中国香蕉市场的影响研究[D]. 海口: 海南大学, 2015.  
LI Jiaqi. The study on world banana trade pattern and its influence on Chinese banana market [D]. Haikou: Hainan Univeristy, 2015.