

文章编号: 1674-7054(2020)01-0020-05

# 海南顶部半开口式大型薄膜温室环境参数研究

王开济, 严格齐, 刘晓光, 庞真真

(海南大学 园艺学院, 海口 570228)

**摘要:** 对海南地区顶部半开口式大型薄膜温室内外四季光强、温度、相对湿度等环境参数进行了测试分析,以探究顶部半开口式大型薄膜温室在海南地区环境的适应性。结果表明:夏秋季遮阳效果较好,15:00后宜关闭遮阳网。冬春季全天均需关闭遮阳网或适当人工补光。夏季午间温室出现39.3℃的极端高温,冬春季室内温度较为适宜。白天夏季温室内不同高度间温差较明显,其余三季平均温度在不同高度间差异较小。同时,温室内四季平均相对湿度均大于室外,其中,春秋冬季室内平均相对湿度随高度升高而降低,温室内相对湿度呈梯度变化。夜间由于四季平均温度在不同高度间差异较小,各高度间平均相对湿度基本相等。由此可见,顶部半开口式大型薄膜温室在试验期间温室内环境相对稳定,利于实现温室内作物周年生产。

**关键词:** 热带;大型温室;热环境;四季;海南

**中图分类号:** S 625.5

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.15886/j.cnki.rdswwb.2020.01.004

海南地区属热带季风性气候,光热资源充足,为发展果蔬种植提供了先决条件<sup>[1]</sup>。然而,高温、雷暴、热带气旋等极端气候对海南地区果蔬生产有较大影响,并造成一定的损失。为此,大力发展特色设施农业,致力于找到合适的设施栽培类型是海南地区设施农业发展亟待解决的问题<sup>[2]</sup>。目前,海南主要的设施类型有荫棚、网室、塑料温室和玻璃温室等<sup>[3]</sup>。不同的温室类型,使得温室环境存在一定的差异性,因此,有必要对不同类型的温室环境进行测试分析。庞真真等<sup>[3]</sup>对比研究了海南地区3种设施大棚环境,提出夏季采用防虫网棚和防雨大棚更有利于设施生产的建议。赵禹坤等<sup>[4]</sup>研究发现,海南地区锯齿形温室在实际生产中仍需增加遮阳降温措施。穆大伟等<sup>[5]</sup>对海南地区Venlo型温室环境进行测试,得出Venlo型温室在热带地区使用时应需辅助配套降温措施的优化方案。随着设施农业智能机械化的发展,设施栽培类型逐渐趋于规模化<sup>[6]</sup>,大型温室已成为设施农业规模化发展的重要研究方向。大型温室具有土地利用率高、机械化程度较高、室内环境相对稳定利于作物周年生产等特点<sup>[7]</sup>,16 m跨度的塑料大棚在夏季生产中,具有一定降温、保湿效果<sup>[8]</sup>。另外,对比大跨度非对称性塑料大棚、传统塑料大棚和日光温室等诸多设施,发现大跨度非对称性塑料大棚内部光照分布更均匀,保温性能更强<sup>[9]</sup>,更适合温室内作物生长。国内温室环境相关研究多针对北方地区的日光温室、塑料大棚等<sup>[10-13]</sup>,而对热带地区的大型温室环境研究较少。目前,缺乏热带地区温室的四季环境参数及理论研究。因此,笔者基于海南地区独特的气候条件,对顶部半开口式大型薄膜温室四季环境进行测试,探究温室内环境变化特点,旨在为热带地区设施农业规模化生产提供理论依据。

## 1 材料与方 法

**1.1 温室概况** 本试验于2016—2017年在海南省陵水县现代农业示范基地(109°50'E, 18°26'N)顶部半开口式大型薄膜温室中进行(图1)。温室南北走向,脊高7.2 m,栋长145 m,跨度8.0 m,共54跨;开

收稿日期: 2020-02-12

修回日期: 2020-02-19

基金项目: 2019年海南省基础与应用基础研究计划(自然科学领域)高层次人才基金资助项目(2019RC103);海南省自然科学基金(317049)

