

## 基于蓄热墙和内保温的钢架大棚保温模式研究

邵和平, 张宁宁, 桂勇武, 衡燕 (江苏丘陵地区南京农业科学研究所, 江苏南京 210046)

**摘要** 对采用蓄热墙、内保温及 PO 膜覆盖、EVA 膜覆盖 4 种保温模式的大棚分别进行棚内温度、湿度的定时记录分析。结果表明:蓄热墙和内保温模式不仅对夜间最低温度有较大提升,而且对全天的温度也有较大的提升作用。在受冷空气影响的低温期,温度越低,这 2 种保温模式和对照的差异越大。在缺少太阳辐射的阴天条件下,钢架大棚增加蓄热墙或内保温对全天时段内的温度均有稳定的提升作用,PO 膜覆盖和 EVA 膜覆盖的棚内温度基本一致,与之相比,蓄热墙的增温作用最明显,增加约 6 °C,内保温的增温作用次之,增加约 3 °C。4 种保温模式的棚内相对湿度变化与温度变化相一致,蓄热墙大棚的相对湿度略低,在阴天条件下,蓄热墙大棚的相对湿度在白天可以下降到 90% 以下。

**关键词** 蓄热墙;内保温;钢架大棚;温度;湿度

**中图分类号** S625 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2019)06-0211-03

**doi**:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.06.063



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Study on Heat Insulation Mode of Steel Frame Shed Based on Heat Storage Wall and Interior Thermal Insulation

SHAO He-ping, ZHANG Ning-ning, GUI Yong-wu et al (Nanjing Institute of Agricultural Sciences, Nanjing, Jiangsu 210046)

**Abstract** The temperature and humidity in the greenhouse with four kinds of thermal insulation modes, including heat storage wall, interior thermal insulation and PO film covering and EVA film covering, were recorded and analyzed respectively. The results showed that the heat storage wall and the internal heat preservation model not only increase the minimum temperature at night, but also the whole day temperature. The lower the temperature, the greater the difference between the two heat preservation modes and the control. Under the condition of lack of solar radiation, heat storage wall or interior thermal insulation in steel frame sheds has a stable lifting effect on the temperature during the whole day, and the temperature in the shed covered by PO film is basically the same as that by EVA film. The effect of heat storage wall is the most obvious, which increases about 6 °C, followed by internal heat preservation, and increases about 3 °C. The change of relative humidity in the four heat preservation modes is consistent with the change of temperature. The relative humidity of the heat storage wall shed is slightly lower, and the relative humidity of the heat storage wall shed can be reduced to less than 90% during the daytime under overcast conditions.

**Key words** Heat storage wall; Interior thermal insulation; Steel frame shed; Temperature; Humidity

南京及周边地区设施农业普遍采用 8332 型钢架大棚,这种钢管大棚建设成本较低,跨度 8 m,长度 30 m 以上,造价一般在 35~45 元/m<sup>2</sup>,骨架全部采用管径 32 mm 的热镀锌圆管装配而成,拱间距 0.8 m,顶高约 3.2 m,肩高约 1.8 m,大棚侧边共有 4 道卡槽。顶部采用 3 道纵拉杆,两边设带自锁装置的手动卷膜通风系统,卷膜高度约 1.2 m。通风处安装 25 目防虫网,上膜后每 2 根拱管用压膜绳扣压,大棚两端设置移动门。该型大棚整体结构强度和土地利用率高,缺点是保温蓄热能力不足,不能满足冬季生产需要,只能用于季节性蔬菜、花卉和果树的保护地栽培。

针对钢架大棚在实际生产中增温途径缺乏、保温效果差的现状,国内专家进行了相关研究。孙信成研究了多种大棚保温被覆盖材料的保温性能,2 月下旬 3 种保温被覆盖的棚内最低温度比棚外提高了 10.2~12.6 °C<sup>[1]</sup>。鲍恩财研究了江淮地区双层拱架塑料大棚的冬季保温效果,1 月份的棚内平均温度达 18 °C<sup>[2]</sup>。周长吉不仅研究了大跨度保温塑料大棚保温被和保温幕的形式和性能,实现了日光温室和连栋温室保温技术的综合应用<sup>[3-4]</sup>;还报道了一种装配式内保温双层结构主动储放热塑料大棚,在室外-20~-15 °C 的条件下,棚内最低温度达到了 10 °C 以上<sup>[5]</sup>。日光温室以其特有的采光、蓄热、保温性能,成为我国北方园艺作物越冬栽培的主要

设施<sup>[6]</sup>。后墙作为蓄热体,在日光温室保温方面发挥了主要作用<sup>[7]</sup>。梁建龙等<sup>[8-14]</sup>对不同墙体材料日光温室的保温性能进行研究,筛选出保温性能较好的墙体。Öztürk H H 等<sup>[15-17]</sup>研究了蓄热装置卵石床对钢架大棚和日光温室的增温效果。笔者针对南京地区面广量大的 8332 型钢架大棚的保温需要,试验建立了蓄热墙和内保温 2 种保温模式,同时选用新型高透光率 PO 膜覆盖,以 EVA 长寿膜覆盖为对照,研究分析钢架大棚的节能增温技术模式。

