

荷兰 Venlo 型连栋温室夏季自然通风降温系统的试验研究

李永欣 王朝元 李保明

史彦鹏

(中国农业大学水利与土木工程学院) (河南省濮阳市世锦现代农业有限公司)

摘要 针对我国气候条件下,大型连栋温室夏季自然通风降温效果差,而机械通风降温成本较高的问题,对采用自然通风并结合遮阳网、室外屋顶喷淋降温措施的荷兰引进 Venlo 型玻璃温室的室内温湿度状况进行了测试。结果表明:连栋温室室内空气温度明显低于室外,且室内温湿度分布比较均匀,能够满足作物生长需求。室外屋顶喷淋的降温效果显著,而且未造成温室湿度显著增加。这种自然通风降温系统的能耗小,在中原地区使用可以达到温室降温和降低温室夏季生产成本的双重目的。

关键词 降温; 自然通风; 遮阳; 喷淋; 温室

中图分类号 S 625

Experimental Research on Cooling Effect of Natural Ventilation in a Venlo-type Multi-span Greenhouse

Li Yongxin¹, Wang Chaoyuan¹, Li Baoming¹, Shi Yanpeng²

(1. college of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Puyang Shijin Modern Agricultural Co. Ltd, Puyang 457000, China)

Abstract Cooling effect of natural ventilation together with shading, roof sprinkling in a Venlo-type multi-span greenhouse was studied. The experiments were conducted in Venlo-type glasshouse in Puyang city, Henan province, in July, 2001. The experimental data showed that the air temperature inside greenhouse was lower than outside when applied the natural ventilation cooling system, and the distributions of air temperature and relative humidity in the greenhouse were uniform. The roof sprinkling played an important role in the cooling system, and did not enhance the humidity of the greenhouse very much. The energy consumption in the greenhouse was reduced greatly in summer. This kind of natural ventilation cooling system could effectively reduce the air temperature and the energy consumption in multi-span greenhouse in China.

Key words natural ventilation; cooling; shading; roof sprinkling; greenhouse

大型连栋温室的夏季降温问题一直是设施农业工程研究者面临的难题之一。在目前所采用的通用降温措施中,自然通风和机械通风是 2 种主要的通风手段,自然通风受室外气象因素的影响很大^[1]。由于我国的气候特点,许多地区夏季平均风速较低,连栋温室单纯依靠自然通风难以达到降温的目的,因此国内许多连栋温室采用湿垫-风机、细雾-风机等措施进行夏季通

收稿日期: 2002-04-18

高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助

李永欣,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)104 信箱, 100083

风降温。从目前的使用情况来看, 这些机械通风降温系统虽然降温效果明显, 但是运行过程中能耗较高^[2]。在有些地区, 温室用于夏季降温的能耗达到生产成本的 30%~40%, 给夏季温室的生产经营带来很大的困难^[3]。

为了解决这一矛盾, 一些研究者尝试在自然通风的基础上结合室外遮阳、室内喷雾或喷淋措施进行降温, 取得了一些经验。Dayan(1998)对连栋温室采用自然通风、自然通风+遮阳、风机+湿垫的降温措施进行了对比试验^[4]。Arbel(1999)对连栋温室夏季采用喷雾降温 and 湿垫降温的效果进行了对比试验, 并对自然通风结合喷雾系统降温进行了理论分析^[5]。

在连栋温室内喷雾或喷淋虽然蒸发降温效率高, 但容易造成室内空气湿度增高, 过高的湿度不利于一些作物的生长; 另外, 水滴或雾滴在作物叶面上的积累也容易引起作物病害^[6]。为了避免出现上述问题, 一些温室设计者将喷淋装置安装在室外屋顶, 并结合遮阳网进行降温。目前, 尚未见这种降温措施降温效果和使用情况的有关报道。笔者对大型连栋温室采用这种自然通风降温系统的降温效果进行了测试, 以了解其实际应用效果, 为我国今后设计和建造大型连栋温室提供依据。

