

网络出版时间:2015-09-09 15:41

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.10.025

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150909.1541.050.html

保鲜运输用管道式加湿装置的设计与试验

方思贞^{a,b},郭嘉明^{a,b},李亚慧^{a,b},陆华忠^{a,b},吕恩利^{a,b}

(华南农业大学 a 南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室;b 工程学院,广东 广州 510642)

【摘 要】 【目的】研究厢内管道式超声波加湿装置的工作特性,提高保鲜运输加湿系统的工作性能,改善保鲜环境的湿度均匀性。【方法】设计了一套管道式加湿装置,搭建保鲜运输加湿系统试验平台并研究水雾输送管管径(12.5,19.0 和 25.4 mm)、开孔数(2,4,6 和 8 孔)、水雾输送风机电压(12,18 和 24 V)、回风道风速(4,6 和 8 m/s)对加湿特性的影响。【结果】水雾输送管管径、回风道风速、水雾输送管开孔数、水雾输送风机电压对加湿均匀性的影响程度依次减小;在水雾输送管管径为 25.4 mm、回风道风速为 4 m/s、水雾输送管开孔数为 4 孔、水雾输送风机电压为 24 V 时,厢内相对湿度标准差最低,为 2.92;在回风道风速为 8 m/s、水雾输送风机电压为 24 V、水雾输送管开孔数为 8 孔、水雾输送管管径为 25.4 mm 时,加湿速率最高,加湿时间为 372 s。【结论】综合考虑确定水雾输送管管径 25.4 mm、回风道风速 4 m/s、水雾输送管开孔数 4 孔、水雾输送风机电压 24 V 为保鲜运输用管道式加湿装置的最优参数组合。

【关键词】 保鲜运输;加湿装置;参数优化;湿度均匀性

【中图分类号】 S229⁺.3

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)10-0182-07

Design and experiment of pipeline humidifying device for fresh-keeping transportation

FANG Si-zhen^{a,b}, GUO Jia-ming^{a,b}, LI Ya-hui^{a,b},
LU Hua-zhong^{a,b}, LÜ En-li^{a,b}

(a Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education;

b College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the operating characteristics of pipeline humidifying device to improve the performance of humidification system and the humidity uniformity of preservation environment. 【Method】 A pipeline humidifying device was designed and experimental platform for fresh-keeping transportation humidification system was established. The effects of pipe diameter (12.5, 19.0 and 25.4 mm), number of holes (2, 4, 6 and 8), voltage of fan (12, 18 and 24 V), and speed of air duct (4, 6 and 8 m/s) on the wetting characteristics were also analyzed. 【Result】 The effects of pipe diameter, number of holes, voltage of fan, and speed of air duct on humidity uniformity were in the order of pipe diameter > number of holes > voltage of fan > speed of air duct. When pipe diameter was 25.4 mm, speed of air duct was 4 m/s, number of holes was 4, and voltage of fan was 24 V, the lowest value of humidification uniformity of 2.92 was obtained. The highest humidifying rate was obtained when speed of air duct was 8 m/s, voltage of fan was 24 V, number of holes was 8, pipe diameter was 25.4 mm and humidifying time was 372 s. 【Conclusion】 Based on comprehensive consideration, optimal parameters of pipeline humidifying device for fresh-

【收稿日期】 2014-12-18

【基金项目】 国家科技支撑计划项目子课题(2013BAD19B01-1-3);广州市珠江科技新星专项(2014J2200070)

【作者简介】 方思贞(1989—),男,广东揭阳人,在读硕士,主要从事冷链物流技术与装备研究。E-mail:fangsizhen@foxmail.com

【通信作者】 吕恩利(1979—),男,山东陵县人,副教授,主要从事农业工程研究。E-mail:enlilv@scau.edu.cn

keeping transportation were: pipe diameter 25.4 mm, speed of air duct 4 m/s, number of holes 4, and voltage of fan 24 V.

