

农大 V 型日光温室越冬性能研究

张振兴, 张玉锦, 李 宁, 李恭峰, 高亚新, 李青云

(河北农业大学园艺学院 河北保定 071001)

摘要:为探究农大 V 型日光温室在冀中南地区的越冬生产性能,以邯郸当地生产越冬果菜的砖土复合墙温室为对照(CK),动态监测这 2 种温室在 2021 年 11 月中旬至 2022 年 2 月下旬的温度变化,分析了农大 V 型日光温室的升温 and 保温能力。结果表明,与 CK 相比,农大 V 型日光温室 12 月中旬至 2 月下旬的平均气温和平均地温分别低 2.24~6.04 °C 和 2.20~5.93 °C,最低气温和最低地温分别低 2.99~8.16 °C 和 2.25~5.02 °C,积温和 10 °C 以上时间分别低 22.35~60.94 °C 和 46.66~137.34 h;农大 V 型日光温室气温的上午升温值、下午降温值和夜间降温值分别为 8.71~21.38 °C、2.26~6.97 °C 和 6.37~14.46 °C,分别比 CK 高 4.26~11.96 °C、1.43~8.69 °C 和 1.67~5.29 °C,昼增温值为 8.48~14.99 °C,比 CK 高 1.60~5.95 °C。综上,农大 V 型日光温室深冬季节升温、降温快,增温能力强,昼夜温差大,气温可满足喜温性果菜生长要求,但平均气温和积温值均低于传统砖土复合墙温室,应用时需加强保温管理,并建议采用果菜 1 年 2 茬生产模式。

关键词:农大 V 型日光温室;砖土复合墙温室;保温性能;冀中南

中图分类号:S625

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2022)11-034-09

Wintering performance of Nongda V-type solar greenhouse

ZHANG Zhenxing, ZHANG Yujin, LI Ning, LI Gongfeng, GAO Yaxin, LI Qingyun

(College of Horticulture, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, Hebei, China)

Abstract: In order to explore the wintering production performance of the V-type solar greenhouse of Nongda in central and southern Hebei, the temperature change of these two types of greenhouses from mid-November 2021 to late February 2022 was dynamically monitored by taking the brick-soil composite wall greenhouse (CK) of the local production of wintering fruits and vegetables in Handan as a control, and the heating and insulation capacity of the type V solar greenhouse of Nongda was analyzed. The results showed that the average temperature and average ground temperature of the V. type solar greenhouse of Nongda were 2.24-6.04 °C and 2.2-5.93 °C, respectively, compared with CK, the minimum temperature and minimum ground temperature were 2.99-8.16 °C and 2.25-5.02 °C, and the accumulated temperature and the number of hours above 10 °C were 22.35-60.94 °C and 46.66-137.34 h, respectively. The morning temperature increase, afternoon cooling value and night cooling value of the V. type solar greenhouse temperature of Nongda were 8.71-21.38 °C, 2.26-6.97 °C and 6.37-14.46 °C, which were 4.26-11.96 °C, 1.43-8.69 °C and 1.67-5.29 °C, respectively, and the daytime temperature increase values were 8.48-14.99 °C, which were 1.6-5.95 °C higher than CK. In summary, the V. type solar greenhouse of Nongda University heats up and cools quickly in the deep winter, the heating capacity is strong, the temperature difference between day and night is large, and the temperature can meet the requirements of the growth of warm-loving fruits and vegetables, but the average temperature and accumulated temperature values are lower than the traditional brick and soil composite wall, and the application needs to strengthen the thermal insulation management, and it is recommended to adopt the production mode of fruit and vegetable 2 growing seasons a year.

Key words: Nongda V. solar greenhouse; Composite brick wall greenhouse; Thermal insulation performance; Jizhongnan

我国是农业大国,在农业发展过程中,设施农业占有较大比重。日光温室是我国现阶段在园艺生产过程中使用最广泛、数量最多的农业设施,也是中国北方地区冬春季节的主要栽培设施类型^[1]。

日光温室的墙体是集蓄热、保温、隔热为一体的温室围护结构,是日光温室重要的组成部分^[2]。日光温室墙体材料的发展经历了 3 个时期,即单一材料墙体阶段、复合异质墙体阶段、新型材料应用初

收稿日期:2022-05-26;修回日期:2022-08-09

基金项目:河北省现代农业产业技术体系设施蔬菜创新团队(HBCT2021030214)

作者简介:张振兴,男,在读硕士研究生,从事蔬菜栽培与设施园艺研究。E-mail:zhangzhenxingzxx@163.com

通信作者:李青云,女,教授,从事设施园艺研究。E-mail:liqingyun69@163.com

期阶段^[3]。

在日光温室墙体发展过程中,土质墙体具有良好的蓄热保温性能,但建造费工,占地面积大,且对耕层土壤改变较大,在地下水位高的地区建造受限,受以上因素限制,正在逐渐失去政策支持;砖墙占地面积虽小,但成本上升,建造费工,环保性差。随着科技和产业的发展,人们越来越关注便于标准化建造、机械化作业和智能化管理的新型墙体结构日光温室,如用聚苯板、草砖、棉被等材料建造的组装式温室^[4-10]。张立芸等^[11]的研究发现,用加气混凝土砌块替代实心黏土砖所建造的温室具有节能环保等特点。李成芳等^[12]分析了日光温室墙体绝热层的位置,发现外贴聚苯保温板的经济性能和热工性能好于中间夹保温板的复合墙体。陈端生^[13]的研究表明,墙体外层用加气砖可将室内气温提高0.5~0.8℃。马承伟等^[14]对复合构造墙体材料分析得出,内侧材料注重蓄热性,应为导热良好(即保温性差)的材料,而选用保温性好、蓄热性差的材料则是错误的做法,外侧注重保温性,应选用保温性良好(即比热容与密度较高)的材料。

