

基于湿帘风机系统温室环境温度测量方法的研究

王蕊 须晖* 马健 李天来

(沈阳农业大学 园艺学院, 沈阳 110866)

摘要 针对湿帘风机温室试验对通过湿帘后空气温度测量困难的问题,设计屏蔽送风式、屏蔽非送风式和非屏蔽式3种测量方法,通过试验对3种测量方式的准确性及误差因素进行分析。结果表明:屏蔽非送风式的测量结果受湿帘液滴附着影响较小,测量结果准确可靠;屏蔽送风式测量值较真实值小,误差范围为0.1~3.2℃;非屏蔽式测量方式容易受到外界环境因素的影响,误差范围-2.7~3.9℃,波动范围较大。

关键词 温室; 湿帘风机; 温度; 测量方法

中图分类号 S 624.4

文章编号 1007-4333(2011)01-0113-05

文献标志码 A

Methods for measuring air temperature in a pad and fan cooling greenhouse

WANG Rui, XU Hui*, MA Jian, LI Tian-lai

(College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract During the operation of pad and fan system for greenhouse cooling, fog wafts appeared inside the greenhouse. If the fog adheres to a sensing part of a thermometer, measurement of air temperature through pad will decrease and cause errors. The study was conducted by three measurement methods which were non-aspirated thermocouple with shelter, aspirated psychrometer and bare thermocouple without the shelter. It was found that the result of the non-aspirated thermocouple with shelter provided the most accurate measurement values, the measurement result of the aspirated psychrometer was lower than the actual temperature and the error rang was 0.1–3.2℃; the measurement of the bare thermocouple was affected by environmental factors easily and the error rang was -2.7–3.9℃.

Key words greenhouse; pad and fan cooling system; temperature; measurement method

湿帘风机降温系统具有降温效果明显、设备简单、安装方便、成本低和性价比高等优点,目前广泛应用于设施农业生产中。2000年我国利用湿帘风机系统进行降温的温室面积达到约300 hm²[1]。

湿帘风机系统主要工作原理是,室外干热空气被风机抽吸穿过铺满水膜的波纹状纤维湿帘,通过湿帘水的蒸发吸热,干热空气中的热量被水吸收,冷却空气被吹入温室内达到降温的效果。通过湿帘后冷却空气的温度,是湿帘风机系统温室相对湿度及冷却度计算的基础参数,也是能量转化计算的重要

指标,同时对实现温室环境的精确控制起着决定性作用。然而,在实际温室内应用广泛的干湿球法测定温度时由于通过湿帘的空气被吹入室内的过程中,不可避免地将部分未充分蒸发的液滴带入到室内空气中及测量传感器上,造成测量干球的温度低于湿球温度,进而导致通过湿帘后的空气温度的测定结果出现较大误差。近年来关于温度测量精度及误差分析的研究较多,也较为深入[2-6];而结合实际湿帘风机系统温室的温湿环境特点及测量应用中的问题[7-10],对温度测量方法的误差分析及改进方法

收稿日期: 2010-06-03

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2008BADA6B01); 沈阳市科技计划项目(1081198-3-00); 国家自然科学基金项目(31000921)

第一作者: 王蕊, 讲师, 博士, 主要从事设施农业专业研究, E-mail: wang_rui80@yahoo.com.cn

通讯作者: 须晖, 教授, 主要从事设施农业专业研究, E-mail: wang_rui80@yahoo.com.cn

未见报道。

本研究结合湿帘风机温室环境特点,参照文献[11]和[12]中对喷雾降温温室的温度测量方法,旨在深入研究温室内测量温度的影响因子,设计湿帘风机系统温室温度的精确测量方法,以提高温室环境控制参数的可靠性和准确性。

1 试验方法

1.1 测试系统

试验于 2006-08-09 在日本千叶县君津市(139°55'01"E;35°19'05"N)的商用大型湿帘风机系

统温室进行。温室为南北走向,湿帘安装在温室北侧,高 1.8 m;风扇系统安装在南侧,风扇直径为 1.4 m,最大排风量 600 m³/min。根据温室内测量对象和控制目标确定系统组成。本系统为多变量的输入输出控制系统(图 1),测量对象包括室内外的温湿度、室内光照强度,控制目标为温室内的温度和湿度。所有采集的模拟信号都经过信号调理后经 A/D 转换输入计算机,处理后的数字信号经 D/A 转换输出计算机,通过强电控制开关,控制各执行机构。系统核心由 IBM-PC 机和 CADAC21 数据板组成。