Key words: fresh-keeping transportation; humidifying device; parameter optimization; humidity uniformity

新鲜果蔬的含水量可达 65%~96%,果蔬保鲜的目的之一便是保持水分,以减少鲜度的降低^[1-2]。为了抑制果蔬水分蒸发,降低贮藏环境与果蔬之间的水蒸气压差,要求贮藏环境具有适宜的相对湿度^[3-4]。相对湿度过低会促进呼吸消耗,从而对果蔬产生生理伤害^[5],相对湿度过高则为微生物的大量繁殖提供了条件,还可能产生浸渍现象^[6]而加速果蔬的腐败变质,因此相对湿度的控制直接影响到果蔬贮藏品质的好坏^[7]。目前,有关果蔬保鲜运输中加湿系统的加湿均匀性研究还较少,在相对湿度可以调节的运输厢体内,常利用制冷风机将加湿装置产生的水雾直接吹向厢体前部,致使前端货物相对湿度过高而凝结水珠,而后端货物相对湿度偏低^[8-11]。为解决保鲜运输厢体内不同位置相对湿度的差异问题,本研究搭建了基于压差原理的加湿试验平台^[12-14],通过改变水雾输送管管径、回风道风速、水雾输送管开孔数、水雾输送风机电压,研究厢内管道式超声波加湿装置的工作特性,优化其加湿性能,以期对果蔬贮运加湿装置的优化研究提供参考。

1 加湿装置设计与试验平台搭建

1.1 试验平台搭建

基于压差原理的保鲜运输试验平台如图 1 所示。厢体尺寸(长×宽×高)为 1 600 mm×1 100 mm×1 500 mm,厢体由聚氨酯泡沫夹芯板拼接而成,壁厚 100 mm。试验平台包括可编程控制器(SI-MENS S7-300 型 PLC,西门子中国有限公司)、制冷机组(制冷量 4 650 W,广州绰盈制冷设备有限公司)、制冷风机(KINGBO ZNF295-G 24 V 直流风机,广州精博制冷设备有限公司)、温度传感器(测量范围-20~80 ℃,精度±0.3 ℃,广州西博臣科技有限公司)、相对湿度传感器(测量范围 0~100%,精度±3%,广州西博臣科技有限公司)、超声波雾化头(JAS-20-B 型,中山市红星电子厂)、水雾输送风机(XXD1203824VH IP55 防水型,深圳兴鑫大电子有限公司)、24 V 可调电源、无纸记录采集仪和计算机等。

控制系统通过温度传感器和相对湿度传感器采集数据,控制制冷机组、超声波雾化头等执行设备工

作,通过触摸屏实现人机对话。保鲜室 9 个相对湿度传感器($a_1 \sim a_9$)为 3×3 布置方式,均匀布置在中纵截面上,具体布置位置如图 2 所示。

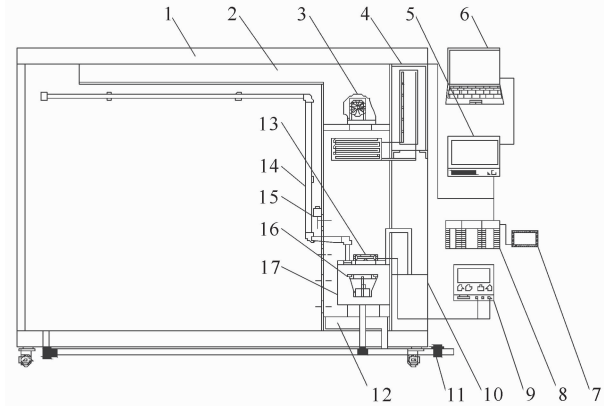


图 1 保鲜运输试验平台设备简图

1. 压差式厢体;2. 回风道;3. 制冷风机;4. 制冷机组;
5. 无纸记录采集仪;6. 计算机;7. 人机交互界面;
8. 可编程控制器;9. 可调电源;10. 补水箱;11. 排水管;
12. 积水槽;13. 水雾输送风机;14. 水雾输送管;
15. 温度与湿度监控传感器;16. 超声波加湿浮子;17. 水箱

Fig. 1 Diagram of test platform for fresh-keeping transportation

1. Differential pressure type of carriage;2. Air duct;
3. Refrigeration fan;4. Refrigeration unit;5. Record collection with no paper;6. Computer;7. Interactive interface;
8. PLC (programmable logic controller);9. Regulated power supply;10. Water-replenishing tank;11. Drain-pipe;
12. Water collecting tank;13. The fan of conveying mist;
14. The pipe of conveying mist; 15. Temperature and humidity control sensor;16. Ultrasonic atomized float;17. Tank

