

# 上排风方式在华北型连栋温室夏季降温中的试验研究

余亚军 滕光辉 马承伟

(中国农业大学 水利与土木工程学院,北京 100083)

**摘要** 针对华北型连栋温室夏季降温系统存在的内遮阳网上部高温区通风不足的问题,提出了一种新的通风降温模式:上排风+湿垫+内遮阳网。对该模式的夏季降温效果进行了试验研究,结果表明,在外部平均温度为29.8℃时,通过上排风方式可以降低温室内部温度3.4℃;上排风方式与下部纵向通风方式相比,节能率达到9.6%。该降温模式对温室的夏季降温有一定的效果。

**关键词** 上排风;温室降温;温度;节能

**中图分类号** S 624.44

**文章编号** 1007-4333(2003)06-0029-04

**文献标识码** A

## Preliminary experimental study of up ventilation cooling method in a multi-span huabei-type greenhouse

Yu Yajun, Teng Guanghui, Ma Chengwei

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** An approach (Up ventilation + wet pad + inside thermal net-cooling system) was introduced to decrease heat air coming from sunshine in the greenhouse. A new model for ventilation in Huabei type greenhouse in summer was put forward. The effects of that model were studied in different matches. Results indicated that this system was efficiency. When the air temperature outside greenhouse is 29.8℃, up ventilation cooling method could reduce inside temperature of the greenhouse in summer, up to 3.4℃. Compared with mechanical ventilation method, its energy saving ratio can be increased to 9.6%.

**Key words** up ventilation; greenhouse cooling; temperature; saving energy

长期以来,温室的夏季降温问题一直是倍受设施农业工程研究者关注的课题之一<sup>[1~3]</sup>。从20世纪80年代开始,应用于温室的夏季降温模式层出不穷,总体上概括为:机械通风、自然通风、遮阳网、喷雾降温、蒸发降温方式以及这些方式的有效组合。

关于温室通风的研究文献<sup>[4]</sup>也比较多,多从自然通风的数学模型及实体温室两方面进行了研究。1989年国外学者Montero对温室喷雾降温方式进行了研究,1994年与Anton合作研究了遮阳网的夏季降温效果;Bailey(1995)和Boulard(1996,1997)等分别就温室自然通风和机械通风以及几种降温方式联合使用的温室降温效果进行了研究。

我国华北地区夏季酷热,室外温度可高达40℃以上,且年温差极大。该地区夏季温室正常生产所采用的降温方式主要有自然通风和机械通风(纵向负压式)。自然通风是依靠室内外空气所产生的热压和风压而工作的,在高温季节自然通风量远远不够,尤其是华北型温室设计之初重点考虑的是冬季的保温,温室檐高设计在3.5m以下,而该因子直接影响温室的自然通风效果,所以机械通风仍然是需要考虑的一种降温方式。单纯使用风机进行通风降温时温室内部的温湿环境不很理想,考虑可以通过湿垫获得更加便宜的冷源。

温室工程中常用的真空镀铝反射型遮阳网是利

收稿日期:2003-06-25

基金项目:农业成果转化基金“华北型连栋塑料温室工程关键技术中试”(02EFN216901266)

作者简介:余亚军,硕士研究生;滕光辉,博士,副教授,主要研究方向为“模拟”技术在温室环境模拟中的应用(数字温室的开发研究),及数字图像技术在工厂化农业领域的应用

用反射材料对长、短波辐射均有较高反射率的特性<sup>[5]</sup>而工作的。这种材料的遮阳网所使用的铝箔材料不论在可见光、红外及远红外区,都具有很强的反射率,同时保持了低发射率的热辐射特性,从而具有明显的温室降温效果。

温室内部热量主要来自于太阳辐射<sup>[5]</sup>,使用内遮阳可以有效地降低温室内部的温度<sup>[6]</sup>;但由于内遮阳将来自太阳辐射的一部分能量积聚在遮阳网与顶部覆盖薄膜之间的封闭空间内,使得在该封闭空间内形成了一个高温空间区,温度有时高达 60。该封闭空间的空气和温室内遮阳网下部的空气均为非等温射流。如果既能使内遮阳发挥足够的潜力又能排除内遮阳网上部封闭空间的热空气,将较大程度的提高温室的夏季降温效果。