顾金寿^[15]通过对复合相变墙体材料在温室大棚后墙中的应用研究发现,复合相变材料具有潜热性,与显热储能相比,其蓄热储能密度更高,蓄放热范围更小,实际效果更好。除此之外,相变温度范围能够为农作物带来良好的生长环境,将其运用在温室大棚后墙的砌筑上能够将太阳能进行合理利用,使温室全天都处于适合作物生长的环境中,还能够一定程度上保护生态环境,是促进农业发展、保护社会环境的重要举措。张勇等^[16]通过对新型相变材料蓄放热性能测试及在温室内的应用研究发现,将相变材料应用到温室的建造中,可利用其蓄放热特点实现太阳热能地点、时间的转移,其贮热方式是相变潜热储热,与显热式贮热相比,潜热式贮热可以储存更多的热量,且相变过程近似等温。程素香^[17]研究发现,将相变材料用于温室,不但能够帮助温室高效利用洁净可再生的太阳能资源,节约不可再生能源,减少环境污染,而且可以减小温室内部温度变化幅度,有利于维持温室内部温度稳定,有效提高温室蓄热能力和保温性能,增加室内温度的自调节功能,有利于给作物提供一个舒适的生长环境,提高经济效益。

在大力发展节地型现代园艺设施背景下,笔者所在课题组创制了由聚氨酯隔热层、相变材料蓄热

层为后墙结构的组装式全钢架日光温室,暂定名农大V型温室。为探明农大V型日光温室的环境性能,以生产越冬果菜的砖土复合墙为对照,监测了农大V型日光温室越冬生产番茄期间的温度参数,分析其越冬保温和升温能力,旨在探讨该温室在冀中南地区设施蔬菜生产中的实用性。

1 材料与方法

1.1 试验温室

供试日光温室分别为农大V型相变集热蓄热墙全组装日光温室(以下简称农大V型温室)、砖土复合墙温室(CK),位于河北省邯郸市怡康农业园区内。农大V型温室棚体由全钢架支撑,前屋面和后坡为装配式热镀锌几字钢桁架,桁架间距1m。桁架在屋脊处设拉杆1道,前屋面桁架设拉杆6道,拉杆固定在下弦上。后墙和山墙设方钢立柱支撑,方钢(直径10cm)间距2m。后墙方钢立柱与后坡桁架之间设1根方钢檩连接固定。后墙中间为方钢,直径10cm,外设厚度10cm水泥隔墙板,墙板外喷涂聚氨酯保温,厚度5cm,在聚氨酯外喷水泥砂浆保护层;在钢架内部固定厚度10cm的水泥隔墙板,隔墙板高2.95m,在墙板的孔内封装2.7kg·m⁻²相变材料,相变材料总量615.5kg。山墙内部为方钢,外设厚度10cm水泥隔墙板,墙板外喷涂聚氨酯3cm厚,在聚氨酯外喷水泥砂浆保护层,其剖面图见图1。2种温室具体参数见表1。

2种温室内种植作物均为番茄(冀番11号,由邯郸市农业局提供),于2021年10月23日定植,土壤栽培,大行距80cm,小行距40cm,株距35cm,农大V型温室种植1800株,砖土复合墙温室种植1240株。田间管理同常规生产,由技术员统一指导管理。

1.2 测定指标及方法

2021年11月中旬至2022年2月下旬采用RC-4HA/C温湿度记录仪(江苏精创电气股份有限公司)测定气温,采用杭州智拓仪器记录地温。测量精度均为0.1℃,间隔30min自动采集数据1次。在温室1/2跨度,由东向西1/4长度、1/2长度、3/4长度,番茄冠层高度(即1.5m),分别放置一个温湿度计以记录室内气温数据,并在温室1/2长度,由南向北1/4跨度、3/4跨度,地下10cm处放置地温仪监测地温;在室外距离温室3m远、高1.5m处放置温度计监测室外气温。温室内气温及地温测点分布如图2所示。

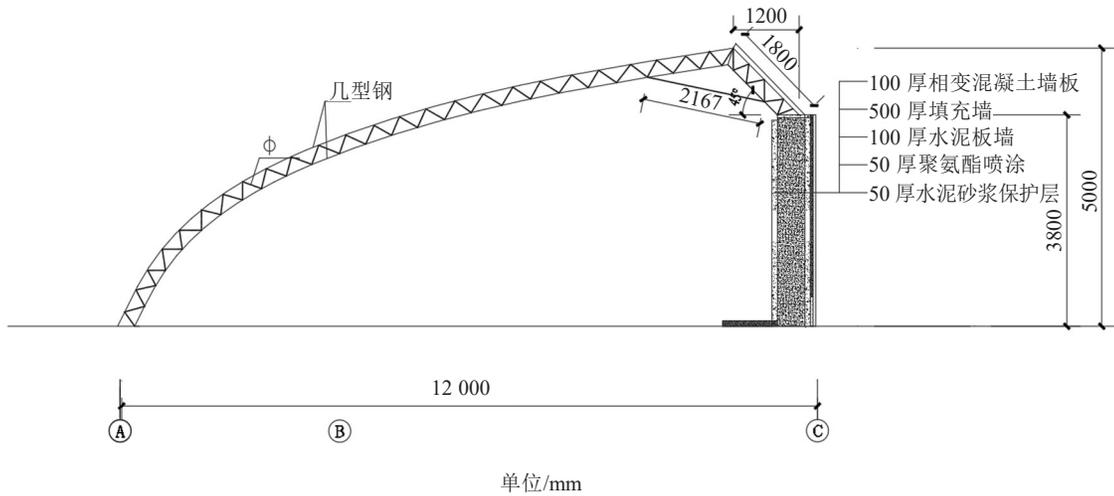


图1 农大V型日光温室剖面

表1 2种类型日光温室结构与参数

| 温室类型 | 长度/ m | 跨度/ m | 脊高/ m | 后坡 投影 | 墙体材料 | 后墙厚 度/m | 采光面 | 棚膜 | 保温 材料 | 栽培面下 挖深度/m |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------------------|------------|--------|----------|----------|---------------|
| 农大V型温室 | 50 | 12 | 5.0 | 1 | 聚氨酯涂层+填充相变 材料的结构板 | 0.35 | 钢管钢筋片架 | PVC 塑料薄膜 | 3层保温被 | 0.0 |
| 砖土复合墙温室(CK) | 45 | 9 | 3.5 | 1 | 夹土砖墙 | 1.00 | | | | 0.5 |

