

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.043

荔枝压差预冷包装箱内气流场模拟与试验*

杨洲 陈朝海 段洁利 吕恩利 刘灿成 王亮

(华南农业大学工程学院, 广州 510642)

【摘要】 气流组织是压差预冷过程中影响预冷时间和效果的重要因素。采用标准 $k-\epsilon$ 模型和 SIMPLE 算法, 利用 Fluent 软件对荔枝压差预冷包装箱内的气体流场进行了模拟。得到了包装箱长度与箱内静态压力关系的拟合方程, 拟合精度为 0.817, 并通过试验进行了验证。试验与模拟得到包装箱内部相对压力的大小随包装箱长度的变化规律呈线性正相关趋势, 其中进风口压力最大, 出风口压力最小。

关键词: 荔枝 预冷包装箱 气体流场 模拟

中图分类号: S379.2; S667.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0215-03

Simulation and Experiment of Airflow Field in Cartons of Pressure-difference Pre-cooling for Litchi

Yang Zhou Chen Chaohai Duan Jieli Lü Enli Liu Canc Cheng Wang Liang

(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract

The airflow field in cartons of the pressure-difference pre-cooling litchi was simulated by using Fluent software based on standard model and SIMPLE algorithm. The fitting equation of the relationship about length of cartoon and static pressure in cartoon was gotten with the fitting accuracy 0.817, which was verified by experiment. The experiment and simulation shows that the law between the internal pressure and length of the cartoon is positive correlation, and the pressure of air entrance is high, the pressure of air outlet is low.

Key words Litchi, Pre-cooling cartoon, Airflow field, Simulation

引言

荔枝是我国南方特色水果, 世界上接近 1/2 的荔枝产自中国^[1]。然而荔枝保鲜难度大, 限制了荔枝产业的进一步发展。近年来, 随着预冷技术在果蔬保鲜中的作用日渐凸显以及大量基础性研究的进行, 荔枝采摘后迅速进行预冷已成为共识^[2]。研究表明, 气流组织是压差预冷过程中影响预冷时间和效果的重要因素^[3-12]。

本文利用 Fluent 软件对荔枝包装箱内气流流场进行模拟, 得出压差预冷过程中包装箱内部的压力分布以及包装箱内部压力随包装箱长度的变化规

律, 并试验验证仿真结果的可靠性。

1 包装箱内气流场的 Fluent 模拟

为了直观分析包装箱内部的气流场情况, 将 Fluent 仿真技术引入到压差预冷包装箱气流场的分析中。模拟过程中, 为建立数学模型和简化计算, 对实际预冷过程进行必要的假设: 荔枝均为球形且各向同性, 荔枝的热物理性质如比热容、导热系数和热扩散率等不随温度的变化而变化; 空气的热物理性质与温度无关; 不进行压差预冷过程中的热量分析。

1.1 模型建立与网格划分

实体模型的参数: 荔枝直径 34 mm, 包装箱长度

收稿日期: 2012-07-13 修回日期: 2012-08-06

* 国家自然科学基金资助项目(30300210)

作者简介: 杨洲, 教授, 博士, 主要从事水果生产机械及产后处理技术研究, E-mail: yangzhou@scau.edu.cn

450 mm, 包装箱开孔率 18.8%。利用 GAMBIT 2.3 建立荔枝预冷包装箱实体模型, 并采用四边形划分网格, 得到网格数量为 32 769 个, 如图 1 所示。

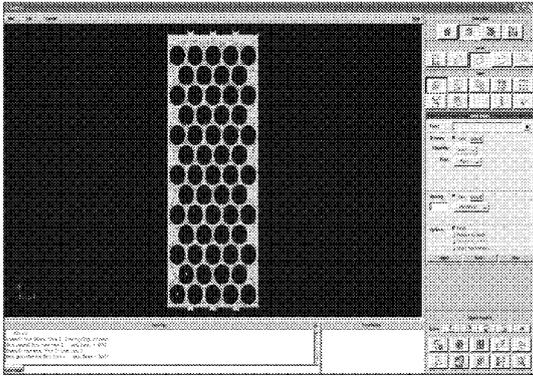


图 1 网格划分模型

Fig. 1 Mesh model

1.2 计算方法

目前计算流体力学常用紊流模型是标准 $k-\varepsilon$ 模型, 本文模拟紊流流动采用标准 $k-\varepsilon$ 模型和 SIMPLE 算法^[13]。拟定包装箱内部风速为 1 m/s, 边界条件设置进风口类型为 VELOCITY_INLET, 进风口风速换算为包装箱内风速为 1 m/s 时所对应的风速值 -5.018 1 m/s 来模拟实际风速, 模拟中的上方为自由进风。出风口类型设置为 OUTFLOW, 荔枝外表面和包装箱壁面类型设置为 WALL。

