

# 保鲜运输用液氮充注气调控制系统的设计与试验

王广海<sup>1,2</sup>, 吕恩利<sup>1,3\*</sup>, 陆华忠<sup>1,3</sup>, 韩小腾<sup>1,3</sup>, 张明帮<sup>1,3</sup>

(1. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642;  
2. 广东机电职业技术学院汽车学院, 广州 510515; 3. 华南农业大学工程学院, 广州 510642)

**摘要:** 为实现对气调保鲜运输厢体内气体成分的自动控制, 以液氮充注气调为对象, 搭建了液氮充注气调试验平台。设计了基于低温保护优先的气调方案, 采用双限值的控制方法, 实现了液氮充注气调的自动控制。以香蕉为试验物料, 开展液氮充注气调保鲜试验。结果表明: 运输厢体气密性对氧气体积分数变化影响较大, 气密性差则增加了系统执行机构的工作频率及液氮消耗量; 塑料筐和纸皮箱 2 种香蕉包装条件对液氮充注降氧影响不大; 初始温度对液氮充注的降氧时间影响较大, 初始温度高时降氧时间短, 初始温度低时降氧时间长; 系统实现了以温度优先的气调控制策略, 系统工作稳定性良好。上述研究为开发液氮充注气调保鲜运输车提供了参考。

**关键词:** 运输, 液氮, 控制系统, 气调, 香蕉

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.01.045

中图分类号: S229<sup>+</sup>.3; S609<sup>+</sup>.3; TP29

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-01-0255-05

王广海, 吕恩利, 陆华忠, 等. 保鲜运输用液氮充注气调控制系统的设计与试验 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 255—259.

Wang Guanghai, Lü Enli, Lu Huazhong, et al. Design and experiment of controlled atmosphere system based on liquid nitrogen injection for fresh-keeping transportation [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 255—259. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

果蔬运输过程中对保鲜环境气体成分进行控制, 有助于抑制果蔬呼吸, 延长果蔬保鲜周期。文献[1-2]对果蔬保鲜运输所采用的气调类型及控制特点进行了分析, 文献[3-8]针对制氮机制氮气调控制进行了研究, 现有的制氮机制氮气调、制臭氧气调、果蔬呼吸自调、预混气体充注气调等气调方式普遍存在气调效率低或成本高等问题。然而, 液氮充注气调可快速调节厢体内的气体成分且成本低, 但液氮冷能大<sup>[9]</sup>, 易对果蔬产生冷害。因此, 有必要结合液氮充注开展气调控制系统的研究。

为实现液氮充注对厢体内气体成分的自动控制, 同时防止液氮冷能对果蔬产生冷害, 本研究设计了液氮充注气调控制系统, 并通过试验验证了系统的可靠性。在此基础上对影响液氮充注气调的厢体气密性、果蔬包装箱和液氮充注气调初始温度等进行了研究, 为液氮气调保鲜运输车的设计提供了依据。

