

网络出版时间:2012-07-18 11:25

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120718.1125.034.html>

亚热带地区夏季温室温度调节措施效果比较

刘妍华^{1,2}, 孟庆林², 张东霞¹, 郭嘉明¹, 曾志雄¹

(1 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642; 2 华南理工大学 建筑学院, 广东 广州 510641)

[摘要] **【目的】**建立亚热带温室热环境调节试验平台,以解决亚热带地区夏季温室内高温不利于作物生长的问题。**【方法】**研究开窗、外搭遮阳网、屋顶喷淋、开启湿帘风机和室内喷雾等 5 种单项调节措施及外搭遮阳网分别与开窗、开启湿帘风机和屋顶喷淋相结合 3 种组合措施对温室温度的影响,探讨亚热带地区夏季温室不同降温措施的温度调节特性。**【结果】**采取 8 种降温措施后,温室内外温差由小到大依次为:外搭遮阳网与开启湿帘风机组合、开启湿帘风机、外搭遮阳网与开窗组合、外搭遮阳网与屋顶喷淋组合、室内喷雾、开窗、屋顶喷淋、外搭遮阳网。其中,采用外搭遮阳网与开启湿帘风机组合及单独湿帘风机 2 种调节措施,温室内温度可低于室外温度;采取室内喷雾措施降温速度最快;采取屋顶喷淋和外搭遮阳网 2 种措施降温效果较差,但可降低薄膜内壁温度。**【结论】**根据各降温措施的降温特点及效果,亚热带地区夏季温室应依据实际生产情况灵活选择适宜的降温方式。

[关键词] 温室;热环境;亚热带地区;降温措施

[中图分类号] S625.5⁺1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2012)08-0144-07

Comparison of the effects of temperature regulating measurements for summer greenhouse in subtropics area

LIU Yan-hua^{1,2}, MENG Qing-lin², ZHANG Dong-xia¹,

GUO Jia-ming¹, ZENG Zhi-xiong¹

(1 College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China;

2 School of Architecture, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510641, China)

Abstract: **【Objective】**In order to lower the high temperature of greenhouse in subtropical area in summer, a greenhouse thermal environment experimental platform was built. **【Method】**The influence of different temperature regulating measurements such as pad-and-fan, windows opening, shading, roof sprinkling and other combination methods for indoor temperature of greenhouse was researched. And the characteristics of thermal environment regulation for greenhouse were discussed. **【Result】**The result indicated that sequence from the highest to the lowest of indoor and outdoor temperature difference of these 8 cooling methods is pad-and-fan combined with shading, pad-and-fan, shading combined with windows opening, roof shading combined with roof sprinkling, indoor spray, windows opening, roof sprinkling, and roof shading. Two methods such as pad-and-fan combined with shading, pad-and-fan are the most effective cooling methods. They can cool the air under outdoor temperature during experiment. Meanwhile the cooling speed of indoor spray is the fastest. And other two methods, roof shading and roof sprinkling, had little cooling effect, but they can lower the temperature of film. **【Conclusion】**According to the characteristics and effects

* [收稿日期] 2012-04-20

[基金项目] 国家自然科学基金项目(51108194)

[作者简介] 刘妍华(1979—),女,广东梅县人,在读博士,主要从事温室热环境研究。E-mail:cyntialyh@126.com

[通信作者] 孟庆林(1963—),男,吉林海龙人,教授,博士生导师,主要从事亚热带地区建筑节能研究。

E-mail:arqlmeng@scut.edu.cn

of cooling measurements, appropriate cooling measurements should be chosen flexibly by actual production for subtropical area summer greenhouse.

Key words: greenhouse; thermal environment; subtropics area; cooling method

亚热带地区夏季温室内温度较高,对植物生长不利,易导致多种植物病害发生,甚至失收。未采取降温措施的温室夏季多处于“闲置”状态,而采取不合理降温措施易导致温室运行能耗较高,生产成本增加^[1-4]。文献[5-8]针对温带地区温室保温幕的节能性进行了研究,文献[9-13]对温室自然通风系统进行了设计和分析,文献[14-15]对温室加热条件下的热环境进行了数值模拟和分析,文献[16-20]利用数值模拟对夏季温室在机械通风和自然通风条件下的温度场进行了研究,文献[21]建立了温室能耗预测模型,文献[22]对南京地区玻璃温室夏季的降温效果进行了分析。已有研究大多针对的是寒带和温带地区的温室,而针对亚热带地区夏季温室热环境的研究较少。亚热带地区夏季气候与热带相似,外界温度较高,温室内温度更是接近 50℃,降温难度大且能耗较高,因此很有必要开展亚热带夏季温室降温节能控制措施研究。