第一作者: 王开济(1994-),女,海南大学园艺学院2017级硕士研究生. E-mail: wang\_do@foxmail.com

通信作者: 庞真真(1983-),女,副教授,博士. 研究方向: 设施农业环境调控. E-mail: pangzz@qq.com

间 4.0 m, 共 36 个开间。温室划分 6 个区, 试验地为 3 号区, 在温室中部, 共 9 跨。温室覆盖材料为 0.15 mm 厚耐老化聚乙烯薄膜。室外具有外遮阳系统, 黑色遮阳网高 8.5 m。温室四周设置电动卷膜侧开窗, 屋顶设置电动排齿开窗, 开窗部位均安装防虫网, 温室内部设循环风机。测试期间, 温室内种植了番茄和西瓜, 种植方式为无土栽培, 温室内设备正常运作。

**1.2 测试方法** 水平方向设 10 个测量点: 温室内温湿度共设 9 个测量点; 室外 1 个测量点(图 2)。垂直方向设 3 个测试高度: 根据栽培槽、植株中部、植株顶部高度设 0.7, 2, 3.5 m 3 个高度。室外测点距温室 20 m, 设置同样 3 个高度。采用温湿度记录仪(HOBO-U14001, 美国 Onset HOBO 公司)记录室内外温湿度, 每 10 min 自动记录 1 次, 测试时间为 24 h。光照强度在室内 2 m 处水平布置 9 个测量点, 使用照度记录仪(i500-EGZ, 杭州西府科技有限公司)每 5 min 记录 1 次数据, 测试时间 8:00 ~ 17:00。选取典型的 1, 3, 7 和 11 月等 4 个月份进行环境分析。

**1.3 数据处理** 室内平均温度、平均相对湿度由 27 组温湿度平均值表示, 室内某高度平均温度、平均相对湿度由该高度 9 组温湿度平均值表示。室内光照强度取白天(8:00 ~ 17:00)所测数据平均值。

## 2 结果与分析

**2.1 不同季节温室内外光照强度变化** 温室内光照强度受屋面角度、框架结构、覆膜特性等因素影响, 明显低于室外自然光<sup>[14]</sup>。由表 1 可知, 温室内平均光照强度夏季最强, 春季最弱。夏秋季温室内平均光照强度分别为(160.1 ± 0.9), (104.5 ± 0.6) μmol·(m<sup>2</sup>·s)<sup>-1</sup>, 夏秋季室外平均光照强度分别为(1 144.2 ± 5.8), (706.1 ± 5.1) μmol·(m<sup>2</sup>·s)<sup>-1</sup>。夏秋季温室内外光照强度均低于大部分阳性蔬菜的饱和点, 因此不能满足这些阳性蔬菜的光照需要, 如番茄的饱和点约为 1 800 μmol·(m<sup>2</sup>·s)<sup>-1</sup><sup>[15]</sup>, 高于夏秋季温室内外平均光照强度。由于试验期间, 白天强光时段开启外遮阳网以避免强光灼伤植物, 因此, 在实际生产中, 可对遮阳网开闭时间进行适当调整, 如宜在 15:00 后关闭遮阳网, 提高室内光照强度。



图 1 供试温室

Fig. 1 The greenhouse under experiment

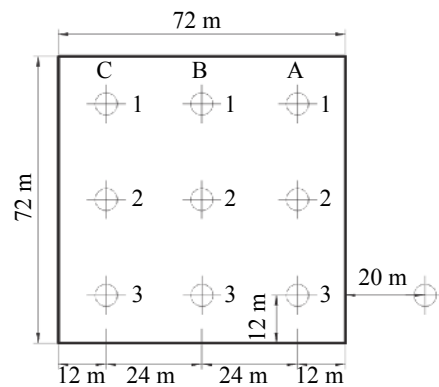


图 2 测量布点平面示意图

Fig. 2 Sketch of measuring points in the greenhouse

表 1 四季温室内外光照强度最大值、最小值和平均值 (8:00 ~ 17:00)

Tab. 1 Maximum, minimum and average light intensity in the indoor and outdoor of the greenhouse in spring, summer, autumn and winter (8:00~17:00)