## 1 液氮充注气调控制系统的设计

### 1.1 试验平台

保鲜运输用液氮充注气调试验平台如图 1 所示。试验厢体由 12 mm 厚有机玻璃板制作, 厢体尺寸规格(长×宽×高)为 2.38 m×1.28 m×1.40 m, 厢体外壁用 100 mm 厚的保温泡沫板紧贴保温。果蔬保鲜室和压力室用开孔隔板隔开, 开孔隔板开孔率为 4.03%<sup>[10]</sup>。风机转动促使厢体内气流在压力室、保鲜室和回风道间循环流动。离心式风机(型号为 HYA250, 广州市越秀区好丞风机电设备经营部生产)由变频器(型号为 SIMENS MM420, 西门子(中国)有限公司生产)控制, 以获得不同的通风速度。如图 2 所示, 分布横管上均匀开有 4 个直径为 3 mm 的小孔(开孔方向朝向风机), 汽化盘管与分布横管相连通安装在压力室内。汽化盘管的另一端与液氮罐相连。温度传感器(测量范围: -20~80℃, 精度: ±0.5℃)、氧气体积分数传感器(测量范围: 0~25%, 精度: ±1%)和二氧化碳体积分数传感器(测量范围: 0~20%, 精度: ±2%)用于采集厢体的保鲜环境参数, 其中氧气体积分数传感器和二氧化碳体积分数传感器布置于厢体后部(如图 1 所示), 用于监测厢体内的氧气体积分数和二氧化碳体积分数; 温度传感器布置在开孔隔板的开孔处, 用于监测进入保鲜室的气体温度。计算机通过记录仪记录各传感器数值。厢体前后端分别安装进气电磁阀和排气电磁阀, 电磁阀通径均为 50 mm。控制器选用 SIMENS S7-300PLC(西门子(中国)有限公司生产), 对氧气体积分数传感器、湿度传感器、二氧化碳体积分数传感器和温度传感器进行采样, 控制变频器、进气电磁阀、排

收稿日期: 2011-06-29 修订日期: 2011-12-02

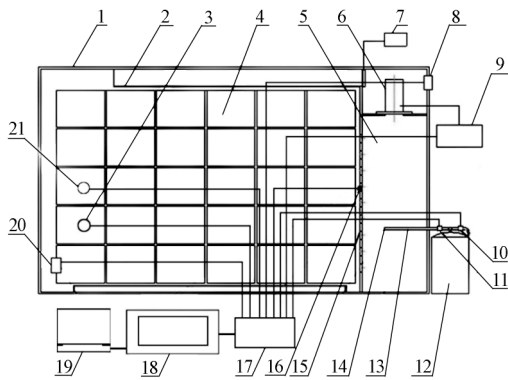
项目基金: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-33-13)、国家自然科学基金项目(31101363)、广东省自然科学基金资助项目(10151064201000038)、广州市农业科技项目(2011)、广东省科技计划项目(2011B020312003)。

作者简介: 王广海(1983—), 男, 广东陆丰人, 助教, 主要从事农业工程及车辆检测维修方面的研究。广州 广东机电职业技术学院汽车学院, 510515。Email: 94574353@qq.com

\*通信作者: 吕恩利(1979—), 男, 山东德州人, 博士生, 讲师, 研究方向为农业工程方面。广州 华南农业大学工程学院, 510642。

Email: enlilv@scau.edu.cn

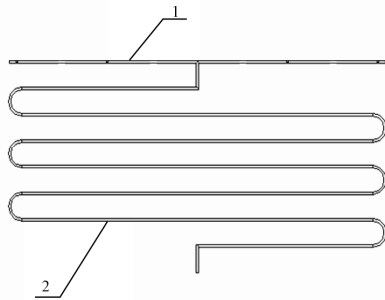
气电磁阀及液氮罐的增压电磁阀与出液电磁阀等执行设备工作。



1. 试验箱体保温泡沫板 2. 风道 3. 氧气体积分数传感器 4. 包装箱  
5. 压力室 6. 离心式风机 7. 风速仪 8. 进气电磁阀 9. 变频器  
10. 增压电磁阀 11. 出液电磁阀 12. 自增压液氮罐 13. 汽化盘管  
14. 分布横管 15. 开孔隔板 16. 温度传感器 17. 控制器 18. 无纸记录仪  
19. 计算机 20. 排气电磁阀 21. 二氧化碳体积分数传感器

图 1 液氮充注气调系统试验平台

Fig.1 Test platform of controlled atmosphere system based on liquid nitrogen injection



