

doi:10.11937/bfyy.20170112

华南地区两种不同结构类型温室温光特征的比较

李 苇^{1,2}, 李惠玲^{1,2}, 刘霓红^{1,2}

(1. 广东省现代农业装备研究所, 广东 广州 510630; 2. 广东弘科农业机械研究开发有限公司, 广东 广州 510630)

摘 要:以华南地区主要类型温室全开启温室和薄膜温室为研究对象,采用温室环境传感器检测方法,研究并分析了2种温室温度和光照环境特征。结果表明:无论晴天还是阴天,全开启温室内的温度稳定性均优于薄膜温室,但是冬季室外最高温度为28.3℃时,2种温室内最高温度均超过35℃,超过作物的生理需求要开启通风设备;2种温室内光环境研究结果表明,薄膜温室的采光性能和光照分布均匀性均优于全开启温室,阴天全开启温室采光率仅为21.9%;温室遮阳性能研究表明,设置遮阳系统对温室内光照调节性能影响显著。

关键词:华南地区;屋顶全开启温室;薄膜温室;光环境;温度

中图分类号:S 626.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)18-0078-07

温室设施是现代农业生产的重要方式,温度、光照是影响温室产量的重要因素^[1-3]。近年来,随着温室行业的发展,温室内环境检测技术也取得了重大进展,其中,传感器技术和计算处理技术为温室环境参数检测提供了解决途径。玻璃、PC

板、塑料是温室园艺设施主要覆盖材料,但是各类温室的具体结构依地理自然气候及生产投资规模而异^[4-5]。肖波等^[3]针对当地玻璃和塑料温室环境特征的研究表明,采用玻璃覆盖材料可以改善温室采光性能,但是由于玻璃温室构造较复杂,室内光照均匀性较差。由于不同结构温室因内部构造不同,造成阴影面积不同,温度和光照特征会存在明显差异。宋卫堂等^[6]对当地三连栋不对称温室和对称温室内的环境进行比较研究时发现,通过优化设计温室屋面角可以较大程度的减少温室内阴影面积。但是在华南地区,针对高温、强辐射气候条件下的温室环境研究相对较少。因此,研究和分析华南地区主要类型温室的温度和光照环境特征,将有利于推动华南地区设施农业的进一步发展。该研究对华南地区屋顶全开启和薄膜温室的温光特征进行比较研究,以期改进当地温

第一作者简介:李苇(1989-),女,安徽安庆人,硕士,助理工程师,现主要从事设施农业装备技术等研究工作。
E-mail:1214107350@qq.com.

基金项目:广东省科技计划资助项目(2015B070701007);“十二五”农村领域国家科技计划课题资助项目(2014BAD08B03-5);2013年省级现代农业产业发展建设专项资金资助项目(粤财农[2014]367号);省级现代农业装备产业技术研发中心资助项目(粤农计[2015]118文);广东弘科农业机械研究开发有限公司企业自主立项资助项目(ZH201602,ZH201603,ZH201604)。

收稿日期:2017-05-10

activities with 24 : 1 treatment significantly increased, sugar content and the berry quality also significantly increased. Invertase and ATPase activities with 8 : 1 treatment significantly decreased, soluble sugar content in berry also significantly decreased. During the berry harvest time, the berry quality was lower than CK. So, suitable leaf-berry ratio during early stage of version could improve berry quality though regulated sugar accumulation related enzymes activities.

Keywords: leaf-berry ratio; grapevine; invertase; berry quality

室结构提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 屋顶全开启温室

屋顶全开启温室采用连栋小尖顶结构,主体结构采用热镀锌材料。温室天窗装置以水槽为固定轴旋转,采用电动扭矩分配开窗机构,最大开启角度达到 70° ,温室四周装设高约 1.5 m 电动连

片外翻天窗,最大开启角度达到 60° ,自然通风效果显著。温室室外设立外遮阳系统,采用遮光率为 70% 的黑色针织网,室内装设内遮阳系统,采用遮光率为 60% 的铝箔隔热膜,用于调节温室内光照强度,与通风窗相结合,可以提高温室自然降温效果。温室屋面天窗和侧窗覆盖 6 mm 厚 PC 中空板,其余覆盖 5 mm 厚透明浮法玻璃,通风口均安装防虫网。温室内配置风机湿帘降温装置和喷灌系统(图 1)。