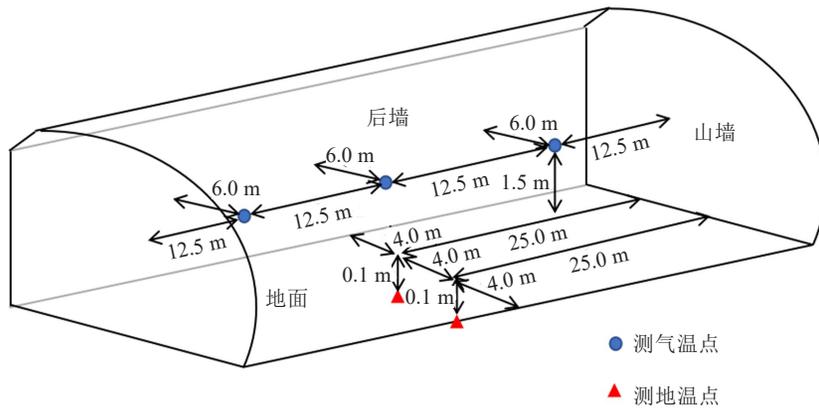


图2 温室气温及地温测点分布

指标计算:

上午升温值= $b-a_1$, 下午降温值= $b-a_2$, 夜间降温值= $a_2-a_1(T+1)$, 昼增温值= c_1-c_2 , 夜增温值= d_1-d_2 。式中, a_1 :揭苫前气温; b :中午 12:00 气温; a_2 :盖苫时气温; c_1 :温室白天最高气温; c_2 :室外白天最高气温; d_1 :温室夜间最低气温; d_2 :室外夜间最低气温; T :当天的气温; $T+1$:次日的气温。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 2016 处理数据, SPSS 23 统计分析。

2 结果与分析

2.1 2种类型温室的气温和有效积温比较

2.1.1 日平均气温和有效积温 由表2可以看出, 2021年11月中旬至12月上旬, 农大V型温室的日平均气温较高, 在 13.95~16.97 °C 之间, 比室外高 6.36~8.35 °C, 且与砖土复合墙温室(CK)没有差异; 2021年12月中旬至2022年2月下旬, 农大V型温室的日平均气温始终低于CK, 其中1月下旬最低, 为 7.89 °C, 比室外高 7.97 °C, 但比CK低 2.24 °C, 差异显著, 其他时期的日平均气温比CK低 2.24~6.04 °C, 但均在 10 °C 以上。

温室的有效积温情况能充分反映温室的保温蓄热情况。旬积温方面, 2021年11月中旬至12月上旬, 2种类型温室有效积温差异不大, 而12月中旬至2022年2月下旬, 农大V型温室的有效积温始

表2 2种类型温室日平均气温及旬积温比较

| 年份 | 时间 | 日平均气温/°C | | | 旬积温/°C | | |
|------|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| | | 农大V型温室 | CK | 室外 | 农大V型温室 | CK | 室外 |
| 2021 | 11月中旬 | 16.97±0.28 a | 16.27±0.33 a | 10.61±0.20 b | 169.69±1.71 a | 162.25±1.58 b | 78.90±0.78 c |
| | 11月下旬 | 15.44±0.32 a | 15.85±0.21 a | 7.09±0.27 b | 154.42±1.05 b | 158.48±1.21 a | 0 |
| | 12月上旬 | 13.95±0.24 a | 12.90±0.29 a | 6.47±0.24 c | 139.48±1.10 a | 129.01±1.40 b | 0 |
| | 12月中旬 | 12.50±0.20 b | 14.74±0.27 a | 5.35±0.29 c | 125.03±1.63 b | 147.38±1.52 a | 10.83±0.23 c |
| | 12月下旬 | 11.00±0.29 b | 14.42±0.31 a | 1.79±0.12 c | 86.98±0.72 b | 144.22±1.54 a | 0 |
| 2022 | 1月上旬 | 10.10±0.14 b | 13.04±0.26 a | 2.60±0.20 c | 77.43±0.88 b | 130.39±1.26 a | 0 |
| | 1月中旬 | 11.20±0.23 b | 15.27±0.33 a | 1.36±0.23 c | 96.16±1.19 b | 152.70±1.14 a | 0 |
| | 1月下旬 | 7.89±0.19 b | 10.13±0.28 a | -0.08±0.17 c | 23.19±0.48 b | 58.89±1.23 a | 0 |
| | 2月上旬 | 11.98±0.24 b | 16.28±0.33 a | 2.43±0.24 c | 109.94±1.19 b | 162.75±1.23 a | 0 |
| | 2月中旬 | 10.90±0.37 b | 15.31±0.37 a | 2.21±0.25 c | 92.20±0.80 b | 153.14±1.85 a | 0 |
| | 2月下旬 | 13.42±0.35 b | 19.46±0.30 a | 6.33±1.29 c | 134.21±1.74 b | 194.62±1.58 a | 44.10±0.67 c |

注:同行数字后不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

终低于 CK,其中 1 月下旬有效积温最少,为 23.19 °C,比 CK 少 35.70 °C,其他时期的有效积温比 CK 少 22.35~60.94 °C。

2.1.2 最高气温和最低气温 由表 3 可以看出,在整个测量期间,农大V型温室的最高气温一直高于 CK 与室外气温,其中 11 月下旬气温最高,为 31.61 °C,比 CK 高 5.74 °C,比室外高 11.75 °C,其他时期的最高气温较 CK 高 1.60~5.95 °C,较室外高 7.07~14.99 °C;最低气温方面,12 月上旬农大V型温室为 7.75 °C,较 CK 高 0.99 °C;其他时期农大V型

温室的最低气温均明显低于 CK,其中 2 月上旬最低,为 3.88 °C,比 CK 低 6.67 °C,12 月中旬至 2 月下旬较 CK 低 2.99~8.16 °C,除 11 月中旬与 12 月上旬外差异显著。农大V型温室的最低气温一直高于室外,温差为 6.37~9.42 °C。

2.1.3 地温的平均值和最高值、最低值 由表 4 可以看出,11 月中旬至 12 月上旬,农大V型温室的日平均地温、最高地温和最低地温与 CK 相比,差异不显著。12 月中旬至 2 月下旬的日平均地温、最高地温和最低地温较 CK 相比分别低 2.20~5.93 °C、