1. 汽化盘管 2. 分布横管

图 2 汽化盘管和分布横管

Fig.2 Vaporization coil and distributed horizontal tube

### 1.2 液氮充注气调控制策略

液氮潜在冷能巨大，为防止液氮充注气调对果蔬产生低温伤害<sup>[10]</sup>，在气调过程中采用基于低温保护优先的双限值的控制方法，以实现液氮充注气调的自动稳定控制。控制系统通过触摸屏选择所运果蔬品种后，系统会根据所运果蔬的保鲜参数自动加载设定值上限、设定值下限、果蔬保鲜极限值。当氧气体积分数高于程序设定上限值，若厢体内温度低于设定下限值，停止液氮充注、排气电磁阀和通风系统；若厢体内温度高于设定上限值，则开启液氮充注、排气电磁阀和通风系统（回风道风速 8 m/s），直至氧气体积分数降至设定下限值或温度降至设定下限值。若厢体内氧气体积分数低至设定极限值（或二氧化碳体积分数高至设定上限值），开启进气电磁阀、排气电磁阀及通风系统（回风道风速 4 m/s）与外界空气进行换气，直至氧气体积分数达到设定下限值（或二氧化碳体积分数达到设定下限值）。若氧气体积分数高于设定上限值，温度高于设定上限值，且二氧化碳体积分数在设定上限值与下限值间，则开启液氮充注、排气电磁阀和通风系统（回风道风速 8 m/s），直至氧气体积分

数降至设定下限值。当厢体内氧气体积分数、二氧化碳体积分数达到设定要求后，通风系统间歇性通风，每隔 15 min 通风 1 min（回风道风速 4 m/s）。

总的原则是在液氮充注气调时，各因素调控的优先级顺序为：温度、氧气体积分数、二氧化碳体积分数。本系统为了防止液氮充注过程中造成果蔬的低温伤害，控制系统设置了低温保护程序，而在气体调节控制过程中，没有进行温度范围的控制。系统控制流程图如图 3 所示。

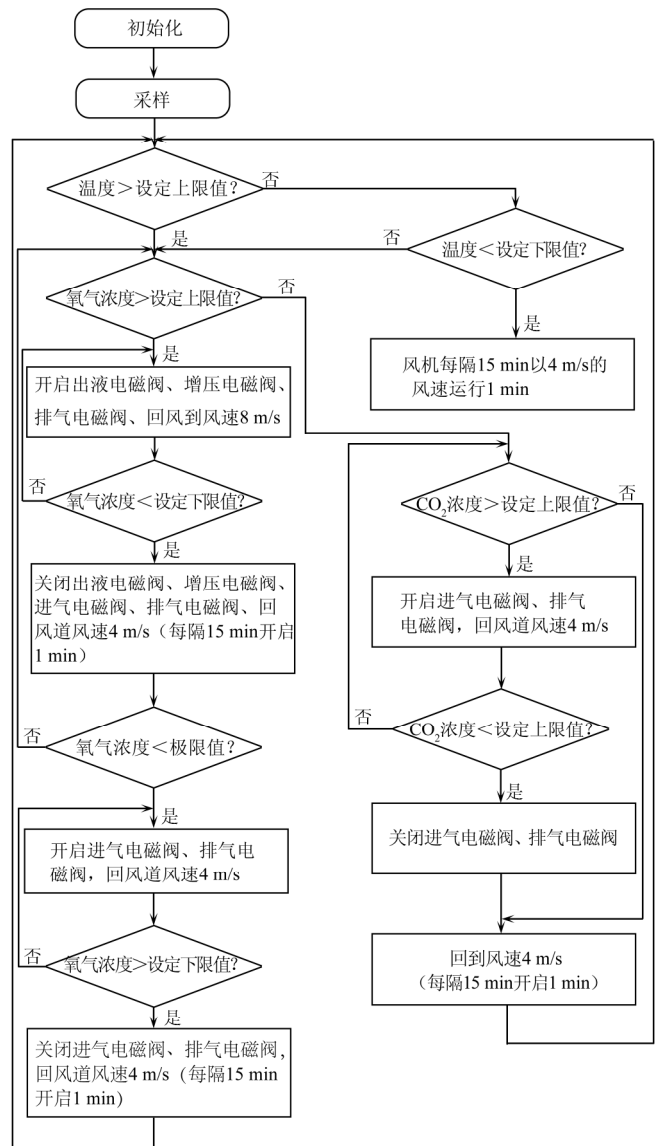


图 3 液氮充注气调系统控制流程图

Fig.3 Control flow graph of controlled atmosphere system based on liquid nitrogen injection