1 试验条件与测试方案

1.1 试验地点与温室环境

试验于 2001 年 7 月在河南省濮阳市进行, 试验温室为濮阳市世锦现代农业发展有限公司 1998 年从荷兰全套引进的 2 hm² 的 V enlo 型玻璃温室。温室分为面积相等的 4 个区, 彼此用玻璃分隔开。试验在位于西南角的第 2 区进行。2 区长度: 4.5 m/间 × 14 间 = 63.0 m, 宽度 9.6 m/跨 × 8 跨 = 76.8 m, 面积为 4 838.4 m²。温室为改进的 V enlo 型玻璃温室结构(图 1), 檐高 4.0 m, 脊高 5.0 m, 屋面和墙体均采用厚度为 4 mm, 透光率 > 89% 的浮法玻璃。温室依靠屋顶天窗进行通风, 屋顶天窗间隔布置, 每扇窗的面积为 3.366 m × 1.0 m, 天窗的开启由电机驱动齿条机构完成。

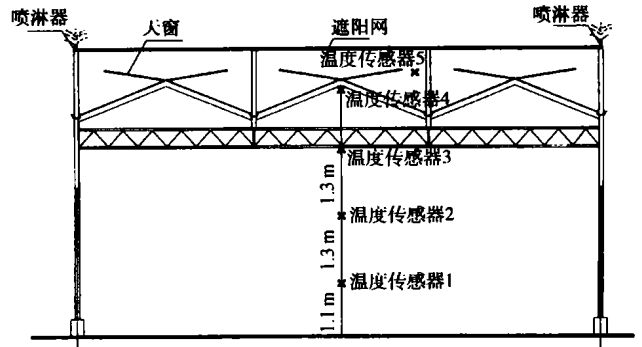


图 1 温室结构与温度传感器布置示意图

濮阳市属暖温带半湿润大陆性季风气候, 年平均气温 13.3℃, 年平均风速 2.7 m·s⁻¹。2000 年日最高气温 39.1℃, 最低气温 -15.3℃。由于濮阳市夏季日最高气温较高, 室外平均风速较小, 不利于进行自然通风降温, 因此温室首次增设了外遮阳网和室外屋顶喷淋设备。遮阳网安装在温室外部, 距屋脊 0.4 m。遮阳网遮光率为 50%, 由电机带动镀锌管驱动。屋顶的喷淋器安装在遮阳网上方, 采用 PVC 管每跨格安排一条分流管线供水, 沿分流管线每 9 m 安装一支喷淋器。喷淋器的喷水能力为 5 L·m in⁻¹, 喷淋范围直径为 17 m, 喷淋系统的管路压力小于 0.3 MPa。

温室内采用双 W 型泡沫槽种植红掌花卉, 试验开始时植株高度约 1.2 m。红掌为喜阴植物, 其适宜的环境条件为: 太阳辐射度小于 300 W·m⁻², 否则会发生叶面灼伤; 最适温度为

25, 最高不能超过 35; 最适相对湿度 70%~ 80%。

1.2 测试方案

温室内的空气温度由 Pt100 温度传感器测试, 共取 5 个测点, 其中 4 个从植物冠层到温室顶端垂直布置, 1 个布置在遮阳网的下方(图 1)。采用通风干湿表在温室南北方向测试空气的温湿度值; 采用红外测温仪(美国 Raytek 公司 Raynger ST30 型)测量红掌的叶面温度。温室的光环境测试采用 2 个辐照度传感器测量, 一个布在室外, 一个布在室内植物冠层高度。温度和辐照度传感器采集的数据由数据记录仪(英国 Delta-T Devices 公司 DL3000 型)每 5 min 记录一次。室外气象资源由温室自带气象站的传感器在计算机控制下自动采集, 每 5 min 记录一次风速、风向、温度、湿度、辐照度等数据。试验时测试不同控制措施下的降温效果。

