

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.04.031

多孔毛管温室冠层空间热风增温实验*

王新坤 许颖 夏立平 高世凯

(江苏大学流体机械工程技术研究中心, 镇江 212013)

【摘要】 为研究微孔散热条件下,多孔毛管沿程温度分布规律、温室冠层以下空间的垂直温度梯度及其与主要影响因素之间的关系,构建了多孔毛管温室空间热风增温实验系统。对多孔毛管进行保温围护,以毛管进口温度、进风压力、出风孔径等为实验参数,采集毛管前端孔口、中间孔口与末端孔口围护空间内温度数据,分析其在毛管沿程方向上和垂直空间内的分布规律。实验结果表明,毛管沿程出风孔口围护空间温升略有降低;垂直空间内温升呈先上升后下降的驼峰状变化趋势。不同进口温度、进风压力条件下,构建的热风增温系统可以使围护空间内距地面 800 ~ 1 200 mm 高度空间内的温度升高 2.5 ~ 6.2℃。

关键词: 温室能耗 多孔毛管 温室冠层 热风增温

中图分类号: S625.5*1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)04-0168-05

Hot Blast Heating Experiment in Greenhouse Canopy
Based on Porous Pipes

Wang Xinkun Xu Ying Xia Liping Gao Shikai

(Research Center of Fluid Machinery Engineering and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

In order to study the temperature distribution along the porous pipes, the vertical temperature gradient in space below greenhouse canopy and the relation between temperature gradient and its main influencing factors on the basis of heat dissipation of pores, the heating system of greenhouse canopy with hot blast based on porous pipes was established with inlet temperature, inlet pressure and diameter of outlet as the experimental factors. Through thermal insulating porous pipes, the temperature of the front outlets, middle outlets and end outlets of porous pipes and its distribution in vertical space were measured. The results showed that the outlet temperature decreased along the porous pipes, while the temperature in vertical space decreased after an increasing trend. Under different inlet temperatures and inlet pressures, the temperature in 800 ~ 1 200 mm height space of thermal insulated room rose 2.5 ~ 6.2℃.

Key words Greenhouse energy consumption, Porous pipes, Greenhouse canopies, Hot blast heating

引言

温室冬季增温需要消耗大量能量,且利用效率仅为 40% ~ 50%^[1~2]。热风增温作为一种常用的温室增温方式,具有一次性投资小、升温快、热效率较高等优点。

近年来,相关学者对温室热风增温进行了大量研究,主要有以下方面:热风增温条件下温室温度场分布的数值模拟^[3~4];热风炉的应用及其热量传递率、热效率的提高^[5~7];地热能、水源热能及太阳能等节能、环保的新型热源的应用^[8~11]等。但现有热风增温方式大都是通过风机直接将加热的空气吹入

收稿日期: 2011-05-09 修回日期: 2011-06-29

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2006AA100211)和江苏大学江苏省现代农业装备与技术重点实验室开放基金资助项目(NZ200808)

作者简介: 王新坤,研究员,博士生导师,主要从事节水灌溉理论与技术研究,E-mail: xjwxk@126.com

温室或通过 1 至 2 条输送管道把热风送入温室,散热均匀性有限,顶部热量积聚多,温室内外温差大,增温能耗高^[12~16]。研究表明,散热器安放在接近植物的较低位置时,热源首先进入植物冠层,增加对植物冠层的辐射换热,减少向屋顶的传热,降低能耗^[17~19]。本文将多孔毛管布置在地面上,热风通过各个出风孔口从地面向温室空间散发,提高散热均匀性,将热量保持在植物的根部和冠层,降低增温能耗。在不同毛管进口温度、进风压力以及出风孔径条件下,研究该系统温室冠层空间的增温效果。

1 实验系统

实验系统由热风机、加压风机、多孔毛管、保温围护空间以及温度和压力测量装置组成,如图 1 所示。采用 HAG-P5A-21(P3380-5C-025V)型通用热风机,8-09No. 6.8A 型高压风机。分流管直径 80 mm,毛管长度 10 000 mm、直径 16 mm,第 1 个出风孔口距毛管进口的距离为 150 mm,相邻 2 个孔口的距离为 330 mm,共 30 个出风孔口,毛管末端封闭^[20~21]。3 个保温围护空间结构及尺寸均相同,围护空间由挤塑式聚苯乙烯隔热保温板封闭而成,采用顶部敞开的形式。