表3 2种类型温室日最高气温、最低气温比较

| 年份 | 月份 | 最高气温/°C | | | 最低气温/°C | | |
|------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 农大V型温室 | CK | 室外 | 农大V型温室 | CK | 室外 |
| 2021 | 11月中旬 | 30.14±0.53 a | 26.40±0.44 b | 23.07±0.46 c | 10.71±0.28 a | 11.37±0.49 a | 3.91±0.15 b |
| | 11月下旬 | 31.61±0.25 a | 25.87±0.28 b | 19.86±0.28 c | 8.05±0.51 b | 11.02±0.35 a | -0.32±0.26 c |
| | 12月上旬 | 27.78±0.20 a | 24.64±0.20 b | 18.84±0.30 c | 7.75±0.38 a | 6.76±0.44 a | -0.93±0.50 b |
| | 12月中旬 | 27.23±0.20 a | 24.36±0.28 b | 18.73±0.47 c | 5.87±0.50 b | 9.73±0.69 a | -1.72±0.41 c |
| | 12月下旬 | 27.09±0.31 a | 22.58±0.28 b | 15.21±0.45 c | 4.24±0.28 b | 10.25±0.41 a | -5.18±0.25 c |
| 2022 | 1月上旬 | 22.32±0.21 a | 18.68±0.36 b | 13.72±0.31 c | 4.98±0.45 b | 9.94±0.35 a | -2.75±0.57 c |
| | 1月中旬 | 26.28±0.45 a | 22.44±0.29 b | 11.29±0.33 c | 5.09±0.31 b | 10.58±0.47 a | -4.08±0.35 c |
| | 1月下旬 | 17.45±0.40 a | 14.15±0.46 b | 4.09±0.17 c | 4.25±0.42 b | 7.24±0.37 a | -2.12±0.24 c |
| | 2月上旬 | 29.27±0.40 a | 23.32±0.32 b | 15.58±0.37 c | 3.88±0.30 b | 10.55±0.35 a | -4.96±0.56 c |
| | 2月中旬 | 24.02±0.39 a | 20.30±0.37 b | 11.34±0.32 c | 4.99±0.23 b | 11.58±0.38 a | -3.21±0.42 c |
| | 2月下旬 | 27.54±0.24 a | 25.94±0.52 b | 19.06±0.35 c | 5.63±0.36 b | 13.79±0.70 a | -2.3±0.16 c |

2.25~5.02 °C、2.25~5.02 °C,差异显著。农大V型温室的日平均地温与 CK 相比低 0.46~5.93 °C(11 月中旬、12 月上旬除外),最高地温与 CK 相比,低 0.62~7.62 °C(11 月中旬、12 月上旬除外),最低地温与 CK 相比低 0.09~5.02 °C(11 月中旬除外)。其中

2 月下旬差距最大,农大V型温室的日平均地温为 11.43 °C,与 CK 相比低 5.93 °C;最高地温为 12.24 °C,与 CK 相比低 7.62 °C;最低地温为 10.29 °C,与 CK 相比低 5.02 °C。由此可以看出,农大V型温室的地温保温和升温能力低于砖土复合

表4 2种类型温室日平均地温、最高地温和最低地温比较

| 年份 | 时间 | 日平均地温/°C | | 最高地温/°C | | 最低地温/°C | |
|------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 农大V型温室 | CK | 农大V型温室 | CK | 农大V型温室 | CK |
| 2021 | 11月中旬 | 18.19±0.08 a | 17.64±0.24 a | 19.49±0.33 a | 19.45±0.29 a | 16.86±0.20 a | 16.21±0.21 a |
| | 11月下旬 | 16.22±0.21 a | 16.68±0.24 a | 16.87±0.30 a | 17.49±0.32 a | 15.74±0.28 a | 16.24±0.36 a |
| | 12月上旬 | 14.58±0.22 a | 14.45±0.38 a | 14.68±0.36 a | 14.66±0.30 a | 14.77±0.23 a | 14.86±0.11 a |
| | 12月中旬 | 12.51±0.22 b | 14.71±0.26 a | 12.62±0.33 b | 15.36±0.34 a | 12.59±0.17 b | 14.84±0.21 a |
| | 12月下旬 | 11.50±0.44 b | 14.89±0.24 a | 11.51±0.44 b | 15.24±0.42 a | 11.52±0.29 b | 15.38±0.25 a |
| 2022 | 1月上旬 | 10.82±0.28 b | 14.03±0.50 a | 10.82±0.48 b | 14.26±0.43 a | 10.95±0.24 b | 14.48±0.16 a |
| | 1月中旬 | 11.13±0.21 b | 14.92±0.14 a | 11.01±0.34 b | 15.59±0.23 a | 11.05±0.31 b | 15.26±0.13 a |
| | 1月下旬 | 9.23±0.26 b | 12.16±0.26 a | 9.53±0.36 b | 12.76±0.28 a | 8.83±0.25 b | 11.94±0.13 a |
| | 2月上旬 | 10.96±0.15 b | 15.17±0.24 a | 11.83±0.39 b | 17.08±0.24 a | 9.82±0.32 b | 13.69±0.18 a |
| | 2月中旬 | 10.86±0.23 b | 15.74±0.30 a | 11.67±0.39 b | 17.36±0.13 a | 9.98±0.14 b | 14.49±0.22 a |
| | 2月下旬 | 11.43±0.32 b | 17.36±0.23 a | 12.24±0.38 b | 19.86±0.16 a | 10.29±0.16 b | 15.31±0.26 a |

墙温室,在12月中旬至2月下旬差距较为显著。

2.2 2种类型温室气温在10℃及20℃以上的时间

由表5可以看出,11月中旬、12月上旬农大V型温室气温在10℃以上的时间较长,与CK相比无明显差异;其他时期农大V型温室气温在10℃以上的时间明显少于砖土复合墙温室,较CK少46.66~137.34 h,差异显著。整个观测期间,农大V