本研究采用上排风方式以解决夏季传统华北型温室降温系统存在的内遮阳网上部高温区通风不足的问题,同时期望减少温室夏季运行的能耗。

## 1 上排风方式的通风降温原理

夏季温室中,上部风机工作后将在遮阳网的上部空间产生了负压区,从而促使下部的空气向前向上移动,外部的空气通过湿垫等焓加湿降温(图 1)后,进入温室内部成为温室植物种植区所需的冷媒。这部分冷空气在植物生长区吸收来自太阳辐射的同时,还受周围环境通过 3 种热传递方式而产生的温度上的影响,这将会使温室内部空间温度升高并出现明显的分层现象,形成温度梯度(在高度方向上逐渐增加);而来自湿帘的冷空气又不断地补充进来,考虑到上排风的风量小,而进入的空气密度大,进入的冷空气必定会贴地面向前缓慢流动,从而构成了完整的上排风+湿垫+内遮阳网的降温模式,称之

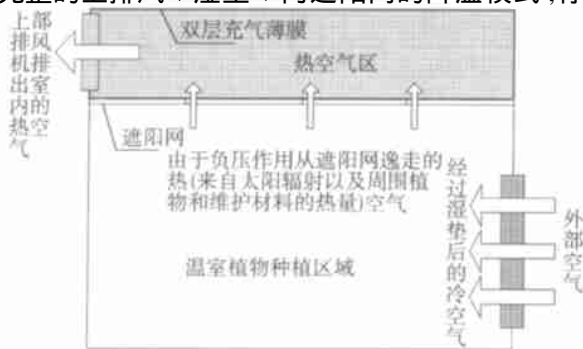


图 1 上排风方式通风降温原理简图

Fig. 1 Schematic diagram of up ventilation of greenhouse

为上排风方式。

## 2 试验设计

### 2.1 试验地点与温室情况

试验温室位于中国农业大学水利与土木工程学院试验基地。温室檐高 2.8 m,跨度 8 m,开间 4 m,东西、南北方向长分别为 24 m 和 18 m,建筑面积 442 m<sup>2</sup>。温室顶部覆盖材料为双层充气薄膜,北墙为保温性能良好的彩钢聚苯板,其余三面幕墙覆盖材料为 10 mm 的 PC 板(美国 SPS 公司生产),遮阳网型号为 PH66,开张方向为开间方向,西班牙公司生产。

试验温室安装上排风风机 2 台:9FJ6.0 风机,叶轮直径 600 mm,转速 930 r·min<sup>-1</sup>,静压 0 Pa 时的风量 12 000 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>,静压 38 Pa 时的风量 10 470 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>,电机功率 370 W,单位电机功率风量 32.4 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>;对照温室选用下部纵向通风风机 4 台:9FJ12.5 风机,叶轮直径 1 250 mm,转速 320 r·min<sup>-1</sup>,静压 45 Pa 时风量 25 000 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>,电机功率 0.75 kW。

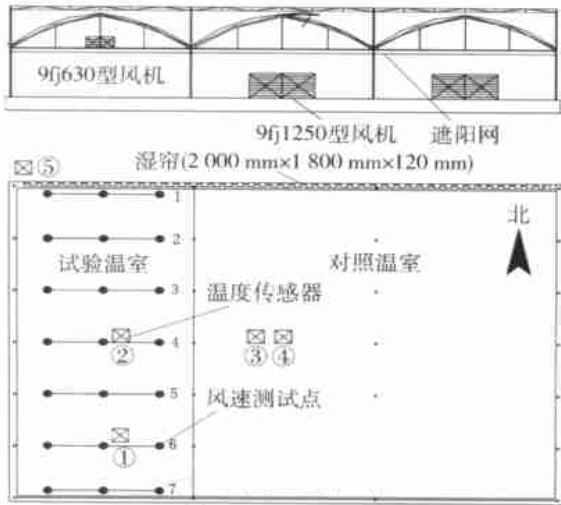
试验时间分别为 2002-07-25(能耗对比试验),2002-07-26-1:40~1:50 和 2:00~2:20(上排风方式降温可行性试验),2002-07-27-15:40~16:35(风速测试试验),2003-07-29(上排风方式对温室高度方向温度的影响)。