2 试验结果与分析

2.1 自然通风降温系统的总体降温效果

图 2 示出 2001 年 7 月 9 日试验温室室外和室内空气温度测试结果。这一天是濮阳市 2001 年夏季最热的一天, 室外最高气温达到 40。试验温室的天窗始终保持 100% 的开度, 室外屋顶喷淋系统从 7:30 开始根据室内温度情况进行喷淋降温, 每次喷淋时间 5 min, 遮阳网从 8:10 打开遮盖全部温室。从图 2 可以看出: 采取自然通风+ 遮阳网+ 屋顶喷淋的降温措施后, 温室内的空气温度始终低于室外, 平均温差 2.1, 最大温差 4.4, 降温效果明显。

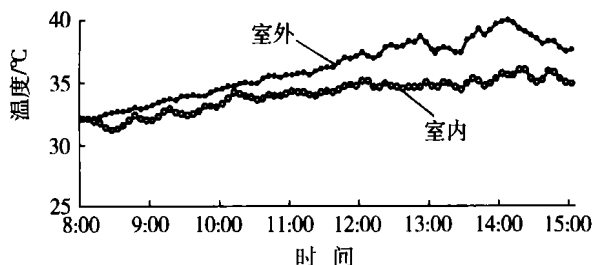


图 2 温室内外空气温度变化(2001-07-09)

试验温室内外湿度测试结果见图 3。可以看出: 采取自然通风+ 遮阳网+ 屋顶喷淋的降温措施后, 虽然受喷淋的影响温室内湿度有所波动, 但始终保持在一定范围之内, 没有显著增加。这一点对于红掌花卉的生长尤为重要, 过高的湿度不利于其生长。

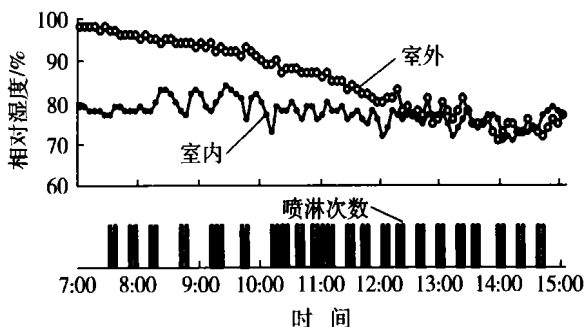


图 3 温室内外空气湿度变化(2001-07-09)

2.2 室外屋顶喷淋对温室温度的影响

与室内喷雾或喷淋等降温措施不同, 室外屋顶喷淋的蒸发降温过程是在温室外部进行的。试验期间针对室外屋顶喷淋对连栋温室室内温度的影响作用进行了测试(图 4), 测试期间天

窗保持 100% 的开度, 遮阳网打开。试验时有目的地控制屋顶喷淋的时间间隔和喷淋次数。从图 4 可以看出: 在启动屋顶喷淋系统之前, 温室内的空气温度随着室外温度的上升而上升。随着喷淋系统的启动, 室内空气温度以及遮阳网下的空气温度均有明显下降, 尤其以遮阳网下的空气温度下降的幅度最大。随着喷淋的停止, 各处的温度又开始上升, 一直到下一次喷淋的开始。试验中 4 次不同频度的喷淋都对室内温度产生了明显的影响。

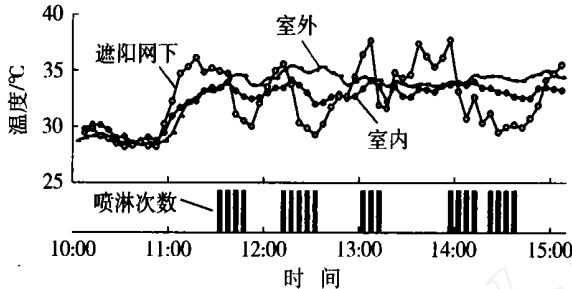


图 4 温室内外空气温度分布 (2001-07-25)