### 2 试验材料与控制参数

试验材料选用广东产香蕉，总重 250 kg，购于水果批发市场，未经任何催熟处理，果实七成熟，果实规则，无病虫害，无损伤，表皮呈青绿色，色彩光泽。试验香蕉分别采用塑料筐和纸皮箱 2 种包装方式，塑料筐尺寸规格（长×宽×高）为 495 mm×355 mm×255 mm，网状结

构, 开孔率 38.5%。纸皮箱尺寸规格(长×宽×高)为 315 mm×155 mm×265 mm, 前后对称侧面均留有 2 个 20 mm 孔径的通气孔。

据相关文献[11-20], 香蕉适宜的保鲜参数: 温度为 12~16℃, 氧气体积分数为 2%~5%, 二氧化碳体积分数为 2%~5%; 氧气体积分数过低或二氧化碳体积分数过高会对香蕉产生伤害, 氧气体积分数不得低于 1%, 二氧化碳体积分数不得高于 7%。结合液氮充注气调的特点与香蕉适宜的保鲜参数, 系统的控制参数如下: 温度设定上限值为 14℃, 设定下限值为 12℃, 即厢体内温度低于 12℃时停止充注液氮, 当温度高于 14℃, 氧气体积分数高于 5%时重新充注液氮; 氧气体积分数设定上限值为 5%, 设定下限值为 3%, 设定极限值为 1%, 即厢体内氧气体积分数高于 5%时开始充注液氮, 当氧气体积分数低于 3%时停止充注液氮, 直至 5%时重新充注液氮, 当氧气体积分数低于 1%时开启进、排气电磁阀换气, 直至 3%时关闭进、排气电磁阀; 由于厢体内二氧化碳体积分数, 其体积分数随着果蔬的呼吸作用会缓慢升高, 在控制中属于被动控制, 为防止二氧化碳体积分数过高造成果蔬中毒及控制系统动作频繁, 二氧化碳体积分数的设定上限值为 7%, 设定下限值为 6%, 即厢体内二氧化碳体积分数高于 7%时开启进、排气电磁阀换气, 当温度二氧化碳体积分数低于 6%时关闭进、排气电磁阀; 当厢体内二氧化碳体积分数高于 7%, 同时氧气体积分数低于 1%时, 开启进、排气电磁阀换气, 直至氧气体积分数和二氧化碳体积分数分别超过 3%和 6%时关闭进、排气电磁阀。试验运行的环境温度为 19~26℃, 其中夜间环境温度最低 19℃, 日间环境温度最高 26℃。

### 3 结果与分析

#### 3.1 控制系统可靠性验证

将香蕉装入塑料筐内, 置于液氮充注气调试验平台的厢体内, 用中性硅酮密封胶密封厢门。经对厢体进行气密性试验, 厢体漏气量为 1.452 m<sup>3</sup>/h。在控制器设定好控制参数后, 运行系统, 开始试验, 试验运行 11 d, 试验结果如图 4 所示。

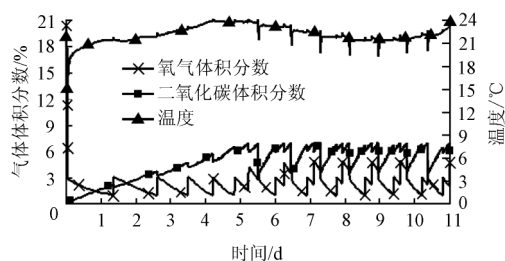


图 4 气体成分体积分数、温度随时间的变化关系  
Fig.4 Relationship between time and gas composition ,temperature