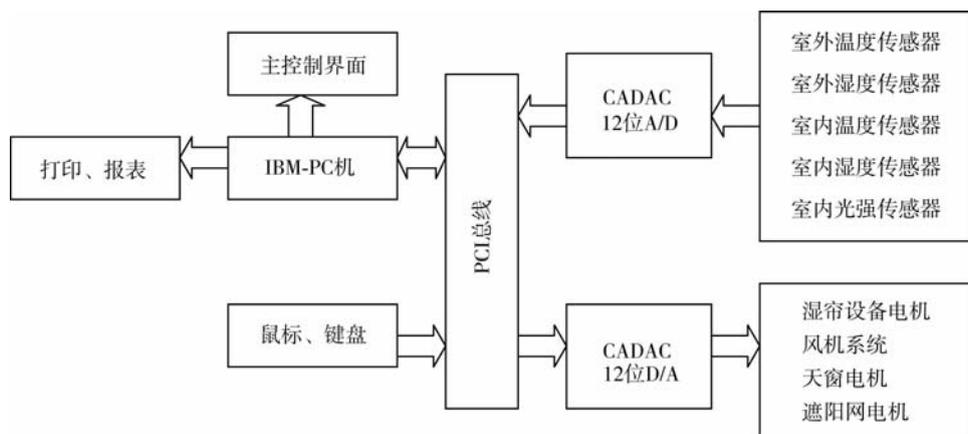


图 1 温室环境检测与控制系统

Fig. 1 Environmental monitoring and controlling system of greenhouse

1.2 试验用温度传感器

根据所测量的通过湿帘后的空气温度范围及精度要求,采用目前温度测量中广泛使用的 T 形电热对(日本,江藤电气公司)作为温度传感器,直径为 0.32 mm,精度 0.05 °C。基于温室环境中影响温度测量准确性的 2 个因素即液滴蒸发和太阳辐射,本研究中设计采用屏蔽非送风式、屏蔽送风式和非屏蔽式 3 种测量方式对通过湿帘后的温度进行测量并对误差影响因素进行分析。

1)屏蔽非送风式。屏蔽非送风式测量,通过在温度传感器的上部及四周进行空间屏蔽达到减少附着液滴同时减少太阳辐射的目的(图 2(a)),在热电对温度传感器上部采用大直径圆形遮盖板,充分遮挡上部太阳辐射。由于聚氨酯产品具有容量轻、强度高、绝热、防腐、不吸水、使用简便快捷等优异特点,因此遮盖板材料采用硬质聚氨酯板,主要参数见

表 1。四周采用外包泡沫聚苯乙烯的 PVC 管屏蔽。为了防止从地面发出的长波辐射对 PVC 管内的温度传感器积热,PVC 管与上部的硬质聚氨酯板间留有间隙,易于多余热量排出,减少误差产生。

2)屏蔽送风式(图 2(b))。屏蔽送风式主要参照干湿球温度计的测温原理,将温度传感器置于外包泡沫聚苯乙烯的 PVC 管屏蔽长波及短波辐射,同时为提高测量精度,在管内保持一定的风速,采用送风量为 0.4 m³/min,保持风速 3 m/s。

3)非屏蔽式(图 2(c))。非屏蔽式不对温度传感器进行特殊的屏蔽,直接将传感器置于湿帘前采用温度传感器对温度进行测量。主要是为了与上述 2 种温度测量方式进行对比。

试验前为保证测量精度,各传感器均进行了标定及校正。采用上述 3 种方式测量通过湿帘后的空气温度的同时,在各测量传感器附近设置感水纸,感

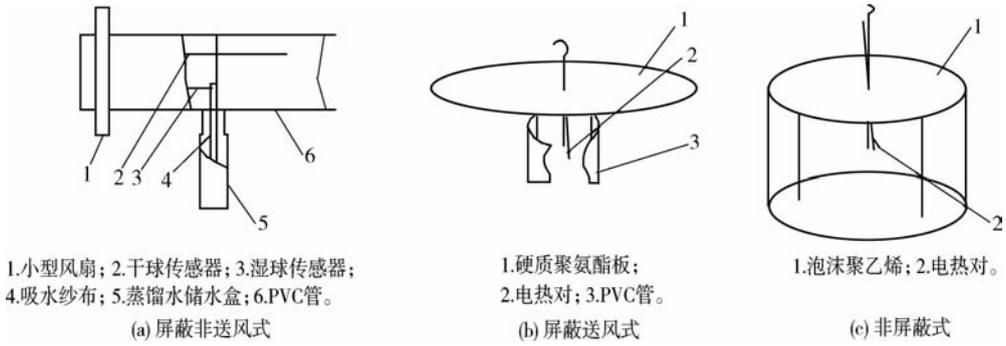


图 2 屏蔽非送风式、屏蔽送风式和非屏蔽式 3 种温度测量方法结构图

Fig. 2 Structures of three kinds of thermocouples; non-aspirated thermocouple with shelter, aspirated thermocouple with shelter and bare thermocouple without shelter