在 Fluent 中对该模型进行分析, 计算收敛精度设置为 10^{-5} , 在计算 441 次后, 计算结果达到收敛精度。

1.3 模拟结果与分析

经模拟计算, 得出荔枝压差预冷包装箱在开孔率为 18.8%, 包装箱长度为 450 mm, 风速为 1 m/s 的情况下, 包装箱内压力分布情况如图 2 所示。从图中可以看出, 包装箱内部压力由上至下逐步减小, 其中进风口压力最大, 出风口压力最小。包装箱内部压力随进风距离的增大而减小。

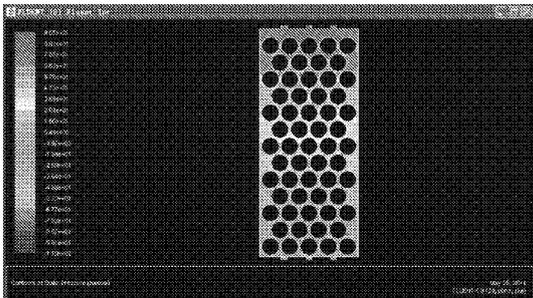


图 2 包装箱内压力分布情况

Fig. 2 Internal pressure distribution

拟合包装箱长度与包装箱内部静态压力关系可以得到如图 3 所示的曲线图。从图中可知, 随着与出风口距离的增加, 包装箱内部压力呈现倾斜向上

的锯齿状变化趋势。这是荔枝包装箱内部的缝隙不一致的缘故, 较大缝隙的地方压力较小, 较小缝隙的地方压力较大。总体来说, 包装箱内部相对压力的大小随包装箱长度的变化规律呈线性正相关趋势, 利用线性方程对曲线进行拟合, 得出拟合方程为 $y = 220.06x - 24.537$, 判定系数 $R^2 = 0.817$ 。具有较高拟合精度, 可以用来描述荔枝压差预冷过程中包装箱内部的压力大小与其长度之间的变化规律。

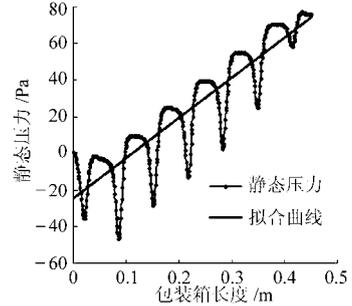


图 3 包装箱内部长度与压力的关系曲线

Fig. 3 Relationship curve between the internal pressure and length

2 荔枝包装箱内部流场分布试验

2.1 试验装置与方法

采用自制的果蔬压差预冷试验台, 模拟荔枝在压差预冷库中的冷却情况。试验台结构简图如图 4 所示。

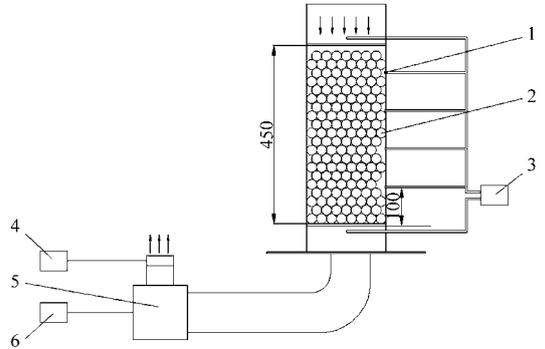


图 4 压力测量探头分布简图

Fig. 4 Schemes of pressure measuring probe distribution

1. 压差计探头
2. 荔枝
3. 数字压差计
4. 风速仪
5. 风机
6. 变频器

预冷包装箱为高度 450 mm、直径 200 mm 的圆柱形圆筒, 在圆筒两侧开有一定数量的圆孔 (开孔率为 18.8%), 作为预冷中冷空气的入、出口。

通过风机变频器来调节送风速度和送风量, 风速的测定由台湾产 AZ8901 型风速仪测定, 准确度为 $\pm 2\%$ 。在试验箱竖直方向上每隔 100 mm 安装一个美国 DWYER 公司生产的 475-0-FM 型数字压差计测量探头, 测量范围为 0 ~ 2.49 kPa。

每批试验荔枝均是广州果园的新鲜荔枝。分别

测量风速为 0.25、0.50、0.75、1.00、1.25、1.50、1.75 和 2.00 m/s 时各探测点的压力。

2.2 试验结果与分析

开孔率为 18.8%, 长度为 450 mm 的包装箱, 在风速为 0.25、0.50、0.75、1.00、1.25、1.50、1.75 和 2.00 m/s 时分别测得各压力探头与进风处的压差, 分析得到包装箱内的压力分布情况如图 5 所示。