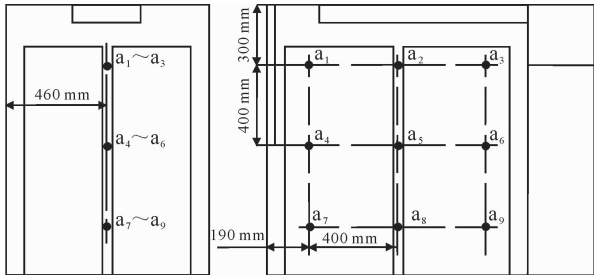


图 2 保鲜运输试验平台保鲜室相对湿度传感器($a_1 \sim a_9$)布置示意图

Fig. 2 Schematic of humidity sensors ($a_1 \sim a_9$) arrangement in fresh-keeping chamber of test platform

1.2 加湿装置设计与工作原理

超声波加湿装置主要由水箱和超声波浮子组成,超声波浮子起到固定超声波雾化头位置、确保吃水深度的作用。在水箱内等间距放置 2 个浮子,每个浮子上固定 6 个超声波雾化头,添加水雾输送管道,管道沿厢体壁面布局(图 1)。工作时加湿雾化头产生的超声波使水产生激烈而快速变化的高频振荡,剧烈的振动使水破碎成水雾^[15-16],通过水雾输送风机加压,利用气流驱动水雾,使尽可能多的水雾进入管道,水雾通过水雾输送管到达水雾出口横管上均匀布置的小孔进入保鲜室,进而改变厢体内的相对湿度。

2 加湿效果的影响因素试验

2.1 试验材料

试验材料为夏橙,平均直径为 86.5 mm,单个平均质量为 215 g,总质量 75 kg,购于水果批发市场。果实未经任何催熟处理,果形规则,无病虫害,表面无损伤,表皮呈鲜橙色。夏橙均匀放置于 28 个塑料筐中,塑料筐规格(长×宽×高)为 495 mm×355 mm×255 mm,网状结构,开孔率 38.5%。夏橙为湿度要求(85%~90%)中等偏高的水果,且贮藏期比较长,适合进行加湿试验研究^[17]。购回的夏橙在预冷 1 d 后正式开始试验。

2.2 加湿效果单因素试验

以加湿速率和加湿均匀性为评价指标,进行单因素试验,分别研究不同的水雾输送管管径、回风道风速、水雾输送管开孔数、水雾输送风机电压对加湿特性的影响。

1)水雾输送管管径。在回风道风速为 4 m/s,水雾输送管开孔数为 8 孔,水雾输送风机电压为 24 V 的条件下,依次改变水雾输送管管径为 25.4, 19.0和 12.5 mm。

2)回风道风速。在水雾输送管管径为 25.4 mm,水雾输送管开孔数为 8 孔,水雾输送风机电压为 24 V 的条件下,依次改变回风道风速为 8,6 和 4 m/s。

3)水雾输送管开孔数。在水雾输送管管径为 25.4 mm,回风道风速为 4 m/s,水雾输送风机电压为 24 V 的条件下,依次改变水雾输送管开孔数为 8,6,4 和 2 孔。

4)水雾输送风机电压。在水雾输送管管径为 25.4 mm,回风道风速为 4 m/s,水雾输送管开孔数为 8 孔的条件下,依次改变水雾输送风机电压为

24,18 和 12 V。

2.3 加湿均匀性正交试验

在单因素试验的基础上,以水雾输送管管径、回风道风速、水雾输送管开孔数、水雾输送风机电压为试验因素,综合考虑各因素水平与加湿效果的关系,去掉加湿时间较长、加湿均匀性较差的试验因素,如水雾输送管开孔数 6 孔等,适当调整后对加湿均匀性进行正交优化试验,各因素试验水平值的选取如表 1 所示,采用 L₉(3⁴)正交表^[18]安排试验。

表 1 运输用加湿装置加湿均匀性正交试验设计

Table 1 Design of orthogonal experiment on humidification uniformity of humidity device for fresh-keeping transportation

水平值 Level	试验因素 Experimental factor			
	A	B	C	D
	管径/mm Pipe diameter	风速/ (m·s ⁻¹) Speed	开孔数 Holes	电压/V Voltage
1	25.4	8	8	24
2	19.0	6	4	18
3	12.5	4	2	12

2.4 对比试验

为验证最佳组合,选取加湿均匀性最优组合 A₁B₃C₂D₁ 与单因素试验加湿速率最优组合 A₁B₁C₁D₁ 进行对比试验,每个试验重复 2 次取平均值。比较两组合的加湿速率与加湿均匀性,确定保鲜运输用管道式加湿装置的最优参数组合。