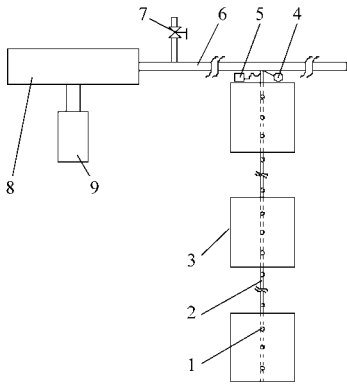


图 1 实验系统示意图

Fig.1 Schematic drawing of experiment system

- 1. 出风孔口 2. 多孔毛管 3. 围护空间 4. 进风压力表 5. 进口温度计 6. 分流管 7. 调压阀门 8. 加压风机 9. 热风机

2 实验方案

将多孔毛管上 30 个出风孔口按照从毛管前端到末端的方向依次编号,实验时,30 个出风孔口均向外散发热风,采集毛管前端 2 号、中间 15 号以及末端 29 号出风孔口的温度数据,考虑实验成本,仅对采集温度数据的出风孔口进行保温围护。3 个围护空间以及内部温度测点分布如图 2 所示。

考虑到温室作物栽培实际情况,采用 1 条毛管对 1 行作物进行增温,围护空间宽度为 500 mm;由

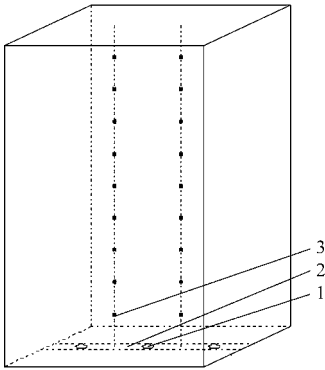


图 2 围护空间以及内部温度测点层分布示意图

Fig.2 Schematic drawing of thermal insulated room and temperature measure points distribution

- 1. 出风孔口 2. 多孔毛管 3. 温度测点探头

于孔口出风边界效应的存在,对被测孔口连同其相邻的前、后两孔口一起进行保温围护,围护空间在毛管沿程方向上尺寸设为 990 mm;考虑到实际温室中绝大多数作物冠层高度,围护空间垂直高度设为 2 000 mm。围护空间内毛管上相邻两孔口中点处布置一条垂线,垂线上每隔 200 mm 高度布置一温度测点,空间内共布 18 个测点。

经预实验后,出风孔径分别为 1、2 mm 时,各测点温度稳定分别需要 25、15 min,且不同孔径加热时围护空间内同一垂直高度上两测点的温度稳定值基本一致,但出风孔径为 1 mm 时,出风量少,围护空间内温升小,分布规律不明显。因此,采用出风孔径为 2 mm,实验研究进口温度分别为 35、40、45℃和进风压力分别为 4、5、6、7 kPa 时的加温效果及温度分布,以同一垂直高度上两测点的温度平均值与实验初始时两测点温度平均值的差值作为该高度层上的温升数据,确定增温效果。

3 结果与分析

3.1 实验结果

实验于 2011 年 1 月在江苏大学灌溉大厅内进行,相对封闭的空间可以减少光照辐射、空气流动等室外气象因素对数据测量的影响。实验时间段为 16:00~21:00,实验时大厅内环境温度为 2~4℃,相对湿度为 50%~65%。毛管前端、中间以及末端孔口围护空间内温升分布如图 3~5 所示。