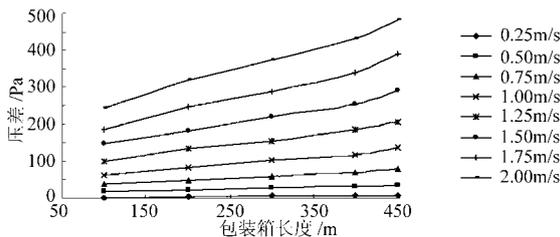


图 5 包装箱内压差随包装箱长度的变化曲线

Fig. 5 Change curve of different length in different wind speed in the packing box

由图 5 可以看出, 包装箱长度范围在 100 ~ 450 mm 时, 箱内压差随包装箱长度增加而增大。

选取风速为 1 m/s 时的压差试验数据与模拟数据进行对比, 可以看出, 实测值与模拟值的变化曲线基本一致(图 6)。Fluent 软件能够模拟荔枝包装箱内部流场的分布情况, 且所建立的模型可以模拟

荔枝的压差预冷过程。

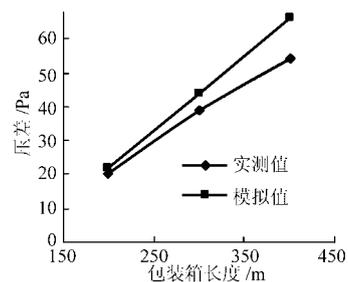


图 6 包装箱内部压差实测值与模拟值对比曲线

Fig. 6 Comparison curve of the measured value and simulation value of internal pressure difference

3 结论

(1) 利用 Fluent 软件模拟了荔枝通风预冷过程包装箱内部的压力分布情况, 得出从进风口开始, 随着包装箱长度的增大, 压力大小呈现倾斜向上的锯齿状变化趋势。

(2) 拟合出开孔率为 18.8%, 长度为 450 mm, 风速为 1 m/s 情况下的包装箱长度与内部压力的线性方程 $y = 220.06x - 24.537$, 判定系数为 0.817。

(3) 通过试验验证了 Fluent 模拟压差预冷过程的可靠性。

参 考 文 献

- 莫炳泉. 荔枝高产栽培技术[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2003: 1 ~ 5.
- 杨洲, 黄燕娟, 赵春娥. 果蔬通风预冷技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2006, 22(9): 471 ~ 474.
Yang Zhou, Huang Yanjuan, Zhao Chun'e. Research advances on forced-air pre-cooling technique for fruits and vegetables [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(9): 471 ~ 474. (in Chinese)
- 彭苗, 陈华, 杜见通, 等. 果蔬压差预冷技术[J]. 保鲜与加工, 2000(1): 15 ~ 17.
Peng Miao, Chen Hua, Du Jiantong, et al. Precooling technique under pressure for fruit and vegetable [J]. Storage & Process, 2000(1): 15 ~ 17. (in Chinese)
- 杨洲, 赵春娥, 汪刘一, 等. 果蔬压差预冷过程中的阻力特性[J]. 农业机械学报, 2007, 38(1): 104 ~ 107.
Yang Zhou, Zhao Chun'e, Wang Liuyi, et al. Pressure drop characteristics in forced-air pre-cooling of longan fruits [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(1): 104 ~ 107. (in Chinese)
- 杨洲, 赵春娥, 闫国琦, 等. 单颗龙眼通风预冷的试验研究[J]. 农机化研究, 2006(11): 159 ~ 161.
Yang Zhou, Zhao Chun'e, Yan Guoqi, et al. Experimental study on forced-air pre-cooling of single longan [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(11): 159 ~ 161. (in Chinese)
- 马征, 杨洲, 闫国琦. 龙眼压差预冷能耗耗时研究[J]. 食品与机械, 2008, 24(4): 98 ~ 100, 118.
Ma Zheng, Yang Zhou, Yan Guoqi. Research on energy and time consumption of longan forced-air pre-cooling [J]. Food & Machinery, 2008, 24(4): 98 ~ 100, 118. (in Chinese)
- 段洁利, 杨洲, 马征, 等. 荔枝果实通风预冷试验研究[J]. 食品科学, 2007, 28(7): 504 ~ 507.
Duan Jieli, Yang Zhou, Ma Zheng, et al. Study on forced-air pre-cooling of litchi fruits [J]. Food Science, 2007, 28(7): 504 ~ 507. (in Chinese)
- 马征, 杨洲, 赵春娥, 等. 果蔬压差预冷式设备研究进展[J]. 食品与机械, 2007, 23(2): 114 ~ 117.
Ma Zheng, Yang Zhou, Zhao Chun'e, et al. Research advances in forced-air pre-cooling equipment for fruits and vegetables [J]. Food & Machinery, 2007, 23(2): 114 ~ 117. (in Chinese)