为掌握亚热带地区夏季温室热环境的调节特性,本研究以广州地区为例,建立了温室热环境调节试验平台,研究开窗、外搭遮阳网、屋顶喷淋、开启湿帘风机和室内喷雾 5 种单项降温措施及外搭遮阳网分别与开窗、开启湿帘风机和屋顶喷淋相结合 3 种

组合措施对温室温度的影响,分析了不同降温措施的温度调节特性,以期为亚热带地区夏季温室降温节能控制提供参考。

1 试验装置与测试方法

1.1 试验装置

搭建了亚热带温室夏季热环境调节试验平台,如图 1 所示。试验平台位于广州华南农业大学校内,采用单栋温室,东西走向,表面覆盖透明塑料薄膜,温室尺寸为 17.1 m×7.4 m(长×宽),总面积 126.5 m²。温室顶部铺设遮阳网(为黑色外用幕布),遮光率为 50%。温室设顶窗 2 扇和侧窗 3 扇(南侧 1 扇,北侧 2 扇),采用齿轮驱动,开窗面积 109 m²。温室东西两侧分别安装湿帘和风机。湿帘型号 7090-SL,特种纸制蜂窝结构,高 1.5 m,长 7 m,铝合金框架。风机 1 台,型号为 TUHE-1,铝合金扇叶,风机尺寸为 1 380 mm×1 380 mm×400 mm(宽×高×厚),风机空气流量 44 500 m³/h。屋顶喷淋采用滴灌管滴水,布置在温室顶部(顶窗与外遮阳网之间)。室内喷雾采用喷雾头,在温室内均匀布置 4 排(共 80 个),屋顶喷淋和室内喷雾用水采用加压泵加压。

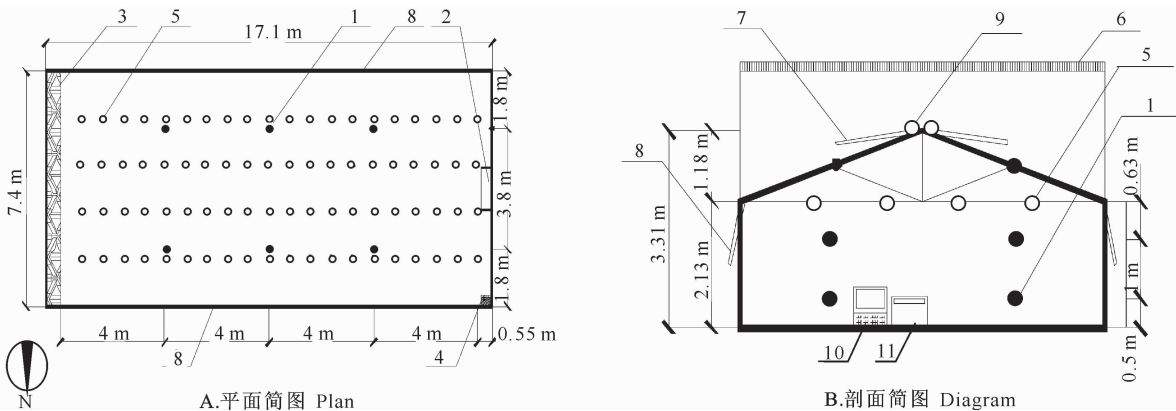


图 1 亚热带地区夏季温室热环境调节试验平台

1. 观测点;2. 风机;3. 湿帘;4. 加压泵;5. 喷雾头;6. 外遮阳网;7. 顶窗;8. 侧窗;9. 滴灌管;10. 计算机;11. 无纸记录仪

Fig. 1 Plane of sub-tropical area greenhouse platform

1. Observation points;2. Fan;3. Pad;4. Pump;5. Fog-spray nozzle;6. Shading;

7. Roof windows;8. Windows;9. Drip irrigation pipe;10. Computer;11. Paperless recorder

1.2 温度测定方法

为方便观察温室热环境变化,分别在距地面 0.5 和 1.5 m 高处各均匀布置 6 路 Pt100 温度传感器

(范围: -500~200℃,精度: ±0.15℃),用以采集温室室内温度;在温室室外阴凉通风处布置 2 路 Pt100 温度传感器,用以采集温室室外气温;在温室

顶部薄膜内壁布置 2 路 Pt100 温度传感器,用以采集温室薄膜内壁温度。各传感器通过无纸记录仪与计算机连接,自动记录温度传感器的数值变化。

温室内种植黄金叶和满天星等绿化植物,试验于 2011-07-25—2011-08-29 进行,为了减小不同日期天气差异对试验结果的影响,测试时选择天气晴朗且室外最高气温超过 35 ℃ 的日期进行,每项试验重复 3 次(每天 1 次),取 3 天同时刻数据平均值进行数据分析。为便于分析试验结果,分别将温室内 0.5 和 1.5 m 高处 6 路温度传感器的采样平均值记为 0.5 m 处气温和 1.5 m 处气温,将 0.5 m 处气温和 1.5 m 处气温的平均值记为温室室内温度,将置于温室室外的 2 路温度传感器的采样平均值记为室外温度,将温室顶部薄膜内壁 2 路温度传感器的采样平均值记为薄膜内壁温度。