3.2 实验结果分析

由实验结果分析围护空间温升在毛管沿程方向上和垂直空间内的分布规律及其与进口温度、进风压力之间的关系。

3.2.1 在毛管沿程方向的分布规律

取围护空间内 18 个测点温升的平均值作为该围护空间温升数据,如图 6 所示,不同进口温度、进

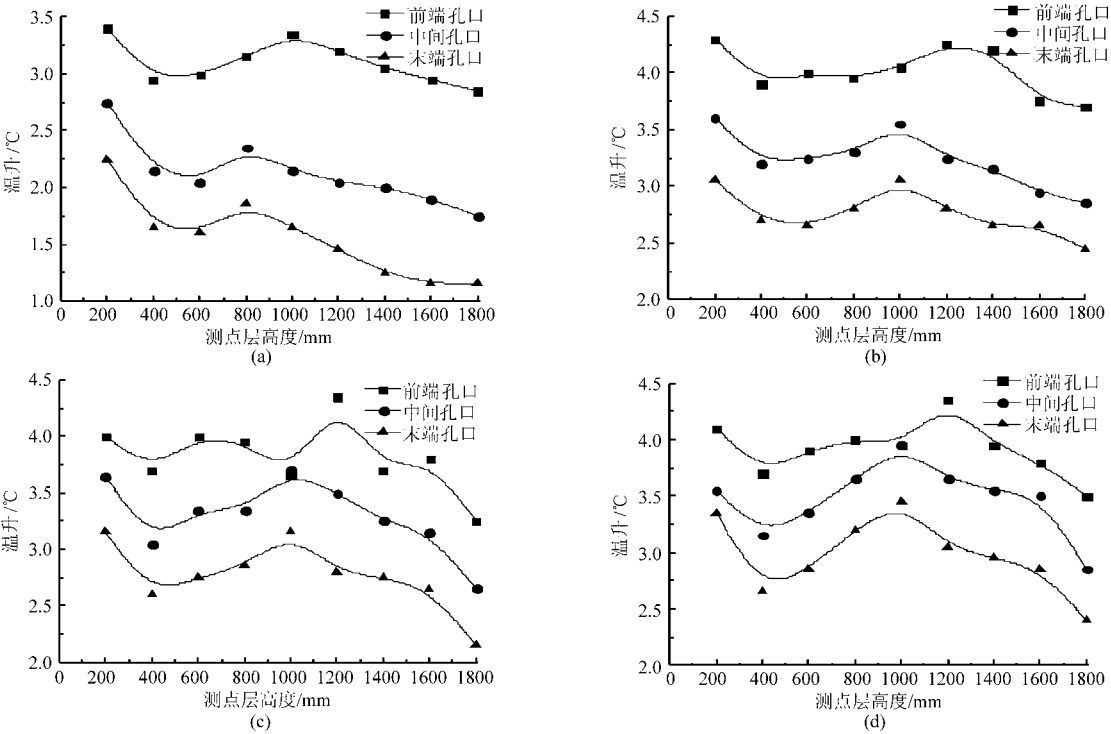


图3 进口温度 35℃、不同进风压力时的温升变化趋势

Fig.3 Change of temperature (inlet temperature of 35℃)