型温室气温在10℃以上的时间共1274.18 h,旬均115.84 h;砖土复合墙温室共2199.33 h,旬均199.94 h。

由表5可知,11月中旬至1月上旬,以及1月下旬,农大V型温室气温在20℃以上的时间多于CK,较CK多2.17~17.17 h,差异显著;而1月中旬以及整个2月份,农大V型温室气温在20℃以上的时间少于CK,较CK少1.33~11.00 h,差异显著。

表5 2种类型温室气温在10℃及20℃以上的时间比较

| 年份 | 时间 | 10℃以上的时间/h | | 20℃以上的时间/h | |
|------|-------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| | | 农大V型温室 | CK | 农大V型温室 | CK |
| 2021 | 11月中旬 | 232.67±1.04 a | 232.33±2.02 a | 60.50±0.42 a | 43.33±0.51 b |
| | 11月下旬 | 172.67±3.21 b | 224.83±0.76 a | 59.83±0.53 a | 43.00±30.79 b |
| | 12月上旬 | 157.50±3.18 a | 145.67±3.01 a | 51.50±0.50 a | 41.67±0.68 b |
| | 12月中旬 | 114.17±2.02 b | 215.67±0.76 a | 45.67±0.32 a | 41.17±1.03 b |
| | 12月下旬 | 89.00±2.78 b | 201.00±4.54 a | 37.67±0.59 a | 33.17±0.63 b |
| 2022 | 1月上旬 | 70.33±2.93 b | 205.67±3.97 a | 27.83±0.16 a | 22.17±0.85 b |
| | 1月中旬 | 88.00±4.14 b | 212.33±2.51 a | 38.67±0.68 a | 40.00±0.72 a |
| | 1月下旬 | 50.17±2.84 b | 96.83±2.01 a | 9.50±0.43 a | 7.33±0.53 b |
| | 2月上旬 | 101.67±2.25 b | 229.00±2.18 a | 48.17±0.83 b | 55.50±0.51 a |
| | 2月中旬 | 95.33±2.51 b | 232.67±2.75 a | 27.67±0.69 b | 35.50±0.57 a |
| | 2月下旬 | 102.67±3.22 b | 203.33±0.76 a | 48.67±0.61 b | 59.67±0.42 a |

2.3 2种类型温室的昼夜温度变化

2.3.1 上午升温值、下午降温值及夜间降温值
由表6可以看出,在整个观测期间,农大V型温室的上午升温值、下午降温值及夜间降温值(12月上旬和中旬除外)均高于砖土复合墙温室。11月中旬至2月下旬,农大V型温室的上午升温值与CK相比,高2.32~11.96℃;农大V型温室的下

午降温值与CK相比,高1.43~8.69℃,差异显著;农大V型温室的夜间降温值与CK相比,低1.26~5.29℃,12月上旬和12月中旬除外。

2.3.2 昼夜增温值比较
由表7可以看出,在深冬季节,农大V型温室的昼增温值始终高于CK,农大V型温室昼均增温10.90℃,CK昼均增温7.08℃,昼均增温较CK高3.82℃,11月中旬至2月下旬,

表6 2种类型温室上午升温值、下午降温值及夜间降温值比较

| 年份 | 时间 | 上午升温值/°C | | 下午降温值/°C | | 夜间降温值/°C | |
|------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| | | 农大V型温室 | CK | 农大V型温室 | CK | 农大V型温室 | CK |
| 2021 | 11月中旬 | 15.11±0.65 a | 8.94±0.40 b | 12.58±0.38 a | 7.82±0.50 b | 2.85±0.26 a | 1.59±0.15 b |
| | 11月下旬 | 18.95±0.62 a | 10.41±0.43 b | 13.77±0.68 a | 6.50±0.67 b | 5.44±0.39 a | 3.86±0.16 b |
| | 12月上旬 | 15.58±0.81 a | 13.26±0.61 a | 9.59±0.61 a | 4.89±0.40 b | 5.67±0.47 b | 8.44±0.20 a |
| | 12月中旬 | 13.61±0.53 a | 7.20±0.52 b | 6.27±0.31 a | -2.42±0.53 b | 6.90±0.28 b | 9.16±0.36 a |
| | 12月下旬 | 14.89±0.63 a | 4.64±0.45 b | 5.98±0.41 a | -2.50±0.73 b | 9.81±0.25 a | 7.58±0.21 b |
| 2022 | 1月上旬 | 12.32±0.77 a | 4.06±0.57 b | 2.82±0.90 a | -1.64±0.13 b | 9.42±0.74 a | 5.83±0.44 b |
| | 1月中旬 | 15.56±0.51 a | 7.45±0.67 b | 4.86±0.50 a | -1.80±0.51 b | 10.80±0.37 a | 9.13±0.27 b |
| | 1月下旬 | 8.71±0.93 a | 3.55±0.54 b | 2.26±0.44 a | -0.30±0.53 b | 6.37±0.70 a | 4.00±0.44 b |
| | 2月上旬 | 21.38±0.86 a | 9.42±0.60 b | 6.97±0.44 a | -0.08±0.47 b | 14.46±0.43 a | 9.17±0.40 b |
| | 2月中旬 | 12.66±0.51 a | 4.65±0.20 b | 3.00±0.24 a | -0.36±0.88 b | 8.88±0.59 a | 5.02±0.49 b |
| | 2月下旬 | 11.64±0.37 a | 7.38±0.45 b | 4.11±0.20 a | 2.68±0.31 b | 6.89±0.33 a | 3.98±0.32 b |

注:2021年11月中旬至12月上旬上午揭苫时间为8:30左右,下午盖苫时间为17:00左右;2022年12月中旬至2022年2月下旬上午揭苫时间为9:00左右,下午盖苫时间为16:00左右。