1.3 试验设计

为探讨亚热带地区夏季温室不同降温措施的温度调节特性,试验设置了温室开窗、外搭遮阳网、屋顶喷淋、开启湿帘风机和室内喷雾等 5 种单项温度调节措施及外搭遮阳网分别与开窗、开启湿帘风机和屋顶喷淋相结合 3 种组合温度调节措施,并以温室密闭且无降温措施为对照。

1.3.1 温室密闭且无降温措施 在每天 09:30—17:30 测量温度,每 30 min 记录 1 次数据。

1.3.2 开 窗 开启温室顶窗和侧窗,可利用热压和风压形成通风带走温室内的热量。每天上午 06:00 开窗,顶窗和侧窗开启角度为 30°,在 09:30—17:30 测量温度,每 30 min 记录 1 次数据。

1.3.3 外搭遮阳网 外搭遮阳网可吸收太阳辐射热,使得热量停留在遮阳网上,从而减少直射和散射到屋顶上的太阳辐射热,使屋顶向室内传递的热量相应减少。试验时温室密闭,仅外搭遮阳网,每天 09:30—17:30 测量温度,每 30 min 记录 1 次数据。

1.3.4 屋顶喷淋 屋顶喷淋即向温室屋顶均匀淋水,水分蒸发会带走部分热量,从而使屋顶保持较低的温度。屋顶喷淋试验于每天 09:30—17:30 进行,09:30 打开喷淋设备,每 30 min 记录 1 次数据。

1.3.5 开启湿帘风机 湿帘风机系统是通过强制通风来加速湿帘水雾化吸热,从而达到带走空气中热量而降温的目的。试验前温室无降温措施,当室外温度升至 35 ℃ 时,开启湿帘风机,开启时间为 30 min,每 1 min 记录 1 次温度数据,观测各测点气温的变化。

1.3.6 室内喷雾 室内喷雾是将水加压以雾状形

式自喷头喷出,利用水雾化吸热的原理降温^[10]。试验前温室无降温措施,当室外温度升至 35 ℃ 时,开启室内喷雾 60 s,每 4 s 记录 1 次数据,观测开启湿帘风机后 120 s 内各测点气温的变化。

1.3.7 外搭遮阳网与开窗组合 在每天 09:30—17:30 测试开窗与外搭遮阳网组合措施对温室内气温的影响效果,每 30 min 记录 1 次数据。

1.3.8 外搭遮阳网与开启湿帘风机组合 每天测试前先遮闭遮阳网,当室外温度升至 35 ℃ 时,再开启湿帘风机 30 min,每 1 min 记录 1 次数据,观测开启湿帘风机后 20 min 内各测点气温的变化。

1.3.9 外搭遮阳网与屋顶喷淋组合 每天 09:30 遮闭遮阳网并开启屋顶喷淋,在 09:30—17:30 测量温度,每 30 min 记录 1 次数据。

2 结果与分析

2.1 不同降温措施对亚热带地区夏季温室热环境的影响

2.1.1 温室密闭且无降温措施 从图 2 可以看出,温室密闭且不采取任何降温措施时,薄膜内壁温度、室外气温、室内 0.5 m 和 1.5 m 高度处气温均随日间太阳热辐射量的增加而增加。薄膜内壁温度、室内 1.5 m 和 0.5 m 处气温及室外气温的最高值依次为 55.1、50.1、47 和 38.1 ℃。与室外温差由大及小的测点依次为屋顶薄膜内壁(17 ℃)、室内 1.5 m 高度处(12 ℃)和室内 0.5 m 高度处(8.9 ℃)。由此可见,在温室密闭且无降温措施的情况下,温室内温度很高,不适宜作物生长^[22]。

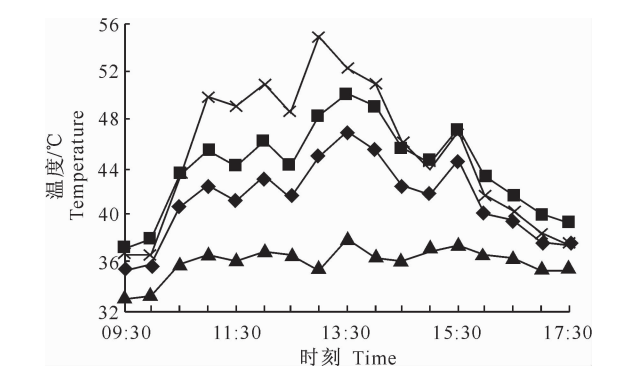


图 2 温室密闭对亚热带地区夏季温室热环境的影响
—◆—0.5 m 处气温; —■—1.5 m 处气温;
—▲—室外气温; —×—薄膜内壁温度。下同
Fig. 2 Influence of airtight condition on thermal environment of subtropical area summer greenhouse
—◆—Temperature of 0.5 m; —■—Temperature of 0.5 m;
—▲—Outdoor temperature; —×—Inner layer temperature of film.
The below is same