从图 4 可以看出, 通过液氮充注气调, 厢体内的氧气体积分数在 40 min 内由 20.95%降至 3%, 当氧气体积分数降至 3%后, 停止液氮充注, 共耗费液氮 10.65 kg。

但由于香蕉的呼吸作用, 厢体内的氧气体积分数在 30 h 后降低至 1%, 且由于香蕉的逐步成熟, 通过香蕉呼吸将氧气体积分数自 3%降至 1%的时间愈来愈短。厢体内氧气体积分数低于 1%会对香蕉产生伤害, 开启进气电磁阀、排气电磁阀和通风系统, 通过换气进入新鲜空气, 提高厢体内的氧气体积分数, 氧气体积分数在 7 min 内自 1%提高至 3%。二氧化碳体积分数在香蕉呼吸作用下在 125 h 由 0.03%升高至 7%。当厢体内的二氧化碳体积分数升高至 7%时, 通过换气来降低二氧化碳体积分数, 在 10 min 内二氧化碳体积分数降至 6%。换气在降低二氧化碳体积分数的同时, 提高了厢体内的氧气体积分数。当厢体内氧气体积分数高于 5%时, 启动液氮充注降氧, 约需 13 min 氧气体积分数降至 3%, 二氧化碳体积分数可降至 3.4%。液氮充注气调对厢体内温度影响较大, 氧气体积分数自 21.98%降至 3%时, 开孔隔板处的温度自 22℃降至 15℃, 每次液氮充注降氧都会对温度带来波动。

从试验结果可以看出, 液氮充注过程可以降低二氧化碳体积分数, 且下降速度比换气过程快。液氮充注气调控制系统运行稳定, 可靠性高。

#### 3.2 厢体气密性对保鲜环境中氧气体积分数变化的影响

将漏气量为 1.452 m<sup>3</sup>/h 的厢体视为密封良好, 在密封良好厢体的前面板和后面板各开 1 个直径为 20 mm 的圆孔, 视为密封不良。当氧气体积分数为 2.3%的初始条件下, 运行控制系统, 研究厢体气密性对氧气体积分数变化的影响, 如图 5 所示。

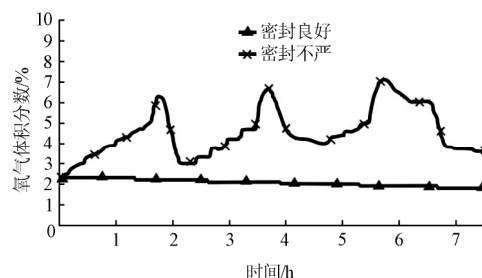


图 5 厢体气密性对氧气体积分数变化的影响  
Fig.5 Influence of air tightness of container on oxygen level

从图 5 可以看出, 密封良好的厢体, 氧气体积分数在香蕉呼吸作用下, 缓慢下降, 在 7 h 后氧气体积分数降至 1.8%。而密封不良的厢体在 95 min 后, 氧气体积分数就升高至 5%, 启动液氮充注后, 厢体内氧气体积分数先增加, 后降低, 主要是因为液氮充注时, 液氮流量在自身压力作用下逐步增大。在液氮充注初期液氮流量较小, 且通风系统的运行增加了厢体内外的压差, 外界空气进入增多导致增氧速度大于液氮充注的降氧速度。随着液氮流量增大, 液氮充注降氧速度大于外界的增氧速度时, 厢体内氧气体积分数就会降低。密封不良的厢体在 7 h 内启动液氮充注降氧 3 次, 厢体内氧气体积分数波动较大, 加大了液氮的消耗量。因此, 厢体气密性对保鲜环境中氧气体积分数变化影响较大。