表 1 硬质聚氨酯板的性能参数

Table 1 Main parameters of PVC pipe and polyurethane shelter

指标	数值范围
密度/(kg/m ³)	30~80
抗压强度/kPa	≥200
导热系数/(W/(m·K))	≤0.027
吸水率/%	≤4
闭孔率/%	≥90

知液滴附着传感器的情况。

2 测量结果及分析

2.1 不同测量方法的温度日变化

非屏蔽式及屏蔽送风式测量方法,在温室内湿帘风机系统工作时,测量温度有低于室内湿球温度的现象,屏蔽非送风方式测量方法则基本没有低于温室内湿球温度的情况(图 3)。同时观察温度传感器附近的感水纸发现,非屏蔽式测量方法的感水面积为 92%,屏蔽非送风式测量方法的感水面积在 5%以内。这表明,3 种测量方法中,屏蔽非送风式测量方法的结构能够减少湿帘前的液滴附着现象,测量误差较小,可以有效地测定温度值;屏蔽送风式测量方法的传感器在管内受到气流运动的影响,测量值有时低于湿球温度,存在一定误差,非屏蔽的测量方法受到液滴附着影响,误差最大。非屏蔽式,屏蔽送风式和屏蔽非送风式测量方法的温度测量范围分别为 22.0~30.0,22.5~29.1 和 22.7~29.3 ℃。正午湿帘系统工作时,非屏蔽式测量方法与屏蔽送风式测量方法及屏蔽非送风式测量方法的温度

差达到 2 ℃ 以上。可见,非屏蔽式的测量方式不但受到液滴附着的影响,同时在太阳辐射强度较大时也明显受到长波辐射的影响。

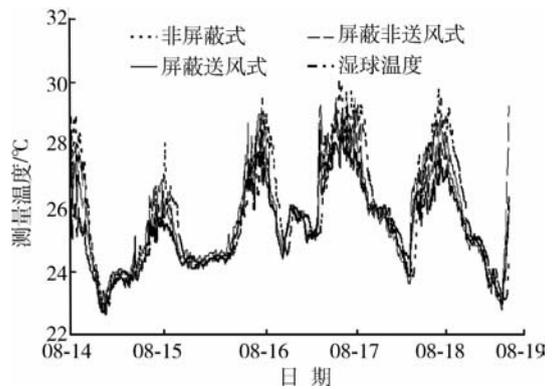


图 3 各测试方法得到的温度日变化曲线(2006 年)

Fig. 3 Daily temperature variations by using three methods

2.2 不同测量方法的温度差分析

从各测量方法得到的温度测量结果的日变化规律发现,屏蔽非送风式测量方法受液滴附着及辐射的影响较小,可以作为 3 种测量方式中比较接近真实值的标准值。为了进一步研究非屏蔽式及屏蔽送风式测量方法的测量误差范围,将非屏蔽式和屏蔽送风式测量结果与屏蔽非送风式测量结果进行差值后分析。从温度差的日变化规律(图 4)发现,非屏蔽式和屏蔽送风式测量方法得到的测量结果,误差范围分别为 -2.7~3.9 和 0.1~3.2 ℃。由此可见,非屏蔽式测量方法的最大值及最小值均存在误差,在真实值上下波动;而屏蔽非送风式的测量方法的测量结果偏小。对非屏蔽式及屏蔽送风式的温度测量值与屏蔽非送风式的测量值分别进行平均绝对

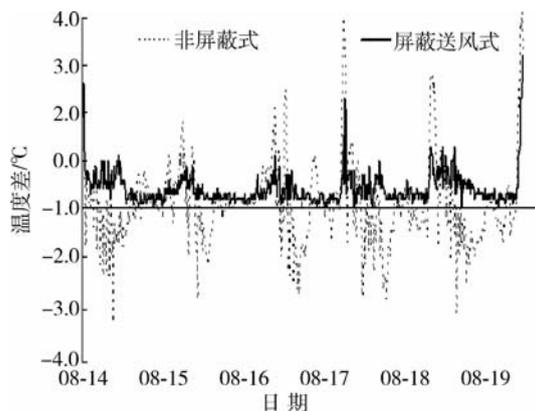


图4 各测试方法得到的温度差日变化曲线(2006年)