另外, 在每次喷淋启动前和喷淋停止后的一段时间, 遮阳网下的空气温度逐渐高于温室内的空气温度, 而在喷淋开始后, 遮阳网下的空气温度下降很快, 明显低于温室内的空气温度。其原因在于喷淋系统启动之前, 由于遮阳网的遮蔽作用, 遮阳网下的空气温度上升很快, 逐渐高于温室内的空气温度; 在喷淋系统启动后, 首先使遮阳网下的空气温度因水分蒸发而降低, 随后通过与室内空气的对流交换, 最终使温室内的空气温度降低。

2.3 温室内温湿度的分布

温室内温度和湿度分布的均匀性对温室内作物的生长影响很大。图 5 示出 2001 年 7 月 25 日中午用通风干湿表测试的试验温室采用自然通风+ 遮阳网+ 屋顶喷淋的降温措施后, 温室南北方向的空气温湿度分布。考虑温室的结构特点和测试期间太阳辐射的影响, 测点 I、II、III、IV 沿南北方向均匀布置, 测点距地面高度 1.25 m, 接近植物的冠层高度。从图 5 可以看出, 在试验过程中, 整个温室南北方向温度和湿度的差异不大, 没有明显的梯度分布, 表明连栋温室采用自然通风降温系统后, 温室内的温湿度分布较为均匀。

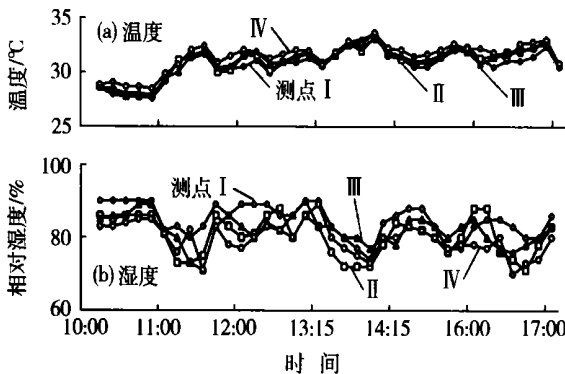


图 5 温室内南北方向空气温度和湿度的分布 (2001-07-25)

3 结论

连栋温室夏季采用自然通风+ 遮阳网+ 屋顶喷淋的降温措施, 能够有效地将温室内温度控制在作物生长所适宜的范围。在这一降温措施中, 室外屋顶喷淋的作用明显, 与其他室内蒸

发降温措施相比,室外屋顶喷淋没有显著增加温室内的湿度。采用自然通风+遮阳网+屋顶喷淋的降温措施,温室内的温度和湿度分布较为均匀。由于没有采用风机等设备,温室运行过程中的能耗大大降低。综上所述,这种自然通风降温系统能够达到温室降温 and 降低温室夏季生产成本的目的,具有一定推广利用价值。

参 考 文 献

- 1 Bailey B J. Constraints, limitations and achievements in greenhouse natural ventilation. *Acta Horticulture*, 1999, 534: 21~ 30
- 2 马承伟,黄之栋,李保明,等. 农业建筑蒸发降温技术研究与应用现状及展望. *农业工程学报*, 1995, 11(3): 95~ 100
- 3 周长吉,程勤阳,周新群,等. 荷兰Venlo型温室在北京地区的适应性分析. *北京农业科学*, 1999, S1: 8~ 13
- 4 Dayan E, Fuchs M, Plaut Z, et al. Cooling of Rose in Greenhouses. *Acta Horticulture*, 1999, 534: 351~ 360
- 5 Arbel A, Yekutieli O, Barak M. Performance of a Fog System for Cooling Greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1998, 72: 129~ 136
- 6 Willits D H. Constraints and limitations in greenhouse cooling: challenges for the next decade. *Acta Horticulture*, 1999, 534: 57~ 66