能耗对比试验时,温室西部为试验温室,内部种植西葫芦;东部两跨结构为对照温室,种植番茄。试验温室和对照温室中间用塑料薄膜隔开(图 2)。

进行上排风方式对温室高度方向温度影响试验时,使用整体温室在温室的中部进行试验。温室上部安装 6 台 9FJ6.0 风机,每跨布置 2 台。温度测量点距离室内地面距离分别为:20,50,80,140,180,200 cm,其中 80 cm 处为番茄叶片温度,其余为室内空气温度。

### 2.2 试验测试方案设计

温度传感器采用 T 分度型铜-康铜热电偶,测试期间对温度传感器进行热辐射屏蔽,自然对流情况下,让温度传感器置于边界层外面。DL3000 型数据记录仪。数据采集时间设定为每 5 min 采集 1 次。风速测量仪器采用日本筑波大学提供的热线风速仪,测量范围 0~20 m·s<sup>-1</sup>,精度 0.01 m·s<sup>-1</sup>,制造厂家 KANOMAX。测试点位置示意图 2。



1, 2, ..., 7 为风速测试端面编号。①, ②, ③, ④, ⑤ 为温度测量点, 具体为: 试验温室遮阳网上部, 距遮阳网上表面 1 m; 试验温室遮阳网下部, 距地面 1.5 m; 对照温室遮阳网上部, 距遮阳网上表面 1 m; 对照温室遮阳网下部温度距地面 1.5 m; 温室外部。

图 2 温度传感器位置和风速断面测试点

Fig. 2 Position of temp. sensor and velocity measurement points

### 3 结果和讨论

#### 3.1 上排风方式对温室夏季降温的可行性试验研究

试验期间, 试验温室停止上部 2 台风机的通风, 对照温室遮阳网开启。对 1:25 ~ 2:45 实验段的试验温室及对照温室各测点温度变化进行记录并分析, 结果见图 3。从图 3 可以看出试验温室遮阳网下部温度和遮阳网上部温度, 在风机停止工作的 2

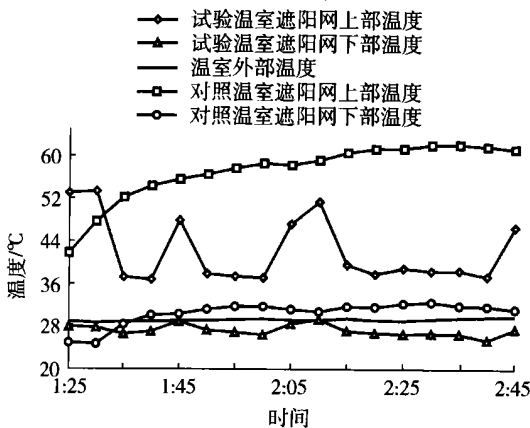


图 3 上排风方式对温室温度的影响 (2002-07-26)

Fig. 3 Effect of up ventilation on greenhouse temp.

个时间段内骤然上升, 而风机开启后, 其温度又很快下降, 二者变化的一致性很好。对照温室遮阳网下部温度随遮阳网上部温度的上升有小幅度上升。试验表明, 在夏季温室中使用上排风方式与不通风的对照温室比较, 上排风方式有一定的降温效果。外部平均温度为 29.8 °C 时, 可以降低温度 3.4 °C 左右。

#### 3.2 上排风方式对高度方向温度分布和遮阳网网缝风速分布的影响

试验时运行温室上部 6 台风机进行试验, 对采集数据处理后发现: 温室内部温度在高度方向有明显的分层现象<sup>[7~9]</sup>, 与置换通风的研究结论一致; 温室遮阳网下部, 温度自地面而上依次递减, 上部温度的降低在一定程度上改善了植物顶部的温度环境。遮阳网上下表面温差达到 20 °C 左右。温度梯度在该界面跳跃很大。图 4 示出采用上排风方式后温室内部高度方向温度的分布。

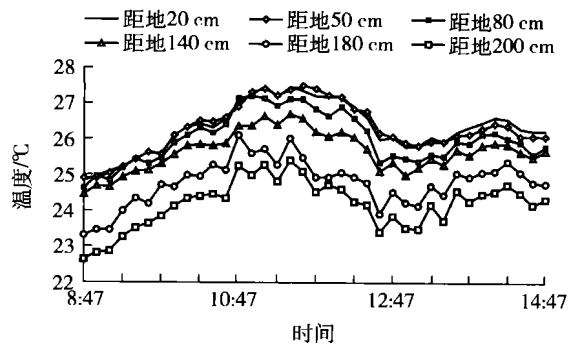


图 4 上排风方式对温室内部高度方向温度分布的影响 (2003-07-29)