表7 2种类型温室昼夜增温值比较

| 年份 | 时间 | 昼增温值/°C | | 夜增温值/°C | |
|------|-------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| | | 农大V型温室 | CK | 农大V型温室 | CK |
| 2021 | 11月中旬 | 7.07±0.85 a | 3.33±0.21 b | 6.80±0.56 a | 7.46±0.56 a |
| | 11月下旬 | 11.75±0.32 a | 6.01±0.37 b | 8.37±0.67 b | 11.34±0.62 a |
| | 12月上旬 | 8.94±0.57 a | 5.80±0.32 b | 8.68±0.33 a | 7.69±0.22 b |
| | 12月中旬 | 8.50±0.83 a | 5.63±0.52 b | 7.59±0.84 b | 11.45±0.39 a |
| | 12月下旬 | 11.88±0.31 a | 7.37±0.63 b | 9.42±0.58 b | 15.43±0.60 a |
| 2022 | 1月上旬 | 8.60±0.35 a | 4.96±0.34 b | 7.72±0.60 b | 12.69±0.67 a |
| | 1月中旬 | 14.99±0.57 a | 11.15±0.23 b | 9.17±0.14 b | 14.66±0.48 a |
| | 1月下旬 | 13.36±0.90 a | 10.06±0.22 b | 6.37±0.78 b | 9.36±0.26 a |
| | 2月上旬 | 13.69±0.88 a | 7.74±0.45 b | 8.84±0.75 b | 15.51±0.60 a |
| | 2月中旬 | 12.68±0.89 a | 8.96±0.75 b | 8.20±0.55 b | 14.79±0.48 a |
| | 2月下旬 | 8.48±0.33 a | 6.88±0.17 b | 7.93±0.34 b | 16.09±0.31 a |

农大V型温室的昼增温值与CK相比,高1.60~5.95°C;而在夜增温值方面,除12月上旬外,农大V型温室始终低于CK,农大V型温室夜均增温8.10°C,CK夜均增温12.41°C,夜均增温较CK低4.31°C。

2.4 晴天不同温室温度日变化比较

为比较2种温室在不同月份晴天时温度变化情况,在11月、12月上旬、1月、2月各选取一个晴天(11月17日、12月8日、1月18日、2月19日)为代表,分析晴天不同类型温室和室外的气温日变化规律。由图3~6可以看出,2种温室的温度日变化情况与室外基本相同,即白天的气温较高,而夜间气温维持在一个比较低的水平,但不同月份2种类型温室温度高低情况不同。由图3可见,11月份

晴天时2种温室夜间温度无明显差异,但农大V型温室白天温度高于CK;由图4可知,12月上旬晴天时农大V型温室夜间和上午温度略高于CK,下午温度低于CK,夜间温度2种温室差距不大;由图5~6可见,1月份、2月份晴天时农大V型温室夜间和下午温度明显低于CK。

2.5 2种类型温室番茄最早成熟时间与产量比较

由表8可知,在笔者的研究中,农大V型温室番茄最早成熟时间为2022年2月18日,砖土复合墙温室(CK)番茄最早成熟时间为2022年2月6日。农大V型温室番茄单果质量较CK低4.50g,差异不显著;单株结果数较CK少1个,差异不显著;折合667m²产量较CK少708.32kg,差异不显著。