季节 Season	最大值 Max		最小值 Min		平均值 Mean±SE	
	室内 Indoor	室外 Outdoor	室内 Indoor	室外 Outdoor	室内 Indoor	室外 Outdoor
春季	220.2	930.0	5.6	127.4	58.8±0.2	473.0±2.4
夏季	553.0	1 796.8	3.1	84.6	160.1±0.9	1 144.2±5.8
秋季	1 393.0	1 416.2	4.0	60.8	104.5±0.6	706.1±5.1
冬季	351.0	1 193.4	1.5	78.5	91.4±0.3	566.7±3.2

海南省是冬季瓜类蔬菜供应的重要基地<sup>[16]</sup>,春季温室内平均光照强度为 $(58.8 \pm 0.2) \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ,冬季温室内平均光照强度为 $(91.4 \pm 0.3) \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ,温室内光照强度不能满足瓜类蔬菜的生长需要。瓜类蔬菜光饱和点 $1\ 021.9 \sim 1\ 421.0 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ <sup>[17]</sup>,光照不足将降低西瓜含糖量,严重影响品质,还会使得生长旺盛期的植株出现“午休”现象<sup>[18]</sup>。试验测得冬春季温室内平均光照强度均低于温室内栽培作物的光饱和点,由此可见,冬春季温室内光照不利于温室作物的生长发育,冬春季全天均需关闭遮阳网或进行人工补光。同时,可根据具体的栽培品种和天气状况,改变温室顶部棚膜材料,可将其换为光能利用率较高的散射膜或转光膜<sup>[19-20]</sup>或进行人工补光。另外,应考虑定期清理覆膜上的尘埃,以增强温室透光率。

## 2.2 顶部半开口式大型薄膜温室的温度变化

### 2.2.1 不同季节温室内外温度变化

温度可直接影响作物的生理活动,是作物生长发育的重要指标之一。如图3所示,温室内年平均温度为 $(26.8 \pm 0.3)^\circ\text{C}$ ,满足温室内栽培作物的生长需要(番茄生长发育最适温度 $20 \sim 30^\circ\text{C}$ <sup>[21]</sup>,西瓜生长发育最适温度 $25 \sim 32^\circ\text{C}$ <sup>[22]</sup>),利于温室内作物周年生产。

温室内温度变化与温室内光照变化规律有关。夏季10:00~14:00高温时段,温室内温度低于室外,室内外温差最大为 $2.7^\circ\text{C}$ 。夏季午间13:00温室出现 $39.3^\circ\text{C}$ 的极端高温。由于温室四周围护材料是防虫网,温室降温措施以自然通风为主,受外界温度、通风速率和太阳辐射影响较大<sup>[23]</sup>,应及时采取适当的降温措施。如增大通风面积等。极端高温情况下,应开启室内循环风机,更换气扇强制通风或者改用其他降温方式如屋面喷淋降温,或多种降温方式组合使用<sup>[24]</sup>。炎热的天气条件下,顶部半开口式大型薄膜温室降温效果较好,这与顶部半开口式大型薄膜温室的开窗面积和高度有关。室内外气流受风压或热压作用,实现了室内外环境的热量交换。

秋季温室内平均温度在 $24 \sim 25^\circ\text{C}$ 之间,温度较为适宜植物生长。10:00~14:00室内外温差最大为 $7.8^\circ\text{C}$ ,室外温度明显高于室内。主要是因为试验期间大多为多云天气,太阳光受云层遮挡,导致到达温室的太阳辐射减弱。同时,此时外遮阳网开启,阻碍了大部分太阳光照射,使室内温度下降。因此,应根据不同天气状况采取具体相应的管理措施。冬春季室内平均温度在 $24 \sim 26^\circ\text{C}$ 之间,且冬季最低室内温度为 $19.6^\circ\text{C}$ ,室内温度较适宜。冬春季可栽植喜温性蔬菜。夜间(每日19:00至次日7:00)温室内温度高于室外。夏季室内昼夜平均温差为 $(8.6 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ ,冬季室内昼夜平均温差达到 $(6.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 。由此可见,温室内昼夜温差较明显,有利于提升作物品质,如促进番茄(*Lycopersicon esculentum*)营养物质积累,提高西瓜(*Citrullus lanatus*)甜度<sup>[21-22]</sup>。