#### 3.3 不同包装条件对液氮充注气调速度的影响

将香蕉分别装入塑料筐和纸皮箱内, 置于液氮充注

气调试验平台的厢体内,用中性硅酮密封胶密封厢门。在氧气体积分数为 20.95%的初始条件下,分别运行控制系统,研究不同包装条件对液氮充注气调速度的影响,如图 6 所示。

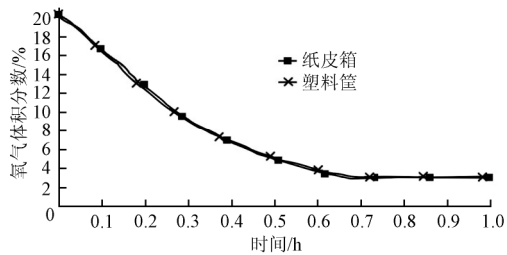


图 6 不同包装条件对液氮充注降氧速度影响

Fig.6 Effect of package of banana on decreased rate of oxygen level

由图 6 可以看出,纸皮箱和塑料筐两种包装条件对液氮充注降氧速度影响不大。

### 3.4 不同初始温度对降氧过程的影响

当厢体内初始氧气体积分数为 18.9%,初始温度分别为 15℃和 22℃时,运行液氮充注气调控制系统,不同初始温度对降氧过程的影响如图 7 所示。

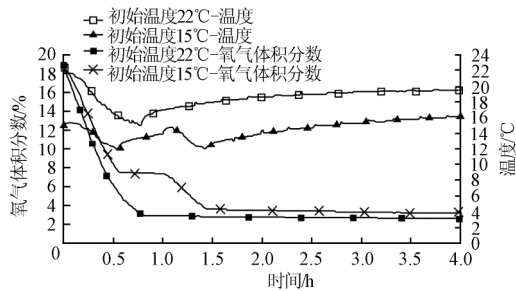


图 7 不同初始温度对降氧过程的影响

Fig.7 Effect of initial temperature on oxygen-decreased process

从图 7 可以看出,厢体内初始温度为 22℃时,可连续开启液氮充注,厢体内的氧气体积分数在 48 min 内降至 3%。初始温度为 15℃时,液氮充注降氧分为 2 次进行,第 1 次降氧至 7.6%,第 2 次降氧至 3.8%,共历时 86 min,主要是因为液氮在充注过程中,开孔隔板处的温度达到了设定下限值,系统关闭液氮充注,待厢体内温度升高后再开启液氮充注。从试验结果可以看出,初始温度对液氮充注降氧时间影响较大。

## 4 结论与讨论

本研究设计了液氮充注气调控制系统,并搭建了液氮充注气调保鲜运输试验平台。以香蕉为试验物料,验证了系统的工作可靠性,为开发液氮充注气调保鲜运输车提供了参考。

1) 液氮充注气调控制系统采用温度优先和控制参数双限值的控制算法,经试验验证,系统运行稳定,可靠性高。

2) 厢体的气密性对氧气体积分数的波动影响较大,气密性差则增加了系统执行机构的工作频率及液氮消耗

量。不同包装条件对液氮充注气调速度的影响不大。初始温度对液氮充注的降氧时间影响较大,初始温度高液氮充注系统连续充注,缩短降氧时间,初始温度低液氮充注系统多次充注,延长降氧时间。

值得讨论的是,液氮充注气调控制系统的设计,还应综合考虑各保鲜参数(如温度、湿度、氧气体积分数、二氧化碳体积分数等)在调控时产生的耦合影响,造成温控机组、加湿机组和气调机组等设备反复动作。本课题组正在对此进行深入的研究。