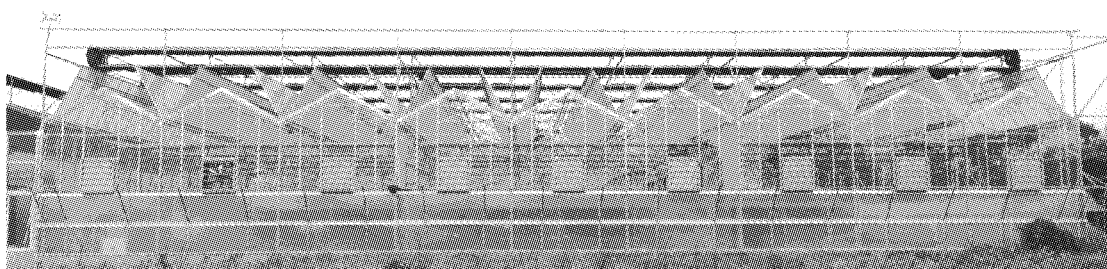


图 1 屋顶全开启试验温室

Fig. 1 Open-roof experimental greenhouse

1.1.2 薄膜温室

薄膜温室采用双弧面拱形连栋结构,主体结构采用热镀锌材料。温室顶部装设电动连片式外翻天窗,每组窗宽 3.5 m,四周设立 2.5 m 高的手动卷膜侧窗,通风口处均安装防虫网,温室侧墙配置蓝色防风网。温室室外安装外遮阳系统,采用一层遮光率为 70% 的黑色针织网覆盖,室内装设遮光率为 60% 铝箔隔热膜的内遮阳系统,并采用钢丝绳拉幕机构驱动。室内配置风机湿帘降温装置和喷灌系统(图 2)。

1.1.3 供试仪器

室内环境数据采集器(Auto-100,温度范围为

$0\sim 50^{\circ}\text{C}$,以水银温度计经常性校正温度传感器);温室气象站环境数据采集器(Auto-wea),均由北京奥托智诚科技发展有限公司生产。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

试验于 2016 年 12 月在广州市白云区试验温室内进行,试验期间温室内未种植任何作物。供试温室基本参数见表 1。试验选取 2016 年 12 月 22 日和 28 日晴天,和 2016 年 12 月 20 日阴天 2 种天气进行环境监测试验。



图 2 薄膜试验温室

Fig. 2 Plastic experimental greenhouse

表 1

2 种不同类型的试验温室结构

Table 1

Two different types of test greenhouse structures

| 项目 Item | 跨度 Span/m | 跨数 Number of span | 开间 Width/m | 开间数 Number of width | 肩高 Shoulder height/m | 脊高 High ridge/m | 面积 Area/m ² |
|---------------------------------|--------------|----------------------|---------------|------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------------|
| 屋顶全开启温室 Open-roof greenhouse | 9.6 | 3 | 4 | 3 | 3.8 | 4.8 | 576 |
| 薄膜温室 Plastic greenhouse | 8.0 | 3 | 4 | 3 | 3.3 | 5.1 | 480 |

1.2.2 温度及光照监测点的布置

温度及光照在试验温室内分别均匀布置 9 个测点,室内温度(光照)监测点距离两侧侧墙各 1 m (1.5 m)、离两侧山墙各 1 m (1.5 m),离地面高度 1 m。室外温度及光照监测点距离试验温室侧墙或山墙 5 m,周围无障碍物,离地高度 1 m(图 3、4)。

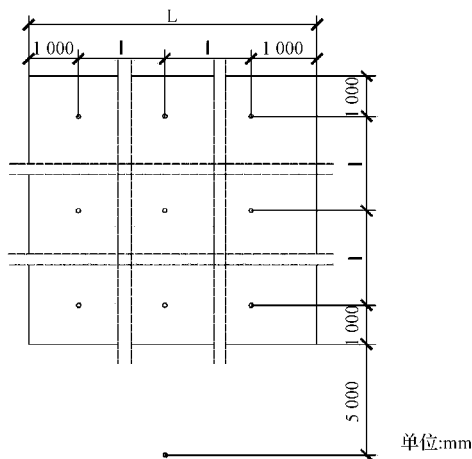


图 3 温度监测点分布

Fig. 3 Temperature measurement points

1.3 项目测定

1.3.1 温度特征的测定

试验期间温室通风口均闭合,室内外遮阳系统均收拢。利用室内环境数据采集器及温室气象站环境数据采集器分别采集室内外温度,09:00 至次日 09:00 每隔 1 h 监测一次,记录数据取平均值。