2.1.2 开 窗 从图 3 可以看出,采取开窗措施时,各测点气温由高及低依次为薄膜内壁温度、1.5 m 处气温、0.5 m 处气温和室外气温,其对应的最高值依次为 52.1、42.7、42.2 和 37.8 ℃。薄膜内壁温度、1.5 m 处气温、0.5 m 处气温与室外气温的最大温差依次为 14.3、4.9 和 4.4 ℃。

结合图 2 和图 3 可以看出,采取开窗降温措施,温室内外最大温差较无降温措施时平均小 5.8 ℃;开窗对温室 0.5 m 和 1.5 m 处气温降幅影响较大,

且缩小了温室 0.5 m 和 1.5 m 处的室内外温差,但对薄膜内壁降温幅度影响较小。

2.1.3 外搭遮阳网 从图 4 可以看出,温室密闭仅外搭遮阳网后,在 09:30—17:30,各测点最高温度由高及低依次为薄膜内壁温度、1.5 m 处气温、0.5 m 处气温和室外气温,其达到的最高值依次为 46.5、44.7、42.4 和 37.7 ℃。薄膜内壁温度、1.5 m 处气温、0.5 m 处气温与室外气温的最大温差依次为 8.8、7 和 4.7 ℃。

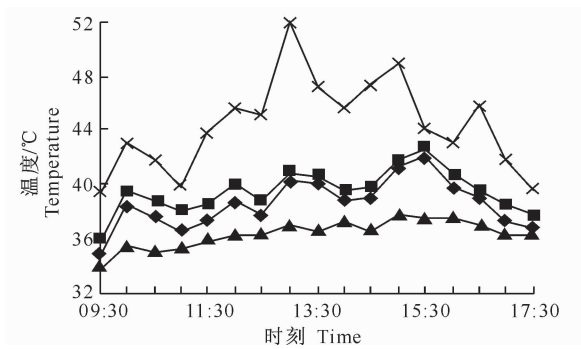


图 3 开窗对亚热带地区夏季温室热环境的影响
Fig. 3 Influence of windows opening on thermal environment of subtropical area summer greenhouse

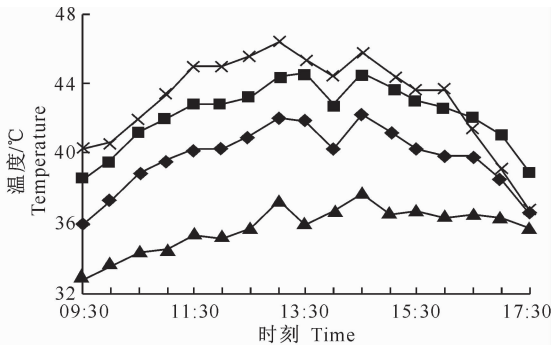


图 4 外搭遮阳网对亚热带地区夏季温室热环境的影响

Fig. 4 Influence of shading on thermal environment of subtropical area summer greenhouse

结合图 2 和图 4 可以看出,外搭遮阳网与无降温措施相比,温室内外最大温差平均减小了 4.6 ℃,薄膜内壁温度、1.5 m 处气温和 0.5 m 处气温的最高值分别降低了 8.6、5.4 和 4.6 ℃,且缩小了薄膜内壁温度、1.5 m 处气温和 0.5 m 处气温间的差距。

2.1.4 屋顶喷淋 从图 5 可以看出,采取屋顶喷淋措施后,屋顶薄膜内壁温度有明显降低,半小时即降

低 7.5 ℃,且一直保持在 34 ℃以下。各测点温度在 14:30 左右达到最高值,自高至低依次为 1.5 m 处气温、0.5 m 处气温、室外气温和薄膜内壁温度,其最高值依次为 42、41、36.4 和 33.7 ℃。1.5 m 处气温、0.5 m 处气温、薄膜内壁温度与室外气温的最大温差依次为 5.6、4.6 和 -2.7 ℃。

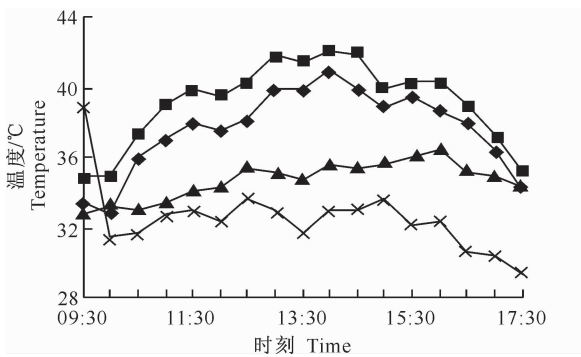


图 5 屋顶喷淋对亚热带地区夏季温室热环境的影响

Fig. 5 Influence of roof sprinkling on thermal environment of subtropical area summer greenhouse