Fig. 4 Daily variations of temperature difference by using each method: non-aspirated thermocouple with shelter and aspirated thermocouple with shelter

误差(式(1)),均方根差计算(式(2)),平均绝对误差分别为 0.56 和 0.41,均方根差分别为 0.84 和 0.54。非屏蔽式测量方法的误差范围明显大于屏蔽送风式测量方法。平均绝对误差

$$EMA = \sum \{abs(T_R - T_i)\} / N \quad (1)$$

式中: T_R 为温度的标准值; T_i 为温度的测量值; N 为测量次数。均方根差

$$ERMS = \sqrt{\sum (T_R - T_i)^2 / N} \quad (2)$$

2.3 测量结果与太阳辐射的关系

为进一步研究非屏蔽式、屏蔽送风式测量方法的测量结果受太阳辐射的影响,将测量得到的温度数据以屏蔽非送风式的测量结果为基准进行差值计算,分析其与太阳辐射强度的关系,结果见图5。非屏蔽式与屏蔽送风式测量的温度差值与太阳辐射强度的线性关系不显著,相关系数分别为 0.073 3 和 0.013 9。可见,湿帘风机系统温室中,通过湿帘的空气温度并不是单一随太阳辐射强度的增加而增加,这是由于在实际冷却系统工作时,太阳辐射强度的增加,有利于通过湿帘水的蒸发,从而空气中更多的显热通过水的蒸发转化为潜热,达到冷却整个温室的效果。在非屏蔽式测量方法中,当太阳辐射强度为 $0 \sim 600 \text{ W/m}^2$ 时,测量温度差值有负值存在,达到 $-2.2 \text{ }^\circ\text{C}$;当太阳辐射强度超过 600 W/m^2 时,测量温度差值均为正值。这是由于在低辐射条件下,未完全蒸发的湿帘水附着在温度测量的传感器表面,导致实际测量值偏低;随着辐射强度的增加,液滴附着现象逐渐减弱,太阳辐射强度对测量结果

的影响逐渐增大使得测量值偏高。屏蔽送风式测量方法对传感器的屏蔽性能较好,因此温度测量误差受太阳辐射强度的影响较弱。

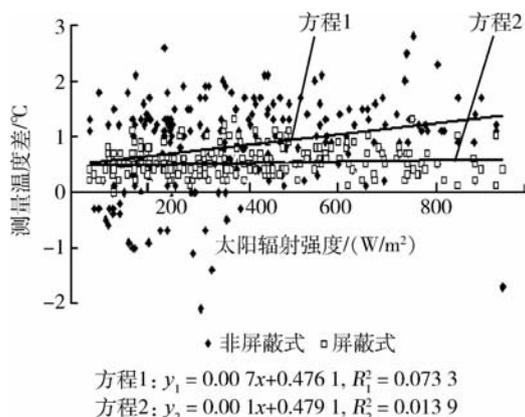


图5 以屏蔽非送风式测量结果为基准各测量方法温度差与太阳辐射强度的关系

Fig. 5 Relationship between air temperature differences measured by different methods and solar radiations

2.4 室内不同风速下温度测量值的变化

在湿帘风机系统温室环境中,随风机排风量的变化室内空气流动状态也随之变化,因此有必要进一步研究各种温度测量方法的测量结果受室内风速变化的影响。由于实际温室内的风速在 5 m/s 之内,因此试验中控制风机的排风量,使湿帘附近的风速从 1 m/s 逐渐升至 5 m/s ,试验选择在晴天进行,外气温度 $29 \text{ }^\circ\text{C}$,太阳辐射强度 500 W/m^2 ,每组试验数据分别采集 3 次取平均值。从不同风速条件下的温度测量值变化曲线(图6)上看,随着风速的增加,非屏蔽式与屏蔽非送风式测量得到的曲线出现