2.5 测定项目及计算

将装好夏橙的塑料筐按中间两侧留空的堆栈方式装入保鲜室内^[19],用保鲜室中纵截面上的 9 个相对湿度传感器记录该截面上的相对湿度分布值,利用计算机通过无纸记录采集仪记录各传感器数值,数据记录频率 10 s/次。

试验的评价指标有:

1)加湿速率。加湿速度的快慢,用厢体内相对湿度从 82%升高至 95%所用的加湿时间来比较,厢体内相对湿度用平均相对湿度 $\bar{H}$ 表示,其表达式为:

$$\bar{H}=\frac{1}{9}\sum_{i=1}^9H_i。$$

(1)

式中: H_i 为第 i 个相对湿度传感器的检测值。

2)加湿均匀性。用 9 个相对湿度传感器检测值的标准差^[20-21]表示,其表达式为:

$$y_i=\sqrt{\frac{1}{9}\sum_{i=1}^9(y_{ij}-\bar{y}_i)^2}。$$

(2)

式中: y_i 为第 i 次试验 9 个相对湿度传感器检测值的标准差($i=1,2,\cdots,n$); y_{ij} 为第 i 次试验第 j 个相

对湿度传感器的检测值($j=1,2,\cdots,9$); $\bar{y}_i$ 为第 i 次试验 9 个相对湿度传感器检测值的均值。

在调控试验初始环境时,为减小外界环境对试验结果的影响,要注意定期更换水箱中的水,使水的温度保持在 $(5\pm1)^\circ\text{C}$,外界环境温度为 $(25\pm2)^\circ\text{C}$,外界相对湿度为 $(65\pm5)\%$ 。开启电脑,打开数据采集软件,通过操作 PLC 触摸屏开启制冷系统,将厢体内的温度降至 $(3\pm1)^\circ\text{C}$,相对湿度降低至 70%,停止制冷 10 min 左右,厢体内的相对湿度 $((82\pm$

2)%趋于稳定,开启加湿系统,将厢体内的相对湿度升高至 95%时停止加湿。记录相对湿度随时间的变化,直至加湿装置停止工作 5 min 后,保存数据,每个试验重复 2 次取平均值。