结合图 2 和图 5 可以看出,开启屋顶喷淋后,温室内外最大温差较无降温措施时小 5.4 ℃,薄膜内

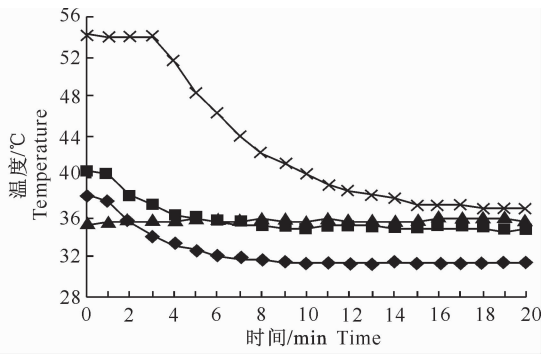


图 6 开启湿帘风机对亚热带地区夏季温室热环境的影响

Fig. 6 Influence of pad-and-fan on thermal environment of subtropical area summer greenhouse

壁温度、1.5 m 处气温和 0.5 m 处气温的最高值分别降低了 21.4、8.1 和 6 ℃,缩小了 1.5 m 处与 0.5

m 处的温差,使薄膜内壁温度低于室外气温。

2.1.5 开启湿帘风机 从图 6 可以看出,开启湿帘风机后,薄膜内壁温度、0.5 m 处气温和 1.5 m 处气温均呈下降趋势,且前 6 min 下降速度最快,最大降温幅度依次为 17.6,6.9 和 6.1 ℃,与室外气温的最小温差依次为 0.9,−4.7 和 −1.2 ℃,其中 0.5 m 和 1.5 m 处气温已低于室外气温,薄膜内壁温度降温最为明显。

结合图 2 和图 6 可以看出,开启湿帘风机后,温室内外最小温差较无降温措施时室内外最大温差小 13.5 ℃。

2.1.6 室内喷雾 从图 7 可以看出,开启室内喷雾后,薄膜内壁温度、0.5 m 处气温和 1.5 m 处气温均

呈下降趋势,且前 80 s 温度下降速度最快,降温幅度依次为 1.4,3.1 和 3.2 ℃,与室外气温的最小温差依次为 9.8,1.6 和 3.4 ℃。

结合图 2、图 6 和图 7 可以看出,开启室内喷雾,温室内外最小温差较无降温措施时小 8 ℃;与开启湿帘风机相比,室内喷雾对薄膜内壁温度影响较小,各测点降温幅度较小,但降温速度较快。

2.1.7 外搭遮阳网与开窗组合 从图 8 可以看出,采取开窗与外搭遮阳网组合措施后,各测点温度自高至低依次为薄膜内壁、1.5 m 处、0.5 m 处和室外,其最高值分别为 39,37,36 和 35.2 ℃,薄膜内壁温度、1.5 m 处气温、0.5 m 处气温与室外气温的最大温差分别为 3.8,1.8 和 0.8 ℃。

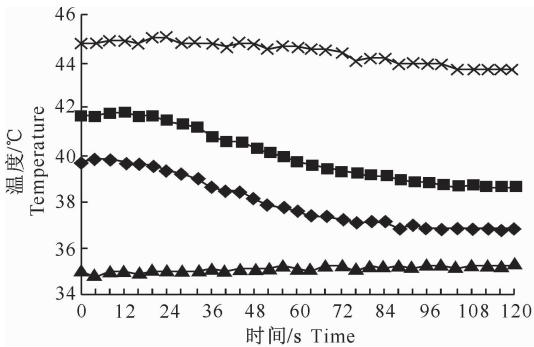


图 7 室内喷雾对亚热带地区夏季温室热环境的影响
Fig. 7 Influence of indoor spray on thermal environment of subtropical area summer greenhouse

结合图 2、图 3、图 4 和图 8 可知,采取开窗与外搭遮阳网组合措施后,温室内外最大温差较无降温措施时小 9.2 ℃,较单独开窗时小 3.4 ℃,较单独外搭遮阳网时小 4.6 ℃,表明开窗与外搭遮阳网组合措施降温效果优于单独开窗或单独外搭遮阳网。