(a) 4 kPa (b) 5 kPa (c) 6 kPa (d) 7 kPa

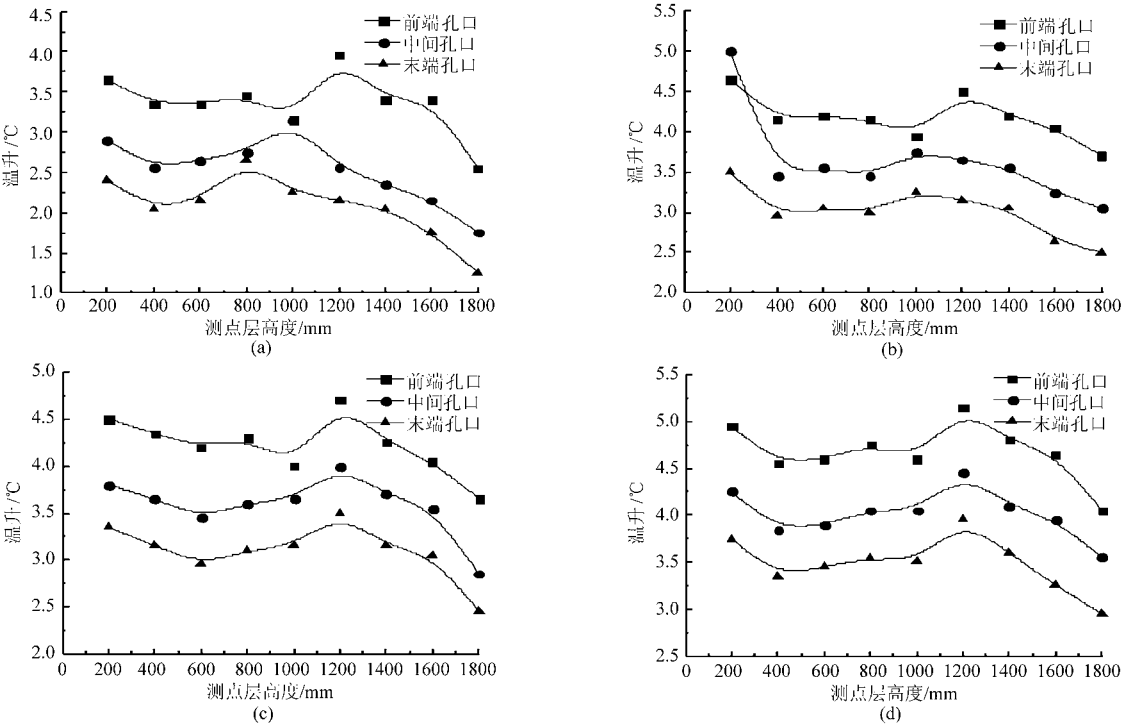


图4 进口温度 40℃、不同进风压力时的温升变化趋势

Fig.4 Change of temperature (inlet temperature of 40℃)

(a) 4 kPa (b) 5 kPa (c) 6 kPa (d) 7 kPa

风压力条件下,围护空间温升在毛管沿程方向上的变化规律基本一致。

间温升依次降低。图中横坐标为围护空间在毛管沿程上的长度位置。

(1)由于毛管沿程热量损失,导致孔口出风温度逐渐下降,且毛管沿程存在压降,孔口出风量逐渐减小,导致毛管前端、中间、末端出风孔口的围护空

(2)前端孔口围护空间温升与中间孔口围护空间温升之间的差值略大于中间孔口围护空间温升与末端孔口围护空间温升之间的差值。分析其原因

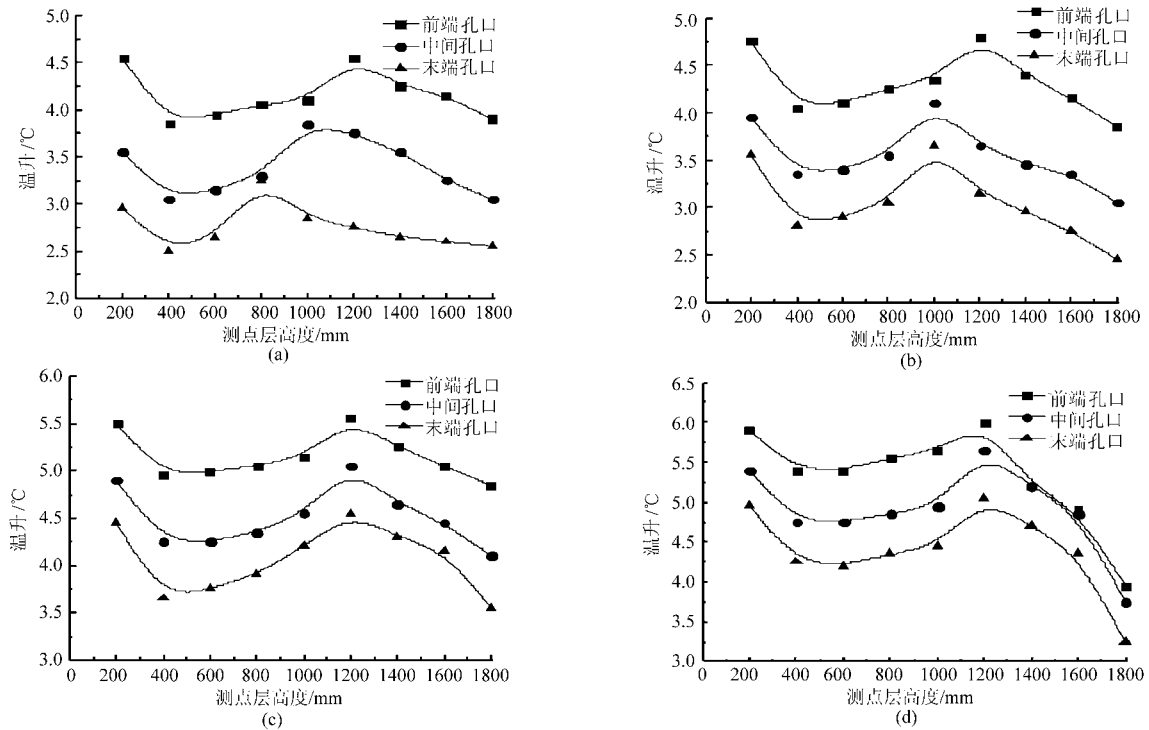


图 5 进口温度 45℃、不同进风压力时的温升变化趋势
Fig. 5 Change of temperature (inlet temperature of 45℃)
(a) 4 kPa (b) 5 kPa (c) 6 kPa (d) 7 kPa