1.3.2 光照特征的测定

室内外遮阳系统均收拢,分别测定温室通风口开启和闭合 2 种状态下的光环境性能。由室内环境数据采集器及温室气象站环境数据采集器采集温室内外光照强度,09:00—17:00 每隔 1 h 监测一次,计算光照强度算术平均值和标准偏差,绘制光照变化曲线图。

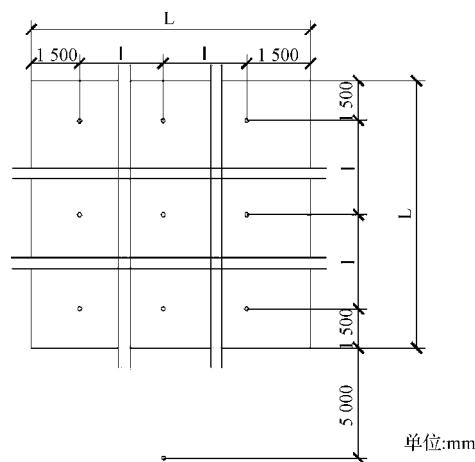


图 4 光照采集点分布

Fig. 4 Illumination measurement points

温室内采光率, $C = E_{nei} / E_{wai}$ (1)。

其中, C 表示温室内采光率(%), E_{nei} 表示室内光照平均值, E_{wai} 表示室外光照平均值。

温室内光照均匀性利用变异系数(CV)来衡量,温室光照变异系数越大,表示光照均匀性越差。

$CV = SD / MN$ (2)。

其中, CV 表示变异系数, SD 表示室内光照强度标准偏差, MN 表示室内光照强度平均值。

1.3.3 遮阳性能的测定

温室通风口均开启条件下,分别测定晴天 2 种温室仅收拢外遮阳系统和同时收拢内、外遮阳系统 2 种状态下的光环境性能。由室内环境数据采集器及温室气象站环境数据采集器采集温室内外光照强度,09:00—17:00 每隔 1 h 监测一次,计算光照强度算术平均值,绘制光照变化曲线图。温室遮光率(Z , %),

$Z = 1 - E_{nei} / E_{wai}$ (3)。

2 结果与分析

2.1 温室内温度变化特点

由图 5 可以看出,温室室内外温度变化趋势基本一致。在密闭环境下室内温度均高于室外,在 10:00—15:00 阳光照射条件下,薄膜温室的温度明显高于全开启温室,但是 16:00 至次日 05:00 薄膜温室的温度略低于全开启温室。晴天条件下,薄膜温室最高温度为 37.7℃,全开启温室最高温度为 35.3℃,而室外全天最高温仅为 28.3℃。薄膜温室和全开启温室 24 h 平均温度非常接近,分别为 22.0℃和 22.2℃,室外平均温

度为 18.5℃。通过分析发现,2 种温室高温段主要出现在 13:00—15:00,这说明华南地区即便在冬季,白天也要注意温室通风降温。

由图 6 可以看出,在密闭环境下阴天时 2 种温室内温度只是略大于室外,差距较小。阴天条件下薄膜温室最高温度为 29.6℃,全开启最高为 29.3℃。阴天时的最高温度非常接近,而晴天时 2 种温室内最高温度差距较大,说明薄膜温室的阳光辐射增温效果更加明显。阴天条件下,室内外温度在次日 06:00—07:00 最低,其中薄膜温室最低温度为 16.6℃,全开启温室最低温为 17.5℃,室外最低为 16.3℃。