2.1.8 外搭遮阳网与开启湿帘风机组合 从图 9

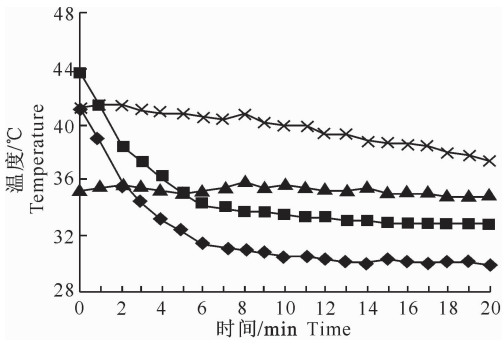


图 9 外搭遮阳网与开启湿帘风机组合对亚热带地区夏季温室热环境的影响
Fig. 9 Influence of shading and pad-and-fan on thermal environment of subtropical area summer greenhouse

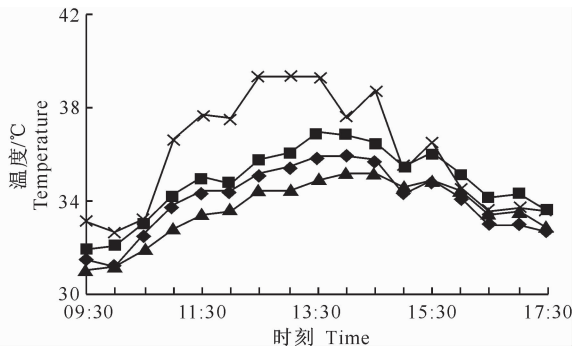


图 8 外搭遮阳网与开窗组合对亚热带地区夏季温室热环境的影响
Fig. 8 Influence of shading and windows opening on thermal environment of subtropical area summer greenhouse

可以看出,采取外搭遮阳网与开启湿帘风机组合的降温措施后,温室 0.5 m 和 1.5 m 处降温较快,降温幅度分别为 11.1 和 10.7 ℃;薄膜内壁温度变化较缓,降温幅度为 4.1 ℃。薄膜内壁温度、0.5 m 处气温和 1.5 m 处气温与室外气温的最小温差依次为 3,−5.1 和 −2.4 ℃。

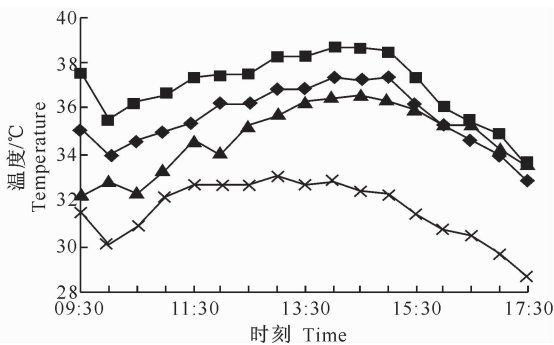


图 10 外搭遮阳网与屋顶喷淋组合对亚热带地区夏季温室热环境的影响
Fig. 10 Influence of shading and roof sprinkling on thermal environment of subtropical area summer greenhouse

结合图 2、图 4、图 6 和图 9 可以看出,采用外搭遮阳网与开启湿帘风机组合的降温方式,温室内外最大温差较无降温措施时小 14.3℃,较单独采用外搭遮阳网时小 9.7℃,较单独开启湿帘风机时小 0.8℃,可见,外搭遮阳网与开启湿帘风机组合的降温效果优于单独采用外搭遮阳网或单独开启湿帘风机。

2.1.9 外搭遮阳网与屋顶喷淋组合 从图 10 可以看出,采取外搭遮阳网与屋顶喷淋组合的降温措施后,温室各测点气温由高及低依次为 1.5 m 处气温、0.5 m 处气温、室外气温和薄膜内壁温度,对应的温度最高值依次为 38.7、37.4、36.6 和 33℃。薄膜内壁温度、1.5 m 处气温、0.5 m 处气温与室外气温的最大温差依次为-3.6、2.1 和 0.8℃。

结合图 4、图 5 和图 10 可以看出,采用外搭遮阳网与屋顶喷淋组合的降温措施,温室室内与室外最大温差较单独采用外搭遮阳网时低 4.4℃,较单独开启屋顶喷淋时小 3.6℃,可见,外搭遮阳网与屋顶喷淋组合的降温效果优于单独采用外搭遮阳网或单独开启屋顶喷淋。

2.2 各种降温措施降温效果的比较

5 种单项降温措施和 3 项组合降温措施的降温效果比较见表 1。

表 1 各种降温措施对亚热带地区夏季温室降温效果的比较

Table 1 Comparison of effects of cooling measures for subtropical area summer greenhouse

降温措施 Cooling measurements	室内与室外温差/℃ Temperature difference between indoor and outdoor air
无降温措施 No cooling measurement	10.5
开窗 Windows opening	4.7
外搭遮阳网 Shading	5.9
屋顶喷淋 Roof sprinkling	5.1
开启湿帘风机 Dad-and-fan	-3.0
室内喷雾 indoor spray	2.5
外搭遮阳网与开窗组合 Shading and windows opening	1.3
外搭遮阳网与开启湿帘风机组合 Shading and pad-and-fan	-3.8
外搭遮阳网与屋顶喷淋组合 Shading and roof sprinkling	1.5