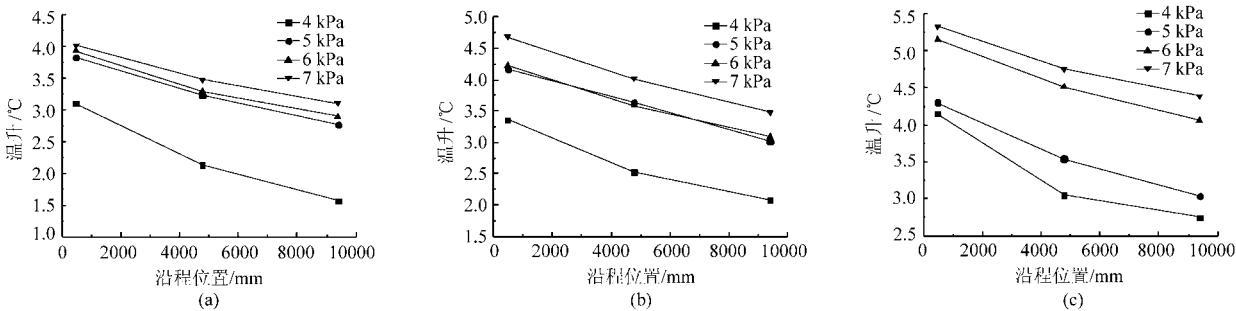


图 6 毛管沿程方向上围护空间温升变化曲线
Fig. 6 Change of temperature along porous pipe
(a) 进口温度 35℃ (b) 进口温度 40℃ (c) 进口温度 45℃

为:毛管沿程压降梯度逐渐减小,孔口出风量降低梯度也逐渐减小。因此,毛管上等间距两孔口出风量差值随孔口和毛管进口间距离的增大逐渐减小。

(3)进口温度一定时,随着进风压力的增大,毛管前端、中间、末端孔口围护空间温升逐渐一致。

3.2.2 在垂直空间内的分布规律

分析图 3~5 可知,垂直空间内温升随高度增加先减小后增大再减小,在 800~1 200 mm 高度空间内达一极大值,随后逐渐减小,大致呈驼峰状变化,但 200 mm 高度处明显偏大。其主要原因为:

(1)毛管孔口出风属于微孔射流,出流存在先收缩后扩散的现象。在射流收缩区,温升小,进入射流扩散区后,温升大且随高度增加逐渐增大,靠近围护空间敞口处时,热量散失增加,温升又逐渐减小。

(2)200 mm 高度层在出流收缩区,但靠近毛管

管壁,受到毛管热风热量散发的影响,其温升偏大。

3.2.3 温升极大值与进风压力、进口温度的关系

取 3 个围护空间内温升极大值的平均值,得出不同进口温度、进风压力条件下的温升极大值。如表 1 所示,随进口温度、进风压力的增加温升极大值

表 1 不同进口温度、进风压力条件下温升极大值

Tab. 1 Temperature rise under different inlet temperatures and inlet pressures					
进口 温度 /℃	进风 压力 /kPa	温升 极大值 /℃	进口 温度 /℃	进风 压力 /kPa	温升 极大值 /℃
35	4	2.5	40	6	4.3
35	5	3.5	40	7	5.1
35	6	3.7	45	4	3.8
35	7	4.2	45	5	4.2
40	4	3.4	45	6	5.1
40	5	3.9	45	7	6.2

逐渐增大。

由表1可知,该热风增温系统可以使围护空间内距地面800~1200 mm高度空间内的温度升高2.5~6.2℃。当温室增温需要不同温升值时,可通过改变毛管进风压力和进口温度来实现。

4 结论

(1)毛管沿程方向上围护空间温升略有降低,

随进风压力的增大,降幅逐渐减小,分布逐渐均匀。

(2)围护空间内距离地面200 mm以下和800~1200 mm空间内温升大,且随进口温度、进风压力的增加逐渐增大。因此,该热风增温系统能很好地将热量保持在作物根部和冠层空间。