Fig. 4 Effect of up ventilation on vertical temp. distribution in the greenhouse

图 5 示出 2002-07-27-15:40 ~ 16:35 温室地面上 1 m 处(图 5(a)) 和遮阳网网缝处(图 5(b)) 空气流动水平速度沿纵向的分布情况。由图 5(a) 可见, 温室入口和出口处的通风有短路现象, 速度死角明显, 但是在温室中部, 空气流动速度分布比较均匀。图 5(b) 中, 遮阳网网缝处空气流动水平速度曲线呈马鞍形, 根据流体在两平行平板间定常流动的原理, 空气速度的侧型分布呈抛物线型, 试验结果和理论分析结果吻合。另外, 内遮阳网缝隙处垂直速度的分布(从湿帘到风机端面) 基本符合比例递增的函数关系。

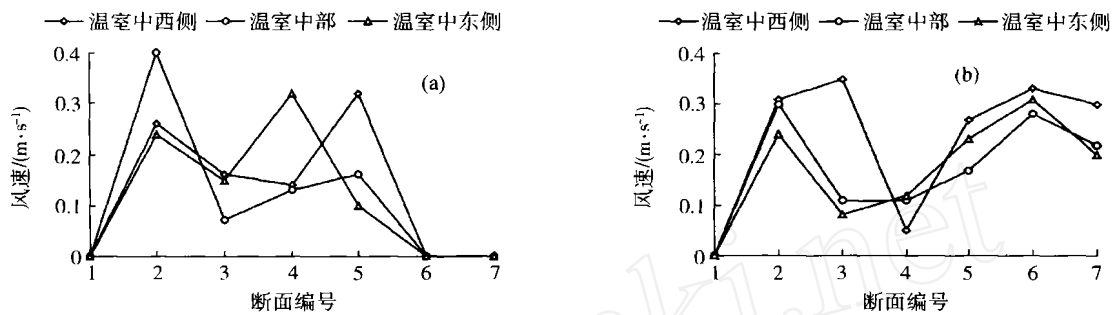


图5 温室地面上1m处(a)和遮阳网网缝处(b)空气流动水平速度的纵向分布(2002-07-27-15:40~16:35)

Fig. 5 Level values of air lateral velocity in the greenhouse (1 meter above ground(a) & position of thermal net gap (b))

### 3.3 上排风与下部纵向通风的降温节能效果比较

表1示出上排风和下部纵向通风两种降温方式能耗相关参数。可见,相同条件下,采用上排风方式时单位能耗较下部纵向通风方式减少了 $0.0001 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot ^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ,节省能源9.6%。初步分析认为,这与上排风方式较高的通风效率,以及排除上部热空气后对下部空间热环境的影响有关。

表1 上排风与下部纵向通风两种降温方式能耗对比结果(2002-07-25)

Table 1 Comparison of the index of saving energy between displacement ventilation and down mechanical ventilation

项 目	对照温室 (纵向通风)	试验温室 (上排风)
风机型号	9FJ12.5	9FJ6.0
台数/台	4	2
功率/kW	0.75	0.37
通风时间/min	40	40
控制面积/ $\text{m}^2$	288	144
通风后平均温度/	23.7	26.4
外部的平均温度/	29.8	29.8
总降温幅度/	6.1	3.4
单位温度能耗/ $(\text{kW} \cdot ^{-1})$	0.5464	0.1481
单位面积能耗/ $(\text{kW} \cdot \text{h} \cdot ^{-1} \cdot \text{m}^{-2})$	0.00113	0.00103

排出余热的通风效率<sup>[10]</sup>(德国称为能量利用系数)为

$$E_T = (T_p - T_o) / (T_T - T_o) \quad (1)$$

式中: $T_p$ ,  $T_o$ ,  $T_T$ 分别为排风温度、进风温度和工作区平均温度。从式(1)可知,当 $T_p > T_T$ 时, $E_T > 1$ ;  $T_p < T_T$ 时, $E_T < 1$ 。对于传统混合式通风,其效率最大为1,实际应用中常为0.5~0.7,多污染源置换