从表 1 可以看出,分别采取 8 种降温措施后,温室内外最大温差由小及大依次为:外搭遮阳网与开启湿帘风机组合、开启湿帘风机、外搭遮阳网与开窗组合、外搭遮阳网与屋顶喷淋组合、室内喷雾、开窗、屋顶喷淋、外搭遮阳网。

3 结 论

以广州地区为例搭建了亚热带地区温室热环境

调节试验平台,通过开展开窗、外搭遮阳网、屋顶喷淋、湿帘风机和室内喷雾等 5 种单项调节措施及外搭遮阳网分别与开窗、湿帘风机和屋顶喷淋相结合 3 种组合措施对温室温度影响的试验,研究了亚热带地区夏季温室不同降温措施的温度调节特性。

1) 温室密闭且无降温措施时,温室内温度平均达 48.6℃;分别采取开窗、外搭遮阳网、屋顶喷淋、外搭遮阳网与开窗组合、外搭遮阳网与屋顶喷淋组合等降温措施后,温室内外最大温差较无降温措施时依次低 5.8、4.6、5.4、9.2 和 9℃;分别采取开启湿帘风机、室内喷雾、外搭遮阳网与开启湿帘风机组合等措施后,温室内外最小温差较无降温措施时室内外最大温差低 13.5、8 和 14.3℃。

2) 温室温度调节措施按降温效果由优到差依次为:外搭遮阳网与开启湿帘风机组合、开启湿帘风机、外搭遮阳网与开窗组合、外搭遮阳网与屋顶喷淋组合、室内喷雾、开窗、屋顶喷淋、外搭遮阳网。

3) 温室内 1.5 m 高度处气温较 0.5 m 处高。
值得讨论的是,温室外风速与风向等不可控因素对夏季温室温度测试结果的影响还需进一步验证;此外,亚热带夏季温室节能控制还要综合考虑作物光照时间、能耗与作物品种等因素,本课题组正在对此进行深入研究。

[参考文献]

[1] 周长吉.我国目前使用的主要温室类型及性能[J].设施园艺,2000(1):8-9.
Zhou C J. Main types and performance of greenhouse in China [J]. Horticultural Facilities,2000(1):8-9. (in Chinese)
[2] 程宁生.节能日光温室的建设[J].当代农机,2009(10):64-65.
Cheng N S. Construction of energy-saving solar plastic green-houses [J]. Contemporary Agricultural Machinery,2009(10):64-65. (in Chinese)
[3] 陈端生.中国节能型日光温室建筑与环境研究进展[J].农业工程学报,1994,10(1):123-129.
Chen D S. Advance of the research on the architecture and en-vironment of the chinese energy-saving sunlight greenhouse [J]. Transactions of CSAE,1994,10(1):123-129. (in Chinese)
[4] 冯广和.温室的节能问题[J].温室园艺,2004(5):23-25.
Feng G H. Energy-saving problems of greenhouse [J]. Green-house Horticulture,2004(5):23-25. (in Chinese)
[5] 覃密道,马承伟,刘瑞春.热箱法测定园艺设施覆盖材料传热系数的研究进展[J].农业工程学报,2005,21(2):183-186.
Qin M D, Ma C W, Liu R C, et al. Review of the hot-box meth-ods for measuring the thermal transmittance of greenhouse covering materials [J]. Transactions of CSAE, 2005, 21 (2): 183-186. (in Chinese)
[6] 李海明,崔庆法.连栋温室简易内保温幕保温节能研究[J].中