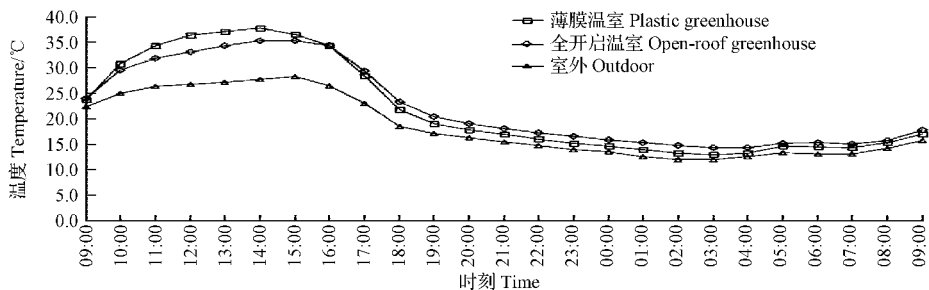


图 5 晴天条件下温室内外温度

Fig. 5 Temperature of greenhouse both indoor and outdoor in clear day

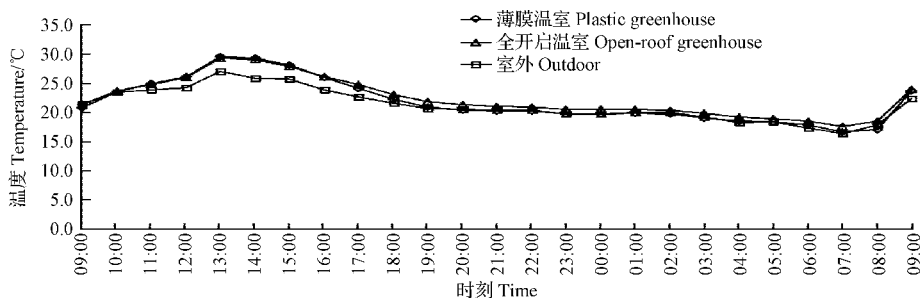


图 6 阴天条件下温室内外温度

Fig. 6 Temperature of greenhouse both indoor and outdoor in cloudy day

2.2 温室采光性能的比较

由图 7 可知,晴天条件下,2 种温室通风口均关闭时温室内光照强度均明显低于室外,其中全开启温室内光照强度与室外相差较大。12:00—13:00,全开启温室内光照强度呈下降趋势。但室外光照强度仍然保持增长,并于 13:00 达到最大值(57.5 klx),这可能是由于全开启温室复杂的构造使得室内阴影区增加,导致温室内采光性能

下降。薄膜温室的采光性能则明显优于全开启温室,且室内光照强度变化趋势与室外基本一致。

由图 8 可以看出,全开启温室变异系数明显大于薄膜温室的,平均变异系数分别为 0.6 和 0.4。说明全开启温室内的光照分布均匀性较差,可能是由于全开启温室覆盖材料不统一,且温室构架多而复杂。

由图 9 可以看出,晴天通风口均开启下,2 种

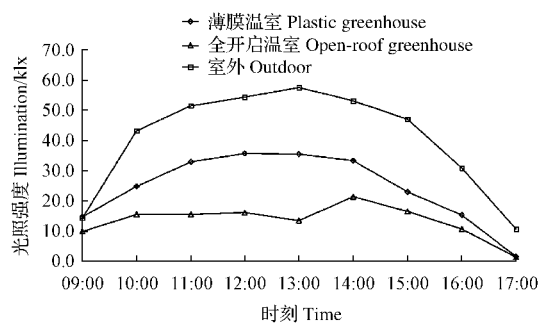


图7 晴天条件下通风口均关闭时温室
室内外光照强度

Fig. 7 Illumination of greenhouse both indoor and outdoor in clear day under the ventilation closed

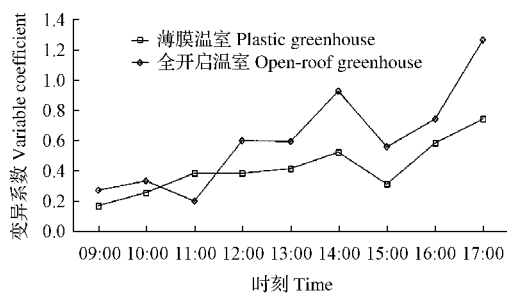


图8 晴天条件下通风口关闭时温室内
光照强度均匀性

Fig. 8 Light uniformity of greenhouse in clear day under the ventilation closed

温室内光照强度与晴天通风口均关闭下变化趋势相似。由图10可以看出,薄膜温室在15:00前光照强度变化较均匀。16:00时,光照均匀性最差(1.1),而全开启温室在13:00时最差(0.9)。由于阳光直接通过通风口照射到温室内,造成室内光照均匀性发生变化。