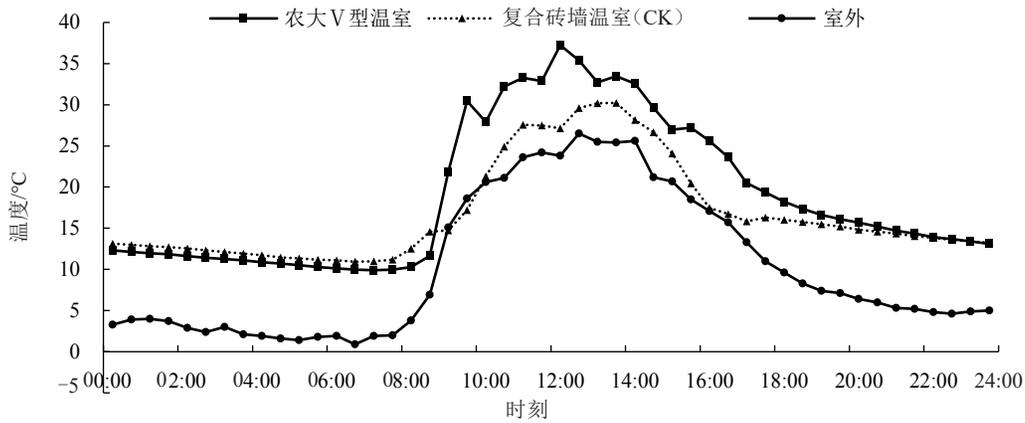


图3 11月典型晴天温室温度日变化

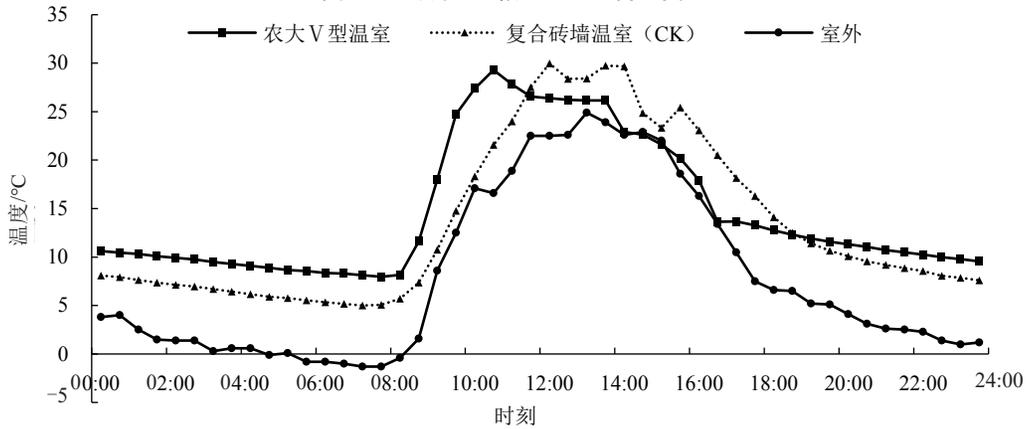


图4 12月上旬典型晴天温室温度日变化

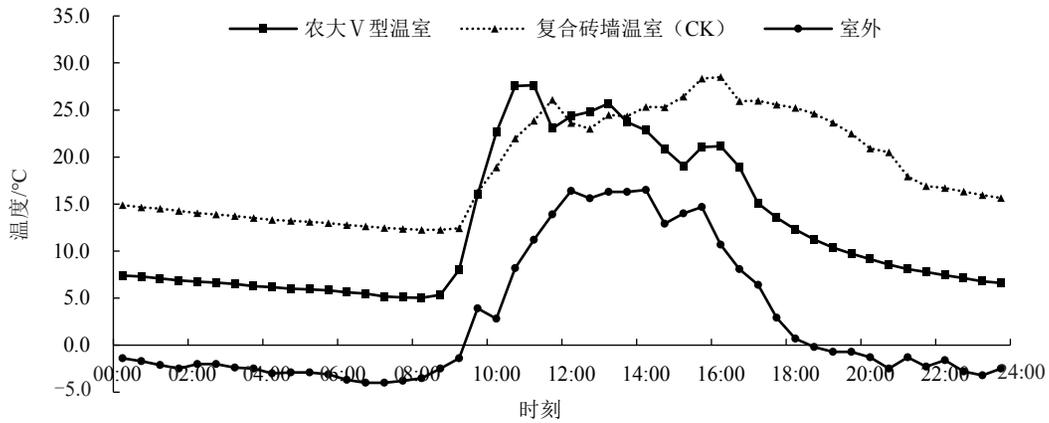


图5 1月晴天温室温度日变化

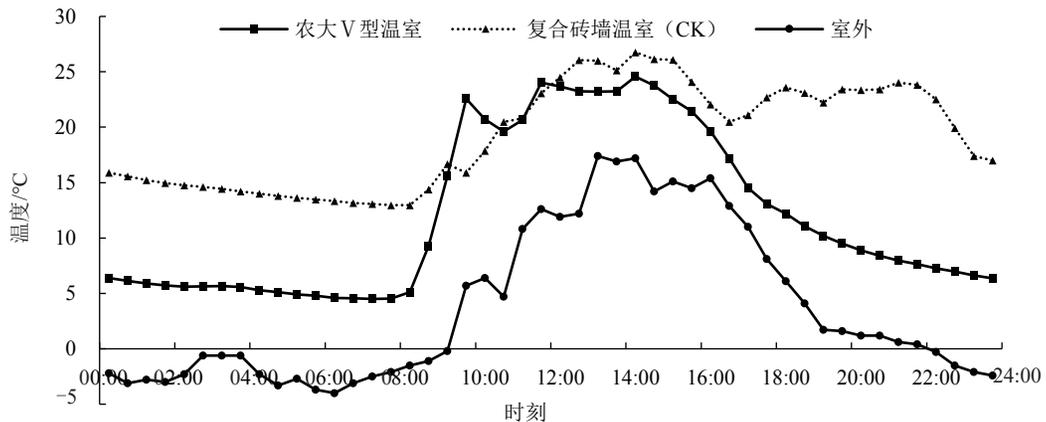


图6 2月典型晴天温室温度日变化

表8 2种类型温室对番茄最早成熟时间和果实产量的影响

| 温室 | 最早成熟时间 | 单果质量/g | 单株果数 | 折合 667 m ² 产量/kg |
|--------|------------|---------------|--------------|-----------------------------|
| 农大V型温室 | 2022年2月18日 | 185.40±3.96 a | 17.80±0.51 a | 6 604.50±243.66 a |
| CK | 2022年2月6日 | 189.90±4.72 a | 18.80±0.61 a | 7 312.82±361.20 a |

注:同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

3 讨论与结论

在一定的范围内,温室的平均气温越高,越有利于蔬菜的生长。蔬菜的生长需要温度的积累,蔬菜各器官生长发育均需要一定范围的积温,冬季的有效积温多少直接影响温室蔬菜的产量,有效积温越高越有利于产量的提高。温室的最高温度反映温室的升温能力,最低温度反映温室的保温能力,两者差值体现温室的温差大小,不同作物生长习性不同,对环境要求不同,有些作物喜大温差,而有些作物喜小温差,大温差利于喜温果菜植株生长和果实发育。同样,地温的高低影响作物的生长发育,同时也可以在一定程度上反映温室升温保温性能。栽培环境气温高于 10℃时果菜类蔬菜才能正常生长,低于 10℃果菜生长缓慢甚至停止生长,当气温达到 20℃以上的时候,果菜类蔬菜进入快速生长阶段,开始大量积累有机物。

通过对观测期间的数据进行统计分析,分别对 2 种类型温室的日平均温度、旬积温、日最高气温、日最低气温、日均气温在 10℃及 20℃以上的小时数、上午升温值、下午降温值及夜间降温值以及昼夜升温值进行比较,发现 CK 保温性能更佳,棚温变化慢,温度更为稳定,温差相对较小,适宜种植小温差管理的作物;农大V型温室相比于 CK 温度变化快,温差大,适宜种植大温差管理的作物。不同温室升温保温性能的差异最终体现在作物的生长发育情况上,而作物的最早成熟时间和产量的高低是温室性能的直观体现,通过对 2 种类型温室的番茄最早成熟时间和果实产量的比较,发现农大V型温室较 CK 番茄成熟晚 12 d 左右,单果质量和单株结果数略低,但也能够满足越冬生产需求。综合来看,农大V型日光温室在冀中南地区具备越冬生产能力,在推广中具备可行性,但仍有改进空间,后续通过一系列结构参数改进或栽培技术的改进,可进一步提升其性能,进而提升其在冀中南地区越冬生产的能力。

与农大V型温室进行对照的砖土复合墙温室在冀中南地区深冬生产能力稳定,已经过多年实际生

产检验,而在该研究过程中 2 种类型温室虽在深冬季节保温性能存在一定差异,但都能为果菜生长提供基本的生长环境,保证作物的正常生长;并且农大V型温室内部跨度大,空间大,因此更能满足时下机械化操作对温室的要求。研究认为农大V型温室在冀中南地区推广具有可行性,但由于农大V型温室跨度大,散热面积大,夜间散热较多,这影响了它的整体保温性能,导致温室夜间温度较低,因此在冀中南地区推广时建议越冬生产选择番茄尤其是樱桃番茄、西葫芦等果菜中要求温度稍低的种类;或者从茬口上进行调整,采用秋冬茬和冬春茬 1 年 2 茬生产,使生长期避开温度最低的 1 月;或者在种植过程中采取额外的增温措施(如覆盖二膜、夜间燃烧增温块等)或改善管理措施(如晚揭苫、早盖苫等),以此来提升温室的温度,保证作物的正常生长^[18-23]。