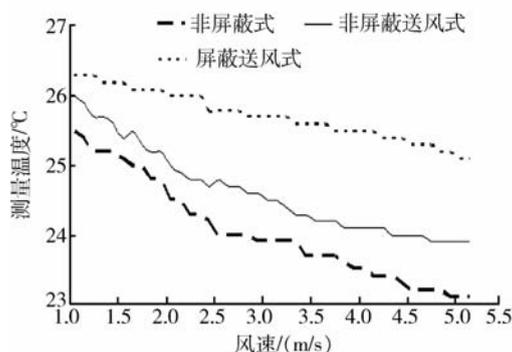


图6 风速对不同温度测量方法的影响

Fig. 6 Comparison of three temperature measurements under different air flows

明显的下降趋势,非屏蔽式测量得到的测量温度下降可达到 2°C ,而屏蔽送风式测量方法的测量温度变化较为平缓。这是由于湿帘风机系统随风速的增加,波纹纸表面水的蒸发增强,湿帘周围的空气温度随之降低,而屏蔽送风式测量方法的传感器主要受到屏蔽管内部的气流影响,外界风速变化时需要一定缓冲时间,因此整体测量结果的曲线变化较平缓。非屏蔽测量方法的传感器则容易受到风速变化的波动,在风速开始变化时,测量温度的下降趋势较快,而后趋于平稳。

3 结束语

本研究结合湿帘风机系统温室的环境特点及实际测量操作的可行性,采用目前温度测量中广泛使用的T形电热对作为温度传感器,设计了屏蔽非送风式,屏蔽送风式和非屏蔽式3种测量湿帘后空气温度的测量方法;从3种测量方法测得的温度日变化、测量温度差的误差分析和温室内不同风速对测量温度的影响3方面进行了分析。3种测量方法中,屏蔽非送风式能够有效减少测量传感器上的液滴附着现象,测量结果比较准确,可以作为实际应用中一种可靠的测量方法;屏蔽送风式的测量结果较真实值小,误差范围为 $0.1\sim 3.2^{\circ}\text{C}$;非屏蔽式测量方式容易受到外界环境多因素的影响,误差范围 $-2.7\sim 3.9^{\circ}\text{C}$ 。

本研究中各测量方法虽然在防止液滴附着和减少长波辐射方面有一定效果,但温度测量精度仍需提高,不能完全避免温室湿帘冷却效率、太阳辐射和风速等多因素的影响。另外,由于本研究中各测量方法主要采用T形电热对作为温度传感器,且试验数据的采集和分析是在湿帘风机温室内的环境中进行,因此在其他类型传感器及环境条件的应用上难

免存在局限。

参 考 文 献

- [1] 施山纪男. 中国の施設園芸事情一日光温室と中心として[J]. 施設と園芸, 2003, 123(1): 48-51
- [2] 王成, 乔晓军, 张云鹤, 等. 机械通风式干湿球湿度传感器测量误差分析[J]. 现代科学仪器, 2008, 1(3): 79-81
- [3] 黄晓因, 徐丽芬. 高温环境下相对湿度测量误差及干湿球系数计算[J]. 气象科技, 2005, 8(33): 367-372
- [4] 王兴东. 用干湿球法测量相对湿度结果的不确定度分析[J]. 计量与测试技术, 2008, 35(1): 1-2
- [5] 林军. 干湿球湿度计测量原理与影响因素研究[J]. 中国计量, 2008, 10(2): 80-81
- [6] 陈云生. 干湿球法测量相对湿度的测量不确定度讨论[J]. 装备环境工程, 2005, 2(1): 65-69
- [7] Abdel-Ghany A M, Ishigami Y, Goto E. A method for measuring greenhouse cover temperature using a thermocouple [J]. Biosystems Engineering, 2006, 95(1): 99-109
- [8] Siyama. The society of agricultural structures in China-solar greenhouse[J]. The Society of Agricultural Structures, 2003, 123(1): 48-51
- [9] Campen J B, Kempkes F L K, Bot G P A. Mechanically controlled moisture removal from greenhouses[J]. Biosystems Engineering, 2009, 102(2): 424-432
- [10] Tawegoum R, Teixeira R, Chasseriaux G. Simulation of humidity control and greenhouse temperature tracking in a growth chamber using a passive air conditioning unit [J]. Control Engineering Practice, 2006, 14(2): 853-861
- [11] Toida H, Ohyama K, Kozai T, et al. A method for measuring dry-bulb temperatures during the operation of a fog system for greenhouse cooling[J]. Biosystems Engineering, 2006, 93(3): 347-351
- [12] Monteith J L. Principles of Environmental Physics [M]. 2nd. London: Edward Arnold, 1990: 30-35

(责任编辑: 刘迎春)