### 2.2.2 温室内不同高度温度变化

由图4可知,白天夏季各高度温差较为明显,其余三季平均温度在不同高度间差异较小。夏季9:00~14:00室内3.5 m处平均温度最低,2.0 m处平均温度最高,这两处高度间温差最大为 $5.4^\circ\text{C}$ 。可能是顶部风机自动开启后,气流由上排侧窗吸入再从天窗排出,导致上层气流交换大但中下部的气流交换程度较小而造成的。冬春季平均温度随高度增加而升高,不同高度间平均温度变化幅度小于 $3^\circ\text{C}$ ,可能与冬春季室内外温差较小,温室通风主要与风压作用影响有关,

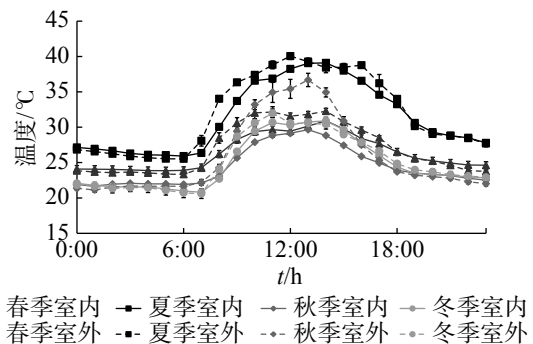


图3 温室内外温度季节性变化

Fig. 3 Seasonal variation of temperature inside and outside the greenhouse

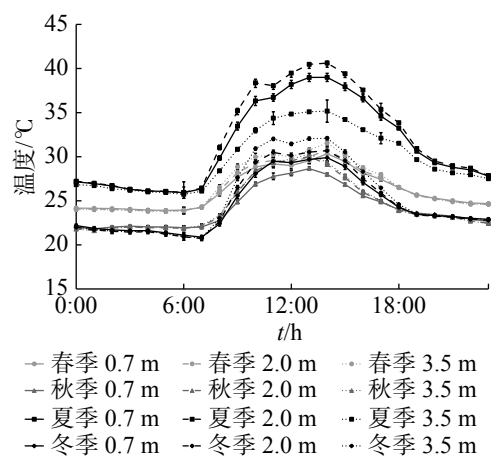


图4 温室内温度变化

Fig. 4 Temperature change in the greenhouse



且温室顶部部分区域围护结构为聚乙烯薄膜, 热空气积聚在温室顶部, 造成局部温度过高。

试验期间, 室内采用吊蔓种植的小番茄(*Solanum lycopersicum* Mill.), 坐果较多, 温室内不同高度平均温度均在 20 ℃ 以上, 满足温室内栽培作物的生长发育需要。但由于夏季温室内部高温高湿, 可根据所栽培品种类型, 考虑增加株行距和适当疏花疏果, 如种植小番茄, 定值时株距可为 20 cm, 每公顷约栽植 31 200 株<sup>[25]</sup>。

### 2.3 顶部半开口式大型薄膜温室湿度变化

**2.3.1 温室内外湿度的季节性变化** 温室内相对湿度是衡量温室性能的重要指标之一<sup>[11]</sup>, 受温室密闭性影响, 温室内水蒸气快速饱和, 温室内相对湿度明显高于温室外。如表 2 所示, 温室内年均相对湿度都能满足大多数蔬菜(60%~85%<sup>[26]</sup>)的光合作用需要; 但对于番茄(*Solanum lycopersicum*)等茄果类与西瓜(*Citrullus lanatus*)、甜瓜(*Cucumis melo* L.)等瓜类蔬菜(茄果类 55%~65%, 瓜类 45%~55%), 温室内相对湿度则过大, 会使作物茎叶徒长, 引发病害, 如造成番茄灰霉病等<sup>[14]</sup>。

表 2 不同季节温室内外湿度最大值、最小值和平均值(0:00~24:00)

Tab. 2 Maximum, minimum and mean humidity of the greenhouse in different seasons (0:00-24:00)