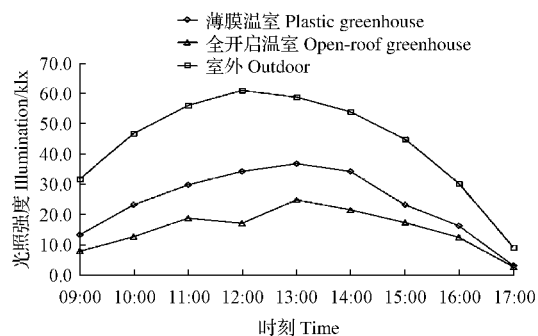


图9 晴天条件下通风口开启时温室室内外光照强度
Fig. 9 Illumination of greenhouse both indoor and outdoor in clear day under the ventilation opened

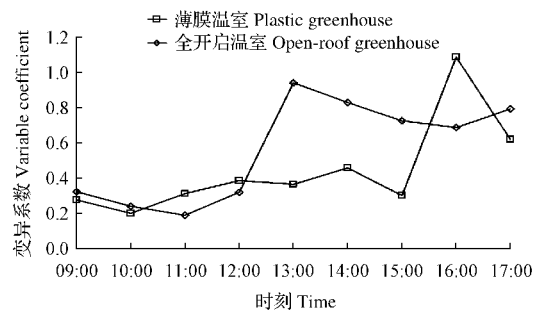


图10 晴天条件下通风口开启时温室内光照强度均匀性
Fig. 10 Light uniformity of greenhouse in clear day under the ventilation opened

由表2可以看出,全开启温室光照强度在1.5~21.6 klx,采光率仅为33.5%,而薄膜温室的采光率达到60.0%。说明全开启温室虽然通风降温 and 密闭保温性能有所改善,但是温室结构较复杂,屋面覆盖材料采用中空PC板,对温室内采光存在较大影响。晴天条件下通风口开启时,全开启温室采光率范围为24.5%~42.1%,而通

表2

不同天气条件下温室内外光照强度及采光率

Table 2 Illumination and daylighting rate of greenhouse both indoor and outdoor in different weather

| 类型 Type | 晴天(通风口均关闭) Clear day (under the ventilation closed) | | | | 晴天(通风口均开启) Clear day (under the ventilation opened) | | | | 阴天(通风口均关闭) Cloudy day (under the ventilation closed) | | | |
|-------------------------------|--|------|------|------|--|------|------|------|---|------|------|------|
| | 最高值 | 最低值 | 平均值 | 采光率 | 最高值 | 最低值 | 平均值 | 采光率 | 最高值 | 最低值 | 平均值 | 采光率 |
| | /klx | /klx | /klx | /% | /klx | /klx | /klx | /% | /klx | /klx | /klx | /% |
| 全开启温室 Open-roof greenhouse | 21.6 | 1.5 | 13.5 | 33.5 | 24.7 | 2.7 | 15.0 | 34.4 | 10.4 | 0.2 | 3.0 | 21.9 |
| 薄膜温室 Plastic greenhouse | 35.8 | 1.7 | 24.2 | 60.0 | 36.7 | 3.0 | 23.7 | 54.4 | 20.0 | 0.0 | 5.4 | 39.4 |
| 室外 Outdoor | 57.5 | 10.8 | 40.3 | — | 61.0 | 9.2 | 43.6 | — | 31.3 | 4.8 | 13.7 | — |

风口均关闭下采光率范围为 13.9%~69.5%,2 种状态下采光率平均值相接近;薄膜温室通风口均开启下采光率范围为 32.6%~63.3%,通风口均关闭下采光率范围为 15.7%~99.9%,通风口开启时采光率平均值则有所下降。

由图 11 可以看出,阴天时温室内光照强度与室外变化趋势一致,而薄膜温室的光照强度高于全开启温室,且全开启温室采光率明显低于薄膜温室(表 2)。无论晴天还是阴天,全开启温室内采光均比薄膜温室差。由图 12 可以看出,阴天条件下 2 种温室在 13:00 光照均匀性最好,而且薄膜温室内光照分布较全开启温室更加均匀些。