3 单因素试验结果与分析

3.1 各因素对加湿速率的影响

在设定的试验条件下,加湿装置工作时厢体内相对湿度的变化如图 3 所示。

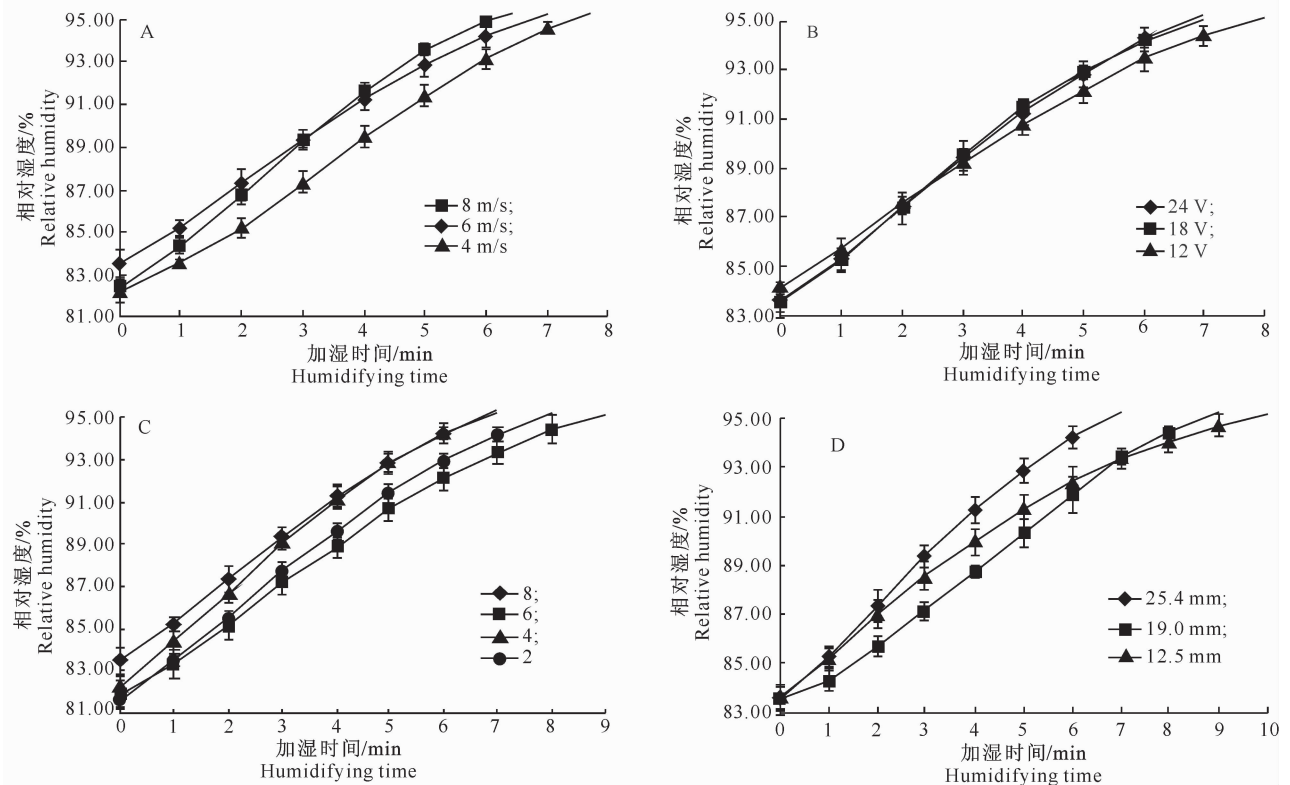


图 3 各试验因素对运输用保鲜厢体相对湿度变化的影响

A. 回风道风速;B. 风机电压;C. 输送管开孔数;D. 输送管管径

Fig. 3 Influence of each experimental factor on relative humidity of carriage for fresh-keeping transportation

A. Speed of air duct;B. Voltage of fan;C. Number of holes;D. Pipe diameter

从图 3-A 可以看出,加湿速率随回风道风速的增大而增大,当回风道风速为 8 m/s 时,加湿时间为 372 s,加湿速度较快;图 3-B 显示,加湿速率随水雾输送风机电压的增大而增大,当风机电压为 18 和 24 V 时,加湿时间比较接近,加湿速度较快;图 3-C 表明,水雾输送管开孔数为 4 和 8 孔时,加湿时间接近,加湿速度较快,当开孔数为 6 孔时,加湿时间为 534 s,加湿速度较慢;由图 3-D 可知,加湿速率随水雾输送管管径的增大而增大,当管径为 25.4 mm 时,加湿时间为 398 s,加湿速度较快。综合以上结果,选取回风道风速 8 m/s、风机电压 24 V、开孔数 8 孔、管径 25.4 mm 为单因素试验中加湿速率的最

优组合。

3.2 各因素对加湿过程湿度均匀性的影响

各试验因素与加湿装置停止工作时厢体湿度均匀性的关系如图 4 所示。从图 4 可知,厢体内相对湿度标准差随回风道风速的增大先增大后减小,当回风道风速为 4 m/s 时,相对湿度标准差最小,为 3.59,此时厢内湿度最均匀;厢体内相对湿度标准差随水雾输送风机电压的增大而减小,当风机电压为 24 V 时,相对湿度标准差最小,为 3.62,厢内湿度最均匀;水雾输送管开孔数为 4 孔时,相对湿度标准差最小,为 2.92,厢内湿度最均匀,开孔数为 6 孔时,相对湿度标准差最大,为 4.55,厢内湿度均匀性最

差;厢体内相对湿度标准差随水雾输送管管径的增大先增大后减小,当管径为 25.4 mm 时,相对湿度标准差最小,为 3.60,厢内湿度最为均匀。因此,选

取回风道风速 4 m/s、风机电压 24 V、开孔数 4 孔、管径 25.4 mm 为单因素试验中加湿均匀性的最优组合。

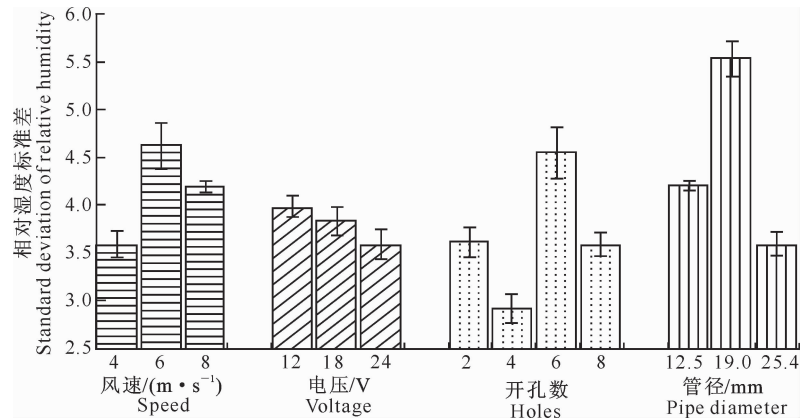


图 4 试验因素与厢体加湿均匀性的关系

Fig. 4 Relationships between the experimental factors and humidification uniformity of carriage