季节 Season	最大值 Max		最小值 Min		平均值 Mean±SE	
	室内 Indoor	室外 Outdoor	室内 Indoor	室外 Outdoor	室内 Indoor	室外 Outdoor
春季	99.0	98.0	58.3	50.3	86.5±0.2	77.9±0.9
夏季	97.1	96.1	40.2	40.6	76.6±0.6	71.2±2.2
秋季	92.0	91.3	42.9	26.0	73.0±0.2	66.4±1.0
冬季	98.4	98.4	46.3	43.7	82.7±0.3	73.5±1.0

试验期间, 温室内相对湿度受室内温度及外界环境条件的影响。四季平均相对湿度均大于室外, 与赵禹坤<sup>[5]</sup>等的研究结论不同, 主要受室外相对湿度、通风速率和植物蒸散量的影响<sup>[23]</sup>。其中, 夏季 10:00~16:00 室外平均温度为(38.7±0.2) ℃, 平均相对湿度为(48.4±0.8)%; 室内平均温度为(37.8±0.1) ℃, 平均相对湿度为(54.5±0.7)%, 温室内部处于相对湿热的环境。应通过适当通风、优化灌溉方式等措施, 降温除湿。

秋季 9:00~14:00 室内外相对湿度差异明显, 室内外相对湿度相差最大为 18.6%, 由于温室内营养液大量蒸发, 且此时正处于热带季风气候“旱季”, 室外降雨较少, 加剧了温室内外湿度差异。因此, 宜加大通风换气和改变粗放的营养液管理供给模式。

**2.3.2 温室内不同高度的湿度变化** 温室内相对湿度在垂直方向上受季节和昼夜变化的影响。如图 5 所示, 由于太阳辐射和遮阳措施的原因, 春秋冬季室内平均相对湿度随高度升高而降低, 温室内相对湿度呈梯度变化。秋季 0.7 m 处的相对湿度较 2.0 m 处和 3.5 m 处相对湿度高, 主要是因为秋季 0.7 m 处营养液大量蒸发, 使空气中相对湿度增大。

夏冬季 9:00~14:00 各高度间相对湿度差异较大。夏季 3.5 m 处与 2.0 m 处相对湿度差最大为 31.4%, 3.5 m 处与 0.7 m 处相对湿度差最大为 23.7%。冬季 3.5 m 处相对湿度与 0.7 m 处相对湿度差异较明显, 相对湿度差最大为 15.5%。夜间由于四季平均温度在不同高度间差异较小, 各高度间平均相对湿度基本相等。

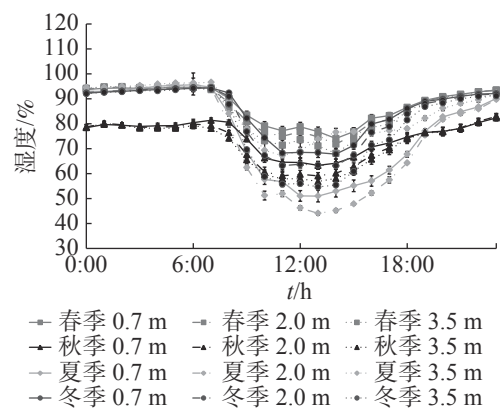


图 5 温室内湿度变化

Fig. 5 Relative humidity change in the greenhouse

### 3 结 论

(1)顶部半开口式大型薄膜温室夏秋季遮阳效果较好。但是在 15:00 后宜关闭遮阳网。冬春季全天均需关闭遮阳网或适当人工补光,以增强温室透光率。

(2)夏季午间 13:00 温室出现 39.3 °C 的极端高温,需局部降温。冬春季室内平均温度在 24 ~ 26 °C 之间。夏季温室内不同高度间温差较为明显,其余三季平均温度在不同高度间差异较小。温室内环境较为稳定,适合海南的气候条件。

(3)温室内四季平均相对湿度均大于室外。试验期间,温室内栽植作物为番茄和西瓜,温室内部相对湿度过高,因此,应考虑除湿,改变粗放的营养液管理供给模式。

综上所述,海南地区顶部半开口式大型薄膜温室适合海南等热带地区的气候条件。在高温环境条件下温室内部环境相对稳定。当室内栽植番茄及西瓜等作物时应考虑适当降温除湿。同时温室顶部通风口面积较大,促进了室内外环境的热量交换,利于实现温室内作物周年生产。