玉米秸秆调质功耗影响最显著。在保证秸秆调质性能的前提下,卧辊式秸秆调质试验装置降低调质功耗的最优作业参数组合为:调质间隙 2.5 mm,调质辊转速 88 ~ 95 r/min,秸秆喂入速度 3.3 ~ 4.0 km/h。

参 考 文 献

- 1 贺俊林,佟金.我国玉米收获机械的现状及其发展[J].农机化研究,2006(2):29~31.
He Junlin, Tong Jin. Situation of corn-harvesting mechanization and suggestions for its developing in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(2):29~31. (in Chinese)
- 2 张强,秦涛,张红艳,等.玉米秸秆的综合开发利用[J].玉米科学,2006,14(2):168~169.
Zhang Qiang, Qin Tao, Zhang Hongyan, et al. The comprehensive development of the corn stalk[J]. Journal of Maize Sciences, 2006,14(2):168~169. (in Chinese)
- 3 张道林,孙永进,赵洪光.自走式穗茎兼收型玉米联合收获机的设计与试验[J].农业工程学报,2005,21(1):79~82.
Zhang Daolin, Sun Yongjin, Zhao Hongguang. Design and experiment of the self-propelled combine harvester for corn and stalk[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 21(1):79~82. (in Chinese)
- 4 陈志,韩增德,颜华,等.不分行玉米收获机分禾器适应性试验[J].农业机械学报,2008,39(1):50~52.
Chen Zhi, Han Zengde, Yan Hua, et al. Orthogonal validation experiment on crop divider of corn-harvester[J]. Transactions of the CSAM, 2008, 39(1):50~52. (in Chinese)
- 5 丛宏斌,李汝莘,李洪江,等.玉米收获机茎秆堆放装置设计[J].农业工程学报,2010,26(5):107~111.
Cong Hongbin, Li Ruxin, Li Hongjiang, et al. Design of stacking mechanism for corn straws on combine[J]. Transactions of the CSAE,2010,26(5):107~111. (in Chinese)
- 6 姚利玲,刘师多,师清翔,等.玉米秸秆调质装置试验[J].河南科技大学学报:自然科学版,2010,31(1):74~76.
Yao Liling, Liu Shiduo, Shi Qingxiang, et al. Design and test on corn stalk conditioning equipment[J]. Journal of Henan University of Science & Technology: Natural Science, 2010,31(1):74~76. (in Chinese)
- 7 董欣,李紫辉,张鸿琼,等.双辊卧式秸秆压扁装置:中国,ZL201020576331.7[P].2011-06-29.
- 8 李文哲,董欣,王德福,等.螺旋齿辊式秸秆调质装置性能试验[J].农业机械学报,2011,42(12):143~147.
Li Wenzhe, Dong Xin, Wang Defu, et al. Performance experimental study of helix teeth-roller straw processing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(12):143~147. (in Chinese)
- 9 石博强,赵德永,李畅,等.LABVIEW6.1编程技术实用教程[M].北京:中国铁道出版社,2002.
- 10 袁志发,周静芋.试验设计与分析[M].北京:高等教育出版社,2000:292~303.

(上接第 217 页)

- 9 闫国琦,杨洲,马征.龙眼压差通风预冷装置风速控制与能耗分析[J].农业机械学报,2009,40(3):125~129.
Yan Guoqi, Yang Zhou, Ma Zheng. Air velocity control and energy analysis in forced-air pre-cooling device of longan[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(3):125~129. (in Chinese)
- 10 刘美玉,崔建云,任发政,等.鸡蛋强制通风预冷工艺研究[J].农业机械学报,2010,41(8):135~139.
Liu Meiyu, Cui Jianyun, Ren Fazheng, et al. Forced-air precooling conditions of eggs[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(8):135~139. (in Chinese)
- 11 谭晶莹,王清,安伟科.预冷库温湿度控制与热工响应试验[J].农业机械学报,2010,41(3):139~142,194.
Tan Jingying, Wang Qing, An Weike. Experiment on the control of temperature and humidity and thermal response for pre-cooling cold storage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(3):139~142,194. (in Chinese)
- 12 谭晶莹,杨昭.苹果强制通风预冷试验[J].农业机械学报,2008,39(7):95~98.
Tan Jingying, Yang Zhao. Experimental study on forced-air precooling of apples in bulk[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(7):95~98. (in Chinese)
- 13 徐晓菊.几种紊流模型比较[J].科学之友,2010(6):126~128.