4 加湿均匀性正交优化试验

4.1 试验结果分析

加湿均匀性的正交试验结果如表 2 所示,利用 SPSS 19.0 软件对正交试验进行方差分析,结果如

表 3 所示。表 3 方差分析结果表明,4 个因素对加湿均匀性的影响程度表现为A(管径)>B(风速)>C(开孔数)>D(电压),其中 A、B、C 3 个因素对加湿均匀性具有显著影响,D 因素对加湿均匀性无显著影响。

表 2 加湿均匀性正交优化试验结果

试验号 No.	试验因素 Experimental factor				相对湿度标准差 Standard deviation of relative humidity
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	3.49
2	1	2	2	2	3.93
3	1	3	3	3	3.80
4	2	1	2	3	4.52
5	2	2	3	1	5.21
6	2	3	1	2	4.14
7	3	1	3	2	4.60
8	3	2	1	3	4.83
9	3	3	2	1	3.91

表 3 加湿均匀性正交试验结果的方差分析

Table 3 Variance analysis of orthogonal optimization experiment on humidification uniformity

源 Source	Ⅲ型平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	均方差 Mean square	F 检验 F-test	显著性 Significant
A	3.901	2	1.950	18.416	0.000
B	2.330	2	1.165	11.002	0.001
C	0.965	2	0.483	4.556	0.025
D	0.175	2	0.088	0.827	0.453
误差 Error	1.906	18	0.106		

加湿均匀性与各试验因素的关系如图 5 所示,图 5 表明,加湿均匀性随管径和风速的减小先增大后减小,随开孔数的减小先减小后增大,随风机电压的增大而增大。从图 5 还可以看出,加湿均匀性的最佳影响因素组合为 A₁B₃C₂D₁,即水雾输送管的管

径为 25.4 mm,回风道的风速为 4 m/s,水雾输送管的开孔数为 4 孔,水雾输送风机的电压为 24 V 时,加湿均匀性达到最优,该结果与单因素试验结果基本一致。

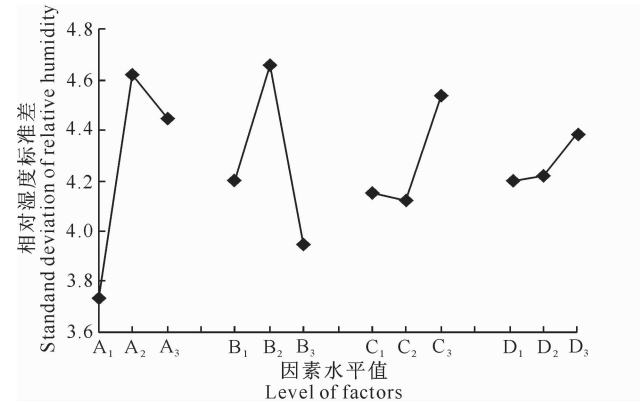


图 5 加湿均匀性与各影响因素的关系
Fig. 5 Relationships between humidification uniformity and influencing factors

4.2 对比试验

加湿均匀性最优组合与单因素试验加湿速率最优组合对比试验结果表明, A₁B₃C₂D₁ 组合的相对湿度标准差为 2.92, A₁B₁C₁D₁ 组合的相对湿度标准差为 4.19,可见 A₁B₃C₂D₁ 组合的加湿均匀性较优。图 6 显示, A₁B₁C₁D₁ 组合的加湿时间较短,加湿速率较快,而 A₁B₃C₂D₁ 组合的加湿时间与 A₁B₁C₁D₁ 组合相差不大,两组合加湿速率接近。综合加湿均匀性和加湿速率可知 A₁B₃C₂D₁ 为最佳组合,即水雾输送管管径 25.4 mm、回风道风速 4 m/s、水雾输送管开孔数 4 孔、水雾输送风机电压 24 V。