目前,从蓄热材料的发展来看,相变材料仍是发展的重点。相变材料具有较高的热能储存密度,且在相变过程中相变潜热较大,相变温度恒定,在控制体系温度方面具有优异特性^[24-26]。相变潜热值较大、无毒、无泄漏、无腐蚀等现象、且原材料来源广泛、价格便宜等^[27-28]。并且,与 CK 相比,农大V型温室还具有以下优势:(1)便于机械化操作。农大V型温室建造时预留侧门,便于大型机械进入;农大V型温室距前屋面底角 1 m 处棚架高度 1.6 m,较距前屋面底角 1 m 处棚架高度 1 m 的 CK 更加便于操作。(2)用工成本低。由于农大V型温室便于机械化操作,因此在深翻时可采用大型机械,而 CK 在靠近前屋面底角 2 m 处大型机械就不能操作,需要人工深翻,并且农大V型温室开关风口等操作均为电动控制,因此较 CK 而言人工费用更低。(3)土地利用率高(栽培面积/建造面积)高。农大V型温室土地利用率为 96.58%,而 CK 只有 88.04%。(4)昼夜温差大,有利于喜温果菜植株生长和果实发育,昼夜温差大会减少作物夜间的不必消耗,增加同化物的积累,有助于果实品质提升。(5)农大V型温室配有补光灯等设施,在连续阴天条件下可为作物补光,并且农大V型温室的设计更便于物联网系统的配置,提升温室智能化水平。(6)国

家政策大力支持。近年来国家禁止破坏耕层,农大V型温室在建造过程中无需打基层、无需取土施工,因此不会破坏耕层,而CK在建造过程中需要打基层、需要破坏耕层取土,因此在社会发展过程中,砖土复合墙温室将逐渐被淘汰,农大V型温室这一类不用砖土等建造材料的新型温室将成为新的发展方向。

综合来看,农大V型温室可满足冀中南地区果菜越冬生产需求,符合我国日光温室改建升级的发展趋势,具备在冀中南地区推广的可行性。

参考文献

- [1] 周长吉,杨振声.准确统一“日光温室”定义的商榷[J].农业工程学报,2002,18(6):200-202.
- [2] 田兴运,何斌,朱雄伟.日光温室结构优化现状与新思路探索[J].东北农业科学,2020,45(4):58-62.
- [3] 赵静,周增产,余连海,等.日光温室墙体发展现状及趋势[J].农业工程技术,2019,39(4):33-36.
- [4] 李天来.我国日光温室产业发展现状与前景[J].沈阳农业大学学报,2005,36(2):131-138.
- [5] 吴宣文,张姚,鲍恩财,等.模块化蓄热墙体日光温室研究进展[J].农业工程技术,2022,42(1):54-58.
- [6] 张纪涛,史向远,李永平,等.优化日光温室热环境与建构的工程技术研究进展[J].农学学报,2021,11(9):72-78.
- [7] 徐航,李雄彦,徐开亮.大型连栋温室的研究现状[J].建筑结构,2021,51(S2):393-398.
- [8] 王传清,李纯青,魏珉,等.不同围护结构日光温室环境性能比较[J].山东农业科学,2018,50(8):63-66.
- [9] 宋明军,赵鹏,赵树春,等.不同跨度组装式日光温室光热环境性能研究[J].中国农机化学报,2018,39(4):28-33.
- [10] 唐中祺,颀建明,郁继华,等.不同跨度日光温室升温保温性能研究[J].甘肃农业大学学报,2014,49(6):60-63.
- [11] 张立芸,徐刚毅,马承伟,等.日光温室新型墙体结构性能分析[J].沈阳农业大学学报,2006,37(3):459-462.
- [12] 李成芳,李亚灵,温祥珍.日光温室保温板外置复合墙体的温度特性[J].山西农业大学学报(自然科学版),2009,29(5):453-457.
- [13] 陈端生.日光温室采光和保温设计要点[J].新疆农机化,2004(3):51-53.
- [14] 马承伟,徐凡,赵淑梅,等.日光温室热环境分析及设计方法研究[C]//设施园艺创新与进展:2011第二届中国寿光国际设施园艺高层学术论坛论文集,2011:84-93.
- [15] 顾金寿.复合相变墙体材料在温室大棚后墙中的应用[J].农业科技与信息,2021(1):63-65.
- [16] 张勇,许英杰,陈瑜,等.新型相变材料蓄放热性能测试及在温室内的应用[J].农业工程学报,2021,37(7):218-226.
- [17] 程素香.石蜡体系相变材料北方地区温室大棚控温试验研究[D].吉林:东北电力大学,2017.
- [18] 吴秋芳.冬季温棚种果菜“四段变温”好防病[J].农家参谋,2003(11):18.
- [19] 于广建.蔬菜栽培[M].北京:中国农业科学技术出版社,2009.
- [20] 姜伟,王勇,岳玲,等.赤峰市丘陵坡地不同跨度日光温室综合性能比较分析[J].北方农业学报,2013,41(6):24-27.
- [21] 田兴运,何斌,朱雄伟.日光温室结构优化现状与新思路探索[J].东北农业科学,2020,45(4):58-62.
- [22] 戴继香,姜婷.高效节能日光温室栽培技术[J].现代园艺,2022,45(11):63-64.
- [23] 于井春.温室蔬菜栽培的环境条件控制策略[J].江西农业,2019(18):26-27.
- [24] 缪俊杰,王长宁.相变储能材料在建筑方面的研究与应用[J].建筑节能,2017,45(8):84-87.
- [25] 蒋希芝,徐磊,柳军,等.农用低温相变蓄热材料磷酸氢二钠的制备与性能研究[J].江苏农业科学,2017,45(10):199-201.
- [26] ROBAIDI A A. Development of novel polymer phase change material for heat storage application[J]. International Journal of Materials Science and Applications,2013,2(6):168-172.
- [27] 夏莉.复合相变储能材料的研制与潜热储能中热物理现象的研究[D].上海:上海交通大学,2011.
- [28] 铁生年,蒋自鹏.相变储能材料在温室大棚中应用研究进展[J].硅酸盐通报,2015,34(7):1933-1940.