参 考 文 献

- 1 周长吉. 现代温室工程[M]. 北京:化学工业出版社,2003:138.
- 2 陈教料,胥芳,张立彬,等. 基于CFD技术的玻璃温室加热环境数值模拟[J]. 农业机械学报,2008,39(8):114~118.
Chen Jiaoliao, Xu Fang, Zhang Libin, et al. CFD-based simulation of the temperature in glass greenhouse with forced-air heater[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8):114~118. (in Chinese)
- 3 朱惠斌,杨薇,白丽珍. 热风加温下Venlo型温室温度场的CFD数值模拟[J]. 农机化研究,2010,32(4):114~118.
Zhu Huibin, Yang Wei, Bai Lizhen. CFD simulation of temperature field in Venlo greenhouse with forced-air heater[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010,32(4):114~118. (in Chinese)
- 4 盛军强. 热风采暖条件下温室热环境数值分析与研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2007.
Sheng Junqiang. Numerical analysis of hot-blast heated greenhouse thermal environment[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2007. (in Chinese)
- 5 辜松,王忠伟,李辉. 塑料薄膜通风筒在温室采暖系统中的应用[J]. 农机化研究,1995,17(1):15~17.
Gu Song, Wang Zhongwei, Li Hui. The application of plastic film ventilation tube in greenhouse heating system[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 1995,17(1):15~17. (in Chinese)
- 6 孙锋,邱立春,王秀珍. 燃煤热风炉在温室生产中的应用[J]. 农机化研究,2006,28(6):179~181.
Sun Feng, Qiu Lichun, Wang Xiuzhen. Application studies on burning coal sirocco-stove in greenhouse production[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006,28(6):179~181. (in Chinese)
- 7 迟宏伟,黎东光,刘忠华. 热风炉用于寒冷地区棚室增温效果分析[J]. 农机化研究,1999,21(4):97~99.
Chi Hongwei, Li Dongguang, Liu Zhonghua. The analysis of sirocco-stove heating effect in cold area[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 1999,21(4):97~99. (in Chinese)
- 8 马承伟,黄之栋,穆丽君. 连栋温室地中热交换系统贮热加温的试验[J]. 农业工程学报,1999,15(2):160~164.
Ma Chengwei, Huang Zhidong, Mu Lijun. Experiment of heating & heat-storing of the underground heat exchange system in a multispans greenhouse [J]. Transactions of CSAE, 1999, 15(2):160~164. (in Chinese)
- 9 王永维,苗香雯,崔绍荣,等. 温室地下蓄热系统换热特性研究[J]. 农业工程学报,2003,19(6):248~251.
Wang Yongwei, Miao Xiangwen, Cui Shaorong, et al. Heat exchanging characteristics of underground heat storage system in greenhouse[J]. Transactions of CSAE, 2003, 19(6):248~251. (in Chinese)
- 10 王吉庆,张百良. 水源热泵在温室加温中的应用研究[J]. 中国农学通报,2005,21(6):415~419.
Wang Jiqing, Zhang Bailiang. Experiment of water source heat pump in greenhouse heating [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(6):415~419. (in Chinese)
- 11 毛罕平,王晓宁,王多辉. 温室太阳能加热系统的设计与试验研究[J]. 太阳能学报,2004,25(3):305~309.
Mao Hanping, Wang Xiaoning, Wang Duohui. The design and test on greenhouse solar energy heating system[J]. Acta Energaiae Solarise Sinica,2004,25(3):305~309. (in Chinese)
- 12 潘强,黄之栋,马承伟,等. 华北型连栋塑料温室节能对策与实践[J]. 农业工程学报,1999,15(2):155~159.
Pan Qiang, Huang Zhidong, Ma Chengwei, et al. Study on the energy conservation of Huabei-Type multi-span plastic greenhouse and its practice[J]. Transactions of CSAE, 1999, 15(2):155~159. (in Chinese)
- 13 曲梅,马承伟,李树海,等. 地面加热系统温室热环境测定与经济分析[J]. 农业工程学报,2003,19(1):180~183.
Qū Mei, Ma Chengwei, Li Shuhai, et al. Analysis of thermal environment of greenhouse with floor heating system[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(1):180~183. (in Chinese)
- 14 汪郑邦. 现代温室供热系统的设计及运行模拟研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
Wang Zhengbang. Design of heating system of modern greenhouse and study on functioning simulation[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006. (in Chinese)