- 国生态农业学报, 2005, 13(2): 173-175.
- Li H M, Cui Q F. Study on the temperature and energy-saving in multi-span greenhouse with simple inside thermal screen [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2005, 13(2): 173-175. (in Chinese)
- [7] 凌 坚, 马承伟, 林 聪, 等. 温室缀铝膜保温幕节能性能的实验研究初报 [J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 89-92.
- Lin J, Ma C W, Lin C, et al. Preliminary experimental research on effect of aluminized thermal screens in greenhouse [J]. Transactions of CSAE, 2002, 18(1): 89-92. (in Chinese)
- [8] 蔡龙俊, 杨 琳. 连栋室内保温幕节能效果的研究分析 [J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 98-102.
- Cai L J, Yang L. Effects of inside thermal screen of multi-span greenhouse on energy conservation [J]. Transactions of CSAE, 2002, 18(6): 98-102. (in Chinese)
- [9] 蔡龙俊, 鲁雅江, 蔡志红. 农业温室通风系统的设计与研究 [J]. 节能技术, 2000, 18(6): 19-20, 23.
- Cai L J, Lu Y J, Cai Z H, et al. Research and designing on ventilation of agricultural greenhouses [J]. Building Energy & Environment, 2000, 18(6): 19-20, 23. (in Chinese)
- [10] 杨春健. 南方温室通风降温措施的探讨 [J]. 广西农业科学, 2002(5): 280-282.
- Yang C J. Discussion of ventilation and cooling measurements in southern greenhouse [J]. Guangxi Agricultural Science, 2002(5): 280-282. (in Chinese)
- [11] 闫恩诚, 谢小妍, 刘 鹏, 等. 亚热带地区塑料温室自然通风的研究 [J]. 惠州学院学报, 2002, 2(6): 17-22.
- Yan E C, Xie X Y, Liu P, et al. Study of natural ventilation of plastic greenhouse in subtropics [J]. Journal of Huizhou University, 2002, 2(6): 17-22. (in Chinese)
- [12] 闫恩诚, 谢小妍, 刘 鹏, 等. 塑料温室通风降温的试验研究 [J]. 农机化研究, 2003(3): 115-117.
- Yan E C, Xie X Y, Liu P, et al. The experimental analysis on measurement for lowering the temperature in plastic greenhouse [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2003(3): 115-117. (in Chinese)
- [13] 沈明卫, 郝飞麟. 自然通风下栽培番茄的单栋温室内气流场稳态模拟 [J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 101-105.
- Shen M W, Hao F L. Steady state numerical simulation of airflow pattern in natural ventilated tunnel greenhouse [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(5): 101-105. (in Chinese)
- [14] 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 J L, Xu F, Zhang L B, et al. CFD-based simulation of the temperature distribution in glass greenhouse with forced-air heater [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 114-118. (in Chinese)
- [15] 吴飞青, 胥 芳, 张立彬, 等. 基于多孔介质的玻璃温室加热环境数值模拟 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(2): 180-185.
- Wu F Q, Xu F, Zhang L B, et al. Numerical simulation on thermal environment of heated glass greenhouse based on porous medium [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 180-185. (in Chinese)
- [16] 李永欣, 李保明, 李 真, 等. Venlo 型温室夏季自然通风降温的 CFD 数值模拟 [J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(6): 44-48.
- Li Y X, Li B M, Li Z, et al. CFD simulation of a naturally ventilating cooling process for a Venlo greenhouse in summer [J]. Journal of China Agricultural University, 2004, 9(6): 44-48. (in Chinese)
- [17] 程秀花, 毛罕平, 伍德林, 等. 玻璃温室自然通风热环境时空分布数值模拟 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(6): 179-183.
- Cheng X H, Mao H P, Wu D L, et al. Numerical simulation of thermal profiles in spatial and temporal field for natural ventilated glasshouse [J]. Transactions of Chinese Society of Agricultural Machinery, 2009, 40(6): 179-183. (in Chinese)
- [18] 吴飞青, 张立彬, 胥 芳, 等. 机械通风条件下玻璃温室热环境数值模拟 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(1): 153-158.
- Wu F Q, Zhang L B, Xu F, et al. Numerical simulation of the thermal environment in a mechanically ventilated greenhouse [J]. Transactions of Chinese Society of Agricultural Machinery, 2010, 41(1): 153-158. (in Chinese)
- [19] 沈明卫, 郝飞麟. 连栋塑料温室自然通风流场的稳态模拟: 防虫网对温室内流场的影响 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2006, 40(11): 1852-1857.
- Shen M W, Hao F L. Static simulation of airflow distribution inside multi-span plastic greenhouse: Influence of insect-proof screens on airflow inside greenhouse [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2006, 40(11): 1852-1857. (in Chinese)
- [20] 童 莉, 张 政, 陈忠购, 等. 机械通风条件下连栋温室速度场和温度场的 CFD 数值模拟 [J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(6): 33-37.
- Tong L, Zhang Z, Chen Z G, et al. Simulation of mechanical ventilation for Huabei-type multispan plastic greenhouse [J]. Journal of China Agricultural University, 2003, 8(6): 33-37. (in Chinese)
- [21] 汪小岳, 丁为民, 罗卫红, 等. 南方现代化温室能耗预测模型的建立与分析 [J]. 南京农业大学学报, 2006, 29(1): 116-120.
- Wang X C, Ding W M, Luo W H, et al. An energy prediction model for modern greenhouse in the south of China [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2006, 29(1): 116-120. (in Chinese)
- [22] 李红莲, 邢文刚, 张 娟, 等. 不同降温措施对连栋玻璃室内温度的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(2): 241-244.
- Li H L, Xing W G, Zhang J, et al. Temperature influenced by different cooling measures in a multi-span greenhouse [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37(2): 241-244. (in Chinese)