5 结论与讨论

本研究搭建了运输用管道式超声波加湿装置试验平台,分析了管道式超声波加湿装置的工作性能,以及水雾输送管管径、回风道风速、水雾输送管开孔数、水雾输送风机电压对加湿性能的影响。研究结果如下:

1)单因素试验表明,加湿速率随回风道风速、水雾输送风机电压和水雾输送管管径的增大而增大,相对湿度标准差随回风道风速和水雾输送管管径的增大先增大后减小,随水雾输送风机电压的增大而减小。

2)对加湿均匀性进行的正交试验结果表明:上述 4 个因素对加湿均匀性的影响程度由大到小依次为水雾输送管管径、回风道风速、水雾输送管开孔数和水雾输送风机电压,其中水雾输送风机电压对加湿均匀性无显著影响。在水雾输送管管径为 25.4 mm、回风道风速为 4 m/s、水雾输送管开孔数为 4 孔、水雾输送风机电压为 24 V 时,厢内相对湿度标

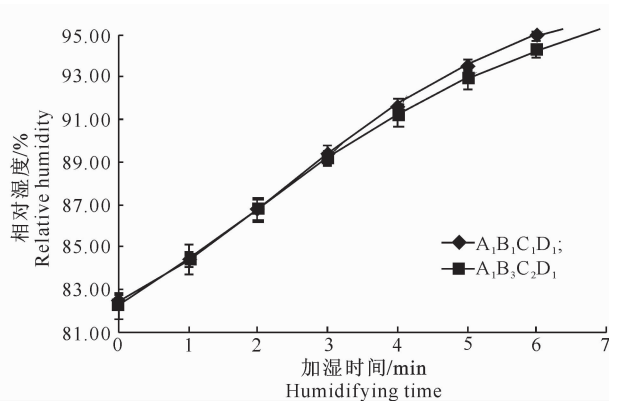


图 6 加湿均匀性与加湿速率最优组合
加湿速率的对比

Fig. 6 Comparison experiment on humidifying rates for optimal humidification uniformity and humidifying rate 准差最低,为 2.92。

值得说明的是,厢体结构、货物堆码方式、包装等因素也会与研究结果产生一定的影响,这将是下一步研究的主要内容。

[参考文献]

[1] 王艳红. 新鲜果蔬低温贮藏失水机理研究 [D]. 天津:天津商业大学,2010:74.
Wang Y H. Research on moisture loss of fresh vegetable and fruit stored in cold conditions [D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2010: 74. (in Chinese)

[2] 王艳红,刘 斌. 果蔬失水研究概况 [C]//常 琳,范 薇,王亚薇. 第六届全国食品冷藏链大会论文集. 上海:制冷学报, 2008:101-106.
Wang Y H, Liu B. The general situation for researching moisture loss for fruits and vegetables [C]//Chang L, Fan W, Wang Y W. The sixth national seminar of food cold chain. Shanghai, China: Journal of Refrigeration, 2008: 101-106. (in Chinese)

[3] Evelo R G, Horst J. Modified atmosphere packaging of tomatoes: Controlling gas and humidity [J]. Packag Technol Sci, 1996, 9(5): 265-273.

[4] Mahajan P V, Goswami T K. Extended storage life of litchi fruit using controlled atmosphere and low temperature [J]. J Food Process Press, 2004, 28(5): 388-403.

[5] 王 延,张培正,伏建民. 果蔬高湿贮藏 [J]. 食品与机械, 1992, 8(4): 42-43.
Wang Y, Zhang P Z, Fu J M. High humidity storage of fruits and vegetables [J]. Food & Machinery, 1992, 8(4): 42-43. (in Chinese)

[6] 王健敏,卓献荣. 高温冷藏库内湿度过大的原因分析及解决方法 [J]. 仲恺农业技术学院学报, 1997, 10(2): 94-96.
Wang J M, Zhuo X R. Reasons and analyses of overhigh humidities for cold store and their solving methods [J]. Journal of