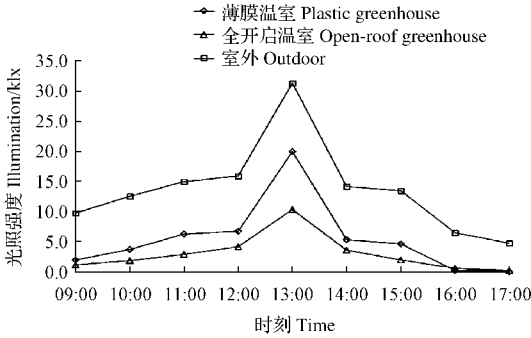


图 11 阴天条件下通风口关闭时温室
室内外光照强度

Fig. 11 Illumination of greenhouse both indoor and outdoor in cloudy day under the ventilation closed

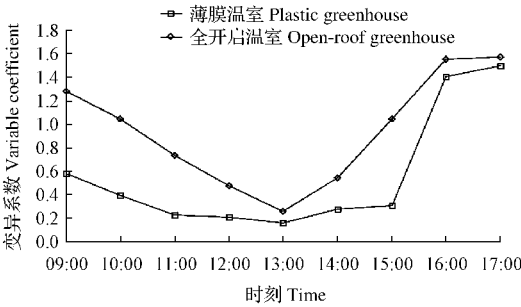


图 12 阴天条件下通风口关闭时温室
光照强度均匀性

Fig. 12 Light uniformity of greenhouse in cloudy day under the ventilation closed

2.3 温室遮阳性能的比较

由图 13 可以看出,晴天温室外遮阳系统铺开下,与室外光照强度对比,温室内光照强度明显降低。全开启温室内的光照强度更低,且增加趋势还出现不一致现象,这与未铺遮阳网的情况相同。从表 3 可以看出,仅铺开外遮阳网的情况下,薄膜温室的遮光率为 66.0%,全开启温室的遮光率为 81.6%。由表 2 和公式(3)可知,同样是通风口均开启,而未铺遮阳网时,薄膜温室的遮光率为 45.6%,全开启温室遮光率为 65.6%。说明室外遮阳系统对温室内光照调控效果明显。由图 14 可以看出,晴天温室内外遮阳系统均铺开下温室

表 3 遮阳网铺开时温室内外光照强度

Table 3 Illumination and shading rate of greenhouse both indoor and outdoor under shade net unrolling

| 类型 Type | 外遮阳系统 External shading system | | | | 外遮阳系统和内遮阳系统 Both external and interior shading system | | | |
|----------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-----------|--|-------------|-------------|-----------|
| | 最高值 /klx | 最低值 /klx | 平均值 /klx | 遮光率 /% | 最高值 /klx | 最低值 /klx | 平均值 /klx | 遮光率 /% |
| | | | | | | | | |
| 全开启温室 Open-roof greenhouse | 12.9 | 0.0 | 7.6 | 81.6 | 8.7 | 1.7 | 4.3 | 89.9 |
| 薄膜温室 Plastic greenhouse | 24.8 | 0.0 | 14.0 | 66.0 | 15.8 | 0.2 | 8.5 | 80.0 |
| 室外 Outdoor | 61.1 | 0.0 | 41.2 | — | 66.3 | 6.8 | 42.5 | — |

内光照强度均很低,此时温室内的光环境只能适应一些喜阴作物。薄膜温室遮光率为 80.0%,全开启温室遮光率达到 89.9%(表 3)。

3 结论

该研究发现,2 种温室的密闭保温性能良好,且无论晴天还是阴天,全开启温室内温度波动比薄膜的要缓慢,说明全开启温室维持室内温度稳

定性更好,对温室内极端高温和低温的调控能力优于薄膜温室。同时发现,晴天室外最高温度达到 28.3℃时,薄膜温室内最高温达到 37.7℃,全开启温室最高为 35.3℃。室内最高温度超过 35℃时,对作物生长将产生不利的影响,说明华南地区冬季也需要时刻关注室外气温变化,注意白天较高温时段的通风降温。温室内光照强度变化的研究表明,无论晴天还是阴天,全开启温室内采光均