通风方式的效率 $E_T > 1$ ,通常介于1~2之间。

对采用上排风方式时采集的相关数据进行分析,试验温室能量利用系数 $E_T = 4.3$ 。由于温室内遮阳网上部的温度较高,而下部的冷媒补充及时,得到的 $E_T$ 值较大,说明上排风方式在提高温室降温通风效率方面有较大优势。

## 4 结束语

华北型连栋温室夏季采用上排风+湿垫+内遮阳网组成的降温方式可以使温室内部的环境温度降低到植物所需的适宜温度范围内。与传统的纵向下部强制通风系统相比,该方式节能率达到9.6%。由于本次试验是在试验温室中进行的,建议在实际应用中进行重复试验,以验证上排风方式的降温效果。

## 参 考 文 献

- [1] Vanhoutte S. Comparison of polynomial regression and linear interpolation as methods for temperature distribution studies under greenhouses [J]. Acta Horticulturae, 1990(281):211~299
- [2] Montero J I. Greenhouse cooling during warm periods [J]. Acta Horticulturae, 1994 (357):49~61
- [3] Nishina H. Experimental analysis of influence of air temperature, ventilation and shading on cooling load and  $\text{CO}_2$  concentration in zone cooling system in greenhouse [J]. Acta Horticulturae, 1996(440):245~250
- [4] 陈加忠,陈志升,黄照明. 温室环境模式之研究( )数学模式分析[J]. 中华农业研究, 1992, 41(1):79~89
- [5] 郦伟,董仁杰,汤楚宙,等. 日光温室热环境模型理论[J]. 农业工程学报, 1996, 13(2):160~163

(下转第65页)

函数情况最为理想,这说明了本文中所提出的针对工程图纸的阈值和阈值函数的选择方案是合理的。

#### 4 结束语

本文中主要针对具有高斯白噪声的工程图纸数字图像讨论了阈值和阈值函数的选择以及消噪的具体实现过程。在实际工程应用中,图像中的噪声可能是非高斯分布的。有关非高斯分布噪声的消除一般借用高斯分布噪声的处理方法,但效果不很理想,其关键还在于阈值和阈值函数的选取,这需要做出进一步的研究。

#### 参 考 文 献

- [1] 李四明. 工程图纸输入与自动识别系统的研究[D]. 北京:中国农业大学,2000. 17~18
- [2] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京:科学出版社,1999. 178
- [3] 程正兴. 小波分析算法与应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,1998. 162
- [4] 谢杰成,张大力,徐文力. 小波图像去噪综述[J]. 中国图像图形学报,2002,7(3):209~217
- [5] Jansen M, Bultheel A. Multiple wavelet threshold estimation by generalized cross validation for images with correlated noise[J]. IEEE Trans Image Processing, 1999,8(7):947~953

(上接第 32 页)

- [6] Willits D H. The effect of shade cloth temperature on the cooling efficiency of shade cloths in greenhouses[A]. In: Department of Biological and Agricultural Engineering. Presentation at the 2002 ASAE Annual International Meeting/ CIGR XVth World Congress [C]. Chicago, Illinois, USA: ASAE. 2002
- [7] 李晓冬,姜允涛,金玮涛. 大型玻璃温室通风降温系统

形式探讨[J]. 低温建筑技术,2000(4):30~32

- [8] 周林光. 置换通风及其数值模拟[D]. 上海:同济大学,1996
- [9] 刘传聚,周林光. 置换通风的数值模拟[J]. 建筑热能通风空调,1998(1):4~7
- [10] 武文斐,陈俊俊,王晓彤,等. 多污染源置换通风效果与舒适性研究[J]. 环境工程,2002,20(4):69~71

(上接第 53 页)

#### 参 考 文 献

- [1] 陈远国. 分离式热管换热器的研究、应用与评价[A]. 见:第三届全国热管会议组委会. 热管研究与应用进展(第三届全国热管会议论文集)[C]. 重庆:重庆大学出版社,1991. 135~141

- [2] 科利尔. 对流沸腾和凝结[M]. 魏先英译. 北京:科学出版社,1982. 74~102
- [3] Stephen K. Heat Transfer in Condensation and Boiling [M]. New York: Springer-Verlag,1992. 150~151
- [4] 屠传经,王朝阳,严玲. 分离型热管内凝结换热的研究[A]. 见:第二届全国热管会议组委会. 第二届全国热管会议论文集[C]. 大连:中国工程热物理学会热管专业组,1988. 213~219