参 考 文 献

- 1 王吉庆, 张百良. 几种降温措施在温室夏季降温中的应用研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 257 ~ 260.
Wang Jiqing, Zhang Bailiang. Application of some cooling measures for greenhouse cooling in summer[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(9): 257 ~ 260. (in Chinese)
- 2 Carlos R B, Rodrigo G, Alexander C. Use of geostatistical and crop growth modelling to assess the variability of greenhouse tomato yield caused by spatial temperature variations[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 65(2): 219 ~ 227.
- 3 Udink ten Cate A J. Modeling and adaptive control of greenhouse climate[D]. Wageningen: Agricultural University, 1983.
- 4 Albert Setiawan, Louis D Albright, Richard M Phelan. Application of pseudo-derivative-feedback algorithm in greenhouse air temperature control[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 26(9): 283 ~ 302.
- 5 Bennisa N, Duplaix J, Eneab G, et al. Greenhouse climate modelling and robust control[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 61(2): 96 ~ 107.
- 6 Fathi Fourati, Mohamed Chtourou. A greenhouse control with feed-forward and recurrent neural networks[J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2007, 15(8): 1 016 ~ 1 028.
- 7 Majdoubi H, Boulard T, Fatnassi H, et al. Airflow and microclimate patterns in a one-hectare canary type greenhouse: an experimental and CFD assisted study[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(6 ~ 7): 1 050 ~ 1 062.
- 8 Tong G, Christopher D M, Li B. Numerical modelling of temperature variations in a Chinese solar greenhouse[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 68(1): 129 ~ 139.
- 9 王健. 互插式连栋温室优化设计与通风试验研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
Wang Jian. Optimal design and ventilative test of mutual insert multi-span greenhouse[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 10 佟国红, David M Christopher. 墙体材料对日光温室温度环境影响的 CFD 模拟[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 153 ~ 157.
Tong Guohong, David M Christopher. Simulation of temperature variations for various wall materials in Chinese solar greenhouses using computational fluid dynamics[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(3): 153 ~ 157. (in Chinese)
- 11 Versteeg H K, Malalasekera W. An introduction to computational fluid dynamics[M]. London: Longman Group Ltd., 1995.
- 12 Sase S. Wind tunnel testing on airflow and temperature distribution of a naturally ventilated greenhouse[J]. Acta Horticulturae, 1984(148): 329 ~ 336.
- 13 Fluent Inc. FLUENT 6.3 documentation[M]. Lebanon NH: Fluent Inc., 2006.
- 14 李全胜, 庞振潮. 不同下垫面和农田作物群体中的小气候研究[J]. 浙江气象科技, 1991, 12(1): 35 ~ 38.
- 15 何国敏. 现代化温室温度场数字化模拟研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- 16 程秀花, 毛罕平, 倪军. 温室环境-作物湿热系统 CFD 模型构建与预测[J]. 农业机械学报, 2011, 42(2): 173 ~ 179.
Cheng Xiuhua, Mao Hanping, Ni Jun. Numerical prediction and CFD modeling of relative humidity and temperature for greenhouse - crops system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 173 ~ 179. (in Chinese)

(上接第 172 页)

- 15 杨其长. 荷兰温室环境调控技术进展[J]. 农业工程技术: 温室园艺, 2006(12): 8 ~ 9.
- 16 冯广和. 温室的节能问题[J]. 农业工程技术: 温室园艺, 2004(5): 23 ~ 25.
- 17 Winspear K W. Vertical temperature gradients and greenhouse energy economy[J]. Acta Horticulture, 1978(76): 97 ~ 104.
- 18 Popovski K. Location of heating installations in greenhouses for low temperature heating fluids [C] // Proceedings of CNRE Workshop, Dublin, Ireland, CNRE Bulletin No. 15, 1986: 51 ~ 53.
- 19 Kempkes F L K, Van de Braak N J, Bakker J C. Effect of heating system position on vertical distribution of crop temperature and transpiration in greenhouse tomatoes [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2000, 75(1): 57 ~ 64.
- 20 王新坤, 许文博, 赵坤, 等. 基于 CFD 的多孔管热风数值模拟与设计方法[J]. 排灌机械工程学报, 2011, 29(1): 82 ~ 86.
Wang Xinkun, Xu Wenbo, Zhao Kun, et al. Numerical simulation and design method of hot air for porous pipe based on CFD[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2011, 29(1): 82 ~ 86. (in Chinese)
- 21 王新坤. 一种基于滴灌管网的温室冠层环境调控系统与方法: 中国, 201010603269.0[P]. 2011-08-17.
Wang Xinkun. A control system and method of greenhouse canopy environment based on drip irrigation pipe network: CN 201010603269.0[P]. 2011-08-17. (in Chinese)