### 参考文献:

- [1] 高素华,黄增明,张统钦,等.海南岛气候[M].北京:气象出版社,1988:125.
- [2] 田丽波,商桑,张燕,等.海南省设施园艺发展现状及可持续发展的策略[J].热带农业科学,2014,34(4):91-95.
- [3] 庞真真,黄泉,曾宪豪,等.海南地区几种常见设施大棚热环境参数试验研究[J].农机化研究,2016,38(1):227-231.
- [4] 赵禹坤,王琴,穆大伟,等.热带地区锯齿型温室微气候环境初步研究[J].农机化研究,2015,37(5):185-190.
- [5] 穆大伟,贾鹏宇,赵立明.Venlo 温室在海南热区的环境适应性初步研究[J].广东农业科学,2014,41(7):180-185.
- [6] 齐飞,魏晓明,张跃峰.中国设施园艺装备技术发展现状与未来研究方向[J].农业工程学报,2017,33(24):1-9.
- [7] 周长吉.温室工程设计手册[M].北京:中国农业出版社,2007:2-3.
- [8] 魏鑫,李建设,高艳明.大跨度双膜双拱塑料大棚夏季降温能力测试研究[J].北方园艺,2016(10):45-51.
- [9] 武莹,李建明.典型季节大跨度非对称塑料大棚内温光性能分析[J].中国农业大学学报,2019,24(10):125-135.
- [10] 韩丽蓉,王宏丽,李凯,等.下沉式大跨度大棚型温室的设计及应用研究[J].中国农业大学学报,2014,19(4):161-165.
- [11] 周升,张义,程瑞锋,等.大跨度主动蓄能型温室温湿环境监测及节能保温性能评价[J].农业工程学报,2016,32(6):218-225.
- [12] 孙亚琛,朱超,何斌,等.大跨度非对称水控酿热保温日光温室性能分析[J].北方园艺,2017(12):55-60.
- [13] 武莹,李建明,肖金鑫,等.新型大跨度非对称塑料大棚内冬季温光变化特征研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(6):97-106.
- [14] 邹志荣,邵孝侯.设施农业环境工程学[M].北京:中国农业出版社,2008:32-151.
- [15] 朱雨晴,薛晓萍.遮阴及复光对花果期番茄叶片光合特性的影响[J].中国农业气象,2019,40(2):126-134.
- [16] 朱早兵,商桑,穆大伟,等.海南省设施农业发展现状[J].园艺与种苗,2015(9):15-17.
- [17] 宋世威,刘厚诚,陈日远.瓜类蔬菜光合特性研究进展[J].长江蔬菜,2003(7):38-41.
- [18] 郭尚,王宇楠.不同光照强度西瓜光合速率日变化的研究[J].华北农学报,2011(5):170-173.
- [19] 文莲莲,张雪松,陈小文,等.转光栅膜覆盖对日光温室光环境及番茄生长发育和产量品质的影响[J].北方园艺,2019(13):82-86.
- [20] 许宝玉,赵淑梅,宋卫堂,等.散射膜对设施环境与番茄栽培的影响[J].浙江农业科学,2019,60(6):869-872.
- [21] 杨圆圆,赵伟,刘梦龙,等.环境对不同果色樱桃番茄生长发育、品质及产量的影响[J].中国农学通报,2018,34(25):52-56.
- [22] 侯伟,杨福孙,李尚真,等.低温寡照对海南棚栽西瓜生长的影响及其灾害等级指标[J].江苏农业科学,2015,43(8):161-166.
- [23] LITAGO J, BAPTISTA F J, MENESES J F, et al. Statistical modelling of the microclimate in a naturally ventilated greenhouse [J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(3): 365-381.
- [24] AHEMD H A, AL-FARAJ A A, ABDEL-GHANY A M. Shading greenhouses to improve the microclimate, energy and water saving in hot regions: A review [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 201: 36-45.
- [25] 王旭强,徐森波,余科,等.樱桃番茄品种搭配种植延长供应期的栽培模式[J].中国蔬菜,2019(9):101-103.
- [26] 张福墀.设施园艺学[M].北京:中国农业大学出版社,2010:143-144.