### [参考文献]

- [1] 吕恩利,陆华忠,杨洲,等. 果蔬气调保鲜运输技术发展研究[J]. 农机化研究, 2010, 32(6): 225—228.  
Lü Enli, Lu Huazhong, Yangzhou, et al. Research status and prospects in fruits and vegetables fresh-keeping with controlled atmosphere transportation technologies[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(6): 225—228. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张青,龚海辉,徐世琼,等. 果蔬气调运输技术及设备的现状[J]. 包装与食品机械, 2006(6): 46—48.  
Zhang Qing, Gong Haihui, Xu Shiqiong, et al. Recent status for CA transportation technologies and equipments[J]. Packaging and Food Machinery, 2006(6): 46—48. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李方,卢立新. 果蔬微孔膜气调包装模型与试验验证[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 375—379.  
Li Fang, Lu Lixin. Theoretical model and experimental validation for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables with micro perforated film[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(4): 375—379. (in Chinese with English abstract)
- [4] Goyette B, Vigneault C, Markarian N R, et al. Design and implementation of an automated controlled atmosphere storage facility for research[J]. Canadian Biosystems Engineering/Le Genie des biosystems au Canada, 2002, 44(2): 3—35.
- [5] Singh A K, Goswami T K. Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables: A review[J]. Journal of Food Science and Technology, 2006, 43(1): 1—7.
- [6] 季阿敏. 果蔬气调贮藏冷却阶段温度变化的数值模拟及验证[J]. 农业工程学报, 2006(5): 24—27.  
Ji Amin. Numerical simulation and experimental verification of temperature variation during controlled atmosphere cold storage of fruits and vegetables[J]. Transactions of the CSAE, 2006(5): 24—27. (in Chinese with English abstract)
- [7] Kader A A. Employing controlled atmospheres (CA) to maintain postharvest fresh fruit quality[J]. Rivistadi Frutticolturaedi Ortofloricoltura, 2000, 62(11): 44—47.
- [8] 邹伟,莫代亮,陈基彬,等. CZDM膜制氮机组降氧工艺与氧气体积分数变化规律研究[J]. 粮食储藏, 2009, 38(1): 22—27.  
Zou Wei, Mo Dailiang, Chen Jibin, et al. Deoxygenation technology by using CZDM membrane nitrogen generator and oxygen concentration variationture[J]. Grain Storage, 2009, 38(1): 22—27. (in Chinese with English abstract)
- [9] 吕恩利,陆华忠,杨洲,等. 气调保鲜运输车通风系统阻力特性试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 120—124.  
Lü Enli, Lu Huazhong, Yang Zhou, et al. Pressure drop characteristics of the ventilation system in fresh-keeping transportation with controlled atmosphere[J]. Transactions of the CSAM, 2011, 42(3): 120—124. (in Chinese with English abstract)