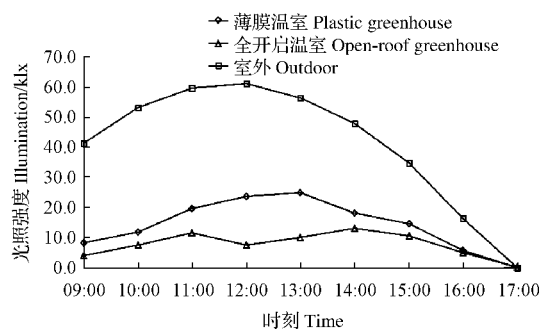


图 13 室外遮阳铺开时温室内外光照强度

Fig. 13 Illumination of greenhouse both indoor and outdoor under outdoor shade net unrolling

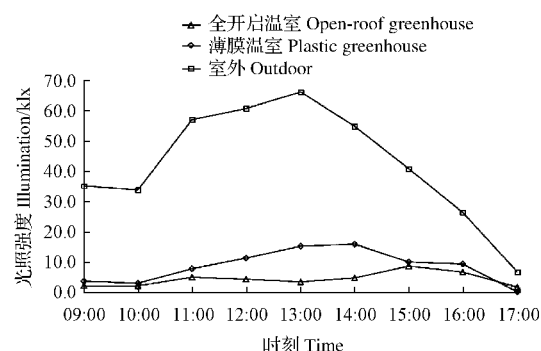


图 14 室内外遮阳铺开时温室内外光照强度

Fig. 14 Illumination of greenhouse both indoor and outdoor under indoor and outdoor shade net unrolling

较差,尤其是阴天天气采光率仅为 21.9%,因此,需要根据作物需求选取合适的温室类型,或者对全开启温室的构造进行改进,提高温室的采光性能。对温室内光照强度分布均匀性的研究表明,无论晴天还是阴天天气,全开启温室内的光照分布均匀性较差,说明全开启温室还需要进一步改进构造,改善室内光环境。通过对 2 种温室的遮阳系统性能的研究表明,通过配置室内和室外 2 层遮阳系统,可以明显减少室外光照的透入,冬季最大遮光率均高于 80%。

参考文献

- [1] 俞宏军,刘瑞春. 温室价值工程研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 153-157.
- [2] 马万征,马万敏. 智能温室环境控制的研究现状及发展趋势[J]. 北方园艺, 2011(23): 179-180.
- [3] 肖波,饶贵珍. 玻璃温室与塑料温室春季采光性能比较[J]. 北方园艺, 2013(12): 30-32.
- [4] 陈丹,范万新,梁萍,等. 桂南地区不同结构春季塑料大棚小气候光温特征分析[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(3): 377-380.
- [5] 李萍萍,毛罕平. 我国温室生产的现状与亟待研究的技术问题探讨[J]. 农业机械学报, 1996(3): 135-139.
- [6] 宋卫堂,张树阁,黄之栋,等. 三连栋不对称屋面玻璃温室设计与光照性能分析[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 106-109.

Comparative of Characteristics of Temperature and Illumination of Two Types of Greenhouse in Southern China

LI Wei^{1,2}, LI Huiling^{1,2}, LIU Nihong^{1,2}

(1. Guangdong Research Institute of Modern Agricultural Equipment, Guangzhou, Guangdong 510630; 2. Guangdong Hongke Agricultural Machinery Research and Development Co. Ltd., Guangzhou, Guangdong 510630)

Abstract: Open-roof greenhouse and plastic greenhouse in South China were taken as research object, the characteristics of temperature and illumination of open-roof greenhouse and plastic greenhouse through sensor detection for greenhouse environment were researched and analyzed. The results showed that, the temperature stability of open-roof greenhouse was better than that of plastic greenhouse, and the highest temperature of the two kinds of greenhouses was more than 35 °C, whereas the highest outdoor temperature was 28.3 °C, resulting in unsuitable environment for crop growth, so need to open the ventilator. Via the study of illumination in the two kinds of greenhouses, it was found that the light performance and uniformity of plastic greenhouse were better than that of the open-roof greenhouse. Especially in the cloudy condition, the light transmittance of open-roof greenhouse was only 21.9%. The study identified that the shading system had a significant effect on the greenhouse illumination. This research indicated that knowing well the variety rules of the temperature and illumination in the greenhouse could guide the production of greenhouse better, and provide the theoretical basis for the further improvement of greenhouse structure.

Keywords: South China; open-roof greenhouse; plastic greenhouse; illumination; temperature