- Zhongkai Agrotechnical College, 1997, 10(2): 94-96. (in Chinese)
- [7] Delele M A, Schenk A, Ramon H, et al. Evaluation of a chicory root cold store humidification system using computational fluid dynamics [J]. J Food Eng, 2009, 94(1): 110-121.
- [8] 郭嘉明, 吕恩利, 陆华忠, 等. 保鲜运输车厢用超声波加湿装置的设计与试验 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2013, 41(6): 181-187.
- Guo J M, Lü E L, Lu H Z, et al. Design and test of ultrasonic humidifying system for fresh-keeping transportation [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2013, 41(6): 181-187. (in Chinese)
- [9] 韩小腾, 陆华忠, 吕恩利, 等. 保鲜运输用高压雾化加湿系统湿度调节特性的试验 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 332-337.
- Han X T, Lu H Z, Lü E L, et al. Experiment on regulation characteristics of high pressure humidifying system for fresh-keeping transportation [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 332-337. (in Chinese)
- [10] 王以忠, 胡春园, 陈绍慧, 等. 冷藏车内温度场和湿度场的数值模拟研究 [J]. 保鲜与加工, 2010, 10(3): 26-29.
- Wang Y Z, Hu C Y, Chen S H, et al. Study on numerical simulation of temperature and humidity fields in a refrigerated vehicle [J]. Storage and Process, 2010, 10(3): 26-29. (in Chinese)
- [11] 陆华忠, 曾志雄, 吕恩利, 等. 保鲜运输用超声波加湿的数值模拟 [J]. 现代食品科技, 2013, 29(7): 1533-1538.
- Lu H Z, Zeng Z X, Lü E L, et al. Numerical simulation and experimental verification of ultrasonic humidification for fresh-keeping transportation [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(7): 1533-1538. (in Chinese)
- [12] 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 E L, Lu H Z, Yang Z, et al. Pressure drop characteristics of the ventilation system in fresh-keeping transportation with controlled atmosphere [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 120-124. (in Chinese)
- [13] 陈天及, 郭亚丽, 余本农, 等. 番茄差压预冷速度影响因素的试验研究 [J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 105-107.
- Chen T J, Guo Y L, Yu B N, et al. Experimental study on the pressure-difference pre-cooling of tomatoes in cartons [J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(5): 105-107. (in Chinese)
- [14] 吕恩利, 陆华忠, 杨 洲, 等. 番茄差压预冷过程中的通风阻力特性 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 341-345.
- Lü E L, Lu H Z, Yang Z, et al. Pressure drop characteristics in forced-air pre-cooling of tomatoes [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(7): 341-345. (in Chinese)
- [15] 席细平, 马重芳, 王 伟. 超声波技术应用现状 [J]. 山西化工, 2007, 27(1): 25-29.
- Xi X P, Ma C F, Wang W. Application situation of ultrasonic technology [J]. Shanxi Chemical Industry, 2007, 27(1): 25-29. (in Chinese)
- [16] 付卫东, 王海峰, 王保东. 一种超声波加湿器的动态性能研究 [J]. 郑州大学学报: 工学版, 2007, 28(2): 57-59.
- Fu W D, Wang H F, Wang B D. The study of the dynamic performance of an ultrasonic humidifier [J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Science Edition, 2007, 28(2): 57-59. (in Chinese)
- [17] 张 龚, 杨 丽, 周心智, 等. 不同处理对两个夏橙品种贮藏保鲜的影响 [J]. 湖北农业科学, 2012, 51(16): 3564-3566.
- Zhang G, Yang L, Zhou X Z, et al. The Fresh keeping effects of different treatments on two valencia orange cultivars during storage [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(16): 3564-3566. (in Chinese)
- [18] 任露泉. 试验设计及其优化 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 238-247.
- Ren L Q. Experimental design and optimization [M]. Beijing: Science Press, 2009: 238-247. (in Chinese)
- [19] 郭嘉明, 吕恩利, 陆华忠, 等. 保鲜运输车果蔬堆码方式对温度场影响的数值模拟 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(13): 231-236.
- Guo J M, Lü E L, Lu H Z, et al. Numerical simulation of effects of transport enclosure structure on flow field [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(13): 231-236. (in Chinese)
- [20] 左彦军, 贾富国, 夏吉庆. 逆流式糙米加湿调质机技术参数对加湿均匀性的影响 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 123-126.
- Zuo Y J, Jia F G, Xia J Q. Effect of technical parameters of countercurrent moisture conditioning machine on humidification uniformity of brown rice [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(5): 123-126. (in Chinese)
- [21] 贾富国, 赵宏伟, 兰海鹏, 等. 横流式糙米加湿机加湿均匀性研究 [J]. 中国粮油学报, 2010, 25(12): 92-95.
- Jia F G, Zhao H W, Lan H P, et al. Moisture conditioning homogenization of transverse conditioning machine [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 25(12): 92-95. (in Chinese)