- [10] Ravindra M R, Goswami T K. Comparative performance of precooling methods for the storage of mangoes (*Mangifera Indica L.* CV. Amrapali)[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2008, 31(3): 354—371.
- [11] Thompson A K. Controlled Atmosphere Storage of Fruits and vegetables[M]. UK:MPG Books Group, 2010: 142—144.
- [12] 王艳颖, 胡文忠, 刘程惠, 等. 间歇升温对采后香蕉李贮藏中酶促褐变的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(2): 245—249. Wang Yanying, Hu Wenzhong, Liu Chenghui, et al. Intermittent warming effects on enzymatic browning of plum fruits during postharvest cold storage[J]. *Food Science*, 2010, 31(2): 245—249. (in Chinese with English abstract)
- [13] 袁扬静, 胡玉林, 谢江辉, 等. 温度对采后香蕉果实糖代谢及其酶活性的影响[J]. *热带作物学报*, 2011, 32(1): 66—70. Yuan Yangjing, Hu Yulin, Xie Jianghui, et al. Effect of temperature on sugar metabolism and enzyme activities in postharvest ripening banana fruit[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2011, 32(1): 66—70. (in Chinese with English abstract)
- [14] 徐宗焕, 林俩法, 陈惠, 等. 香蕉低温害指标初探[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(1): 205—209. Xu Zonghuan, Lin Liangfa, Cheng Hui, et al. Primary research on index of freeze banana[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(1): 205—209. (in Chinese with English abstract)
- [15] 韩志萍, 朱德明, 李积华. 常温下白千层油处理对香蕉贮藏效果的影响[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(2): 283—286. Han Zhiping, Zhu Deming, Li Jihua. Study on the impact of tea tree oil treating on bananas physiological change at normal temperature[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2009, 30(2): 283—286. (in Chinese with English abstract)
- [16] 陈发河, 吴光斌, 李趁粉. 薄膜气调包装对枇杷果实冷藏期间呼吸和品质性状的影响[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(5): 147—151. Chen Fahe, Wu Guangbin, Li Chenfen, et al. Effects of modified atmosphere packaging on respiration and quality attributes of loquat fruit during cold storage[J]. *Transactions of the CSAE*, 2003, 19(5): 147—151. (in Chinese with English abstract)
- [17] 王娟, 王相友, 李霞. 低温气调贮藏下氧气含量对双孢蘑菇品质的影响[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(4): 110—113. Wang Juan, Wang Xiangyou, Li Xia. Effects of oxygen concentration on storage quality of agaricus bisporus under low temperature and controlled atmosphere storage[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(4): 110—113. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张阳, 张润光, 张有林, 等. 气调贮藏对新疆伽师瓜采后生理及贮藏品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(1): 383—388. Zhang Yang, Zhang Runguang, Zhang Youlin, et al. Effects of controlled atmosphere storage on postharvest physiology and storage quality of Xinjiang Jiashi muskmelon[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(1): 383—388. (in Chinese with English abstract)
- [19] 蒋德云, 李宝筏, 孔晓玲, 等. CO<sub>2</sub> 气调防治储粮害虫试验研究[J]. *农业工程学报*, 2006(3): 166—170. Jiang Deyun, Li Baofa, Kong Xiaoling, et al. Experimental study of the CO<sub>2</sub> controlled atmosphere for controlling stored-grain insect[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006(3): 166—170. (in Chinese with English abstract)
- [20] 张明晶, 姜微波, 李庆鹏, 等. 生长调节剂处理对高州矮香蕉贮藏品质的影响[J]. *核农学报*, 2008, 22(5): 665—668. Zhang Mingjing, Jiang Weibo, Li Qingpeng, et al. Effects of growth regulator treatment on postharvest quality of banana (Gaozhouai) fruits[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2008, 22(5): 665—668. (in Chinese with English abstract)

## Design and experiment of controlled atmosphere system based on liquid nitrogen injection for fresh-keeping transportation

Wang Guanghai<sup>1,2</sup>, Lü Enli<sup>1,3\*</sup>, Lu Huazhong<sup>1,3</sup>, Han Xiaoteng<sup>1,3</sup>, Zhang Mingbang<sup>1,3</sup>

(1. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. College of Automotive, Guangdong Jidian Polytechnic, Guangzhou 510515, China; 3. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** A test platform of controlled atmosphere system based on liquid nitrogen injection was established, so as to control the oxygen and carbon dioxide level automatically in the container. A control scheme prior controlling the temperature was designed with double limited values. Bananas were used as experiment materials for controlled atmosphere system based on liquid nitrogen injection. The results indicated that the change of oxygen level was affected significantly by container tightness. Low container tightness would increase the operation frequency of the actuator and waste liquid nitrogen. The decreased rate of oxygen level was found not distinctly affected by different packages of bananas, whether plastic crate or carton, but mainly affected by different initial temperature. High initial temperature ensured constant liquid nitrogen injection and reduced consumed time, while low initial temperature caused intermittent nitrogen injection and required extra time. This temperature prior strategy was proved stable and could serve as reference for further development of fresh-keeping transportation equipment.

**Key words:** transportation, liquid nitrogen, controlled systems, controlled atmosphere, banana