### 1 材料与方法

利用 4 幢东西向的 8332 型钢架大棚,分别进行蓄热墙、内保温及 PO 膜覆盖、EVA 膜覆盖的大棚保温性试验。在大棚内安装空气温湿度记录仪,对供试大棚的棚内温度、湿度进行定时记录分析,并对增温保温性能进行评价。1 号棚沿北侧棚边建设一条蓄热墙。采用钢丝石笼网箱和当地易得的青石块构筑,石笼网箱的规格为长 1.0 m、宽 0.4 m、高 0.6 m,堆码 2 层,30 m 长的大棚约可堆码石料 14.4 m<sup>3</sup>。大棚外膜采用三菱树脂农膜公司的“E100”PO 膜覆盖,厚度 0.10 mm。2 号棚增设内保温,即在拱杆下方安装内拱杆,间隔 4 m,在内拱杆两侧配套电动卷膜器,安装开闭活动型内保温,冬季 1 月份全天关闭保温;大棚外膜也采用三菱树脂“E100”PO 膜覆盖。3 号棚大棚外膜采用三菱树脂“E120”PO 膜覆盖,厚度 0.12 mm;PO 膜具有优异的透光性,透光率达到 83%,而且强度高,柔韧性好,是一种全新的大棚农膜。4 号棚采用米可多 EVA 长寿膜覆盖,厚度 0.08 mm。

钢架大棚的 4 种不同保温模式分别标记为蓄热墙(T<sub>1</sub>)、

**基金项目** 江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(16)1002]。

**作者简介** 邵和平(1967—),男,江苏宜兴人,硕士,副研究员,从事观赏植物品种资源的收集创新、繁育及温室栽培研究。

**收稿日期** 2018-11-14

内保温( $T_2$ )、PO膜覆盖( $T_3$ )和EVA膜覆盖( $T_4$ )。棚内温湿度数据每30 min记录1次。提取2018年1月份的数据,对每日的日最低温、日最高温、日平均温进行统计分析,单日温度和湿度变化采用24个时段的平均值。

## 2 结果与分析

**2.1 4种不同保温模式棚内的日最低温变化** 由图1可以看出, $T_1$ 的日最低温最高,其次是 $T_2$ ,无保温技术的 $T_3$ 和 $T_4$ 均明显低于 $T_1$ 和 $T_2$ ,两者差异不大。在温度波动剧烈的强冷空气影响期间,增加保温技术的钢架大棚保温效果更明显,如在月最低温出现的1月12日, $T_1$ 的日最低温分别比 $T_3$ 和 $T_4$ 提高5.4和4.6℃, $T_2$ 分别比 $T_3$ 和 $T_4$ 提高3.9和3.1℃。在月次低温出现的1月30日, $T_1$ 的日最低温比 $T_3$ 和 $T_4$ 提高5.6℃, $T_2$ 的日最低温比 $T_3$ 和 $T_4$ 提高2.9℃, $T_3$ 和 $T_4$ 基本一致。说明钢架大棚增加蓄热墙或内保温措施后夜间保温性能有明显提升。

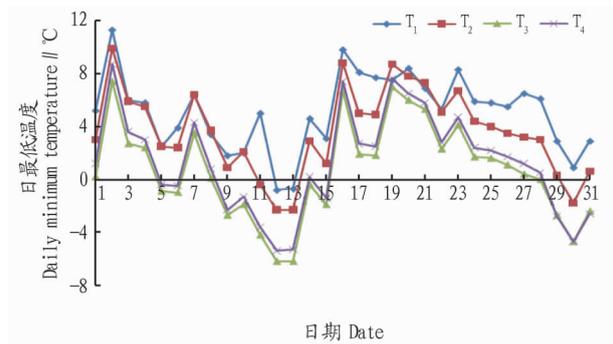


图1 钢架大棚4种不同保温模式1月份的日最低温变化

Fig.1 Daily minimum temperature variation of four different thermal insulation modes in steel frame sheds in January

图2为4种不同保温模式晴天的单日温度变化。由图2可见,从0:00开始,4种保温模式下温度均逐渐下降,但 $T_1$ 模式下下降幅度较平缓, $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 模式下降趋势基本一致。6:00~7:00,棚内温度达到一天中的最低值,温度由高到低分别是 $T_1$ 为-0.60℃, $T_2$ 为-2.20℃, $T_3$ 为-6.10℃, $T_4$ 为-5.25℃。7:00后,随着太阳辐射增强,棚内温度迅速上升,12:30~14:00,棚内温度达到一天中的最高值,温度由高到低分别是 $T_2$ 为35.95℃, $T_1$ 为34.40℃, $T_3$ 为30.35℃, $T_4$ 为28.5℃。15:00后,温度开始迅速回落。说明蓄热墙和内保温模式不仅对夜间最低温度有较大提升,而且对全天的温度也有较大的提升作用。

**2.2 4种不同保温模式的日最高温** 由图3可以看出,增加保温技术的 $T_1$ 和 $T_2$ 均高于 $T_3$ 和 $T_4$ ,而且在昼温较低的阴雨天气,这种效果更加明显。如在最低昼温出现的1月27日, $T_1$ 的日最高温分别比 $T_3$ 和 $T_4$ 提高6.7和6.4℃, $T_2$ 的日最高温分别比 $T_3$ 和 $T_4$ 提高3.5和3.2℃。说明钢架大棚增加保温措施对光照不足期的棚内温度也有明显提升。

由图4可以看出,6:00~7:00,棚内温度最低,温度由高到低分别是 $T_1$ 为6.95℃, $T_2$ 为3.30℃, $T_4$ 为1.25℃, $T_3$ 为0.45℃。7:00后温度逐渐上升,12:00~13:00温度达到最高值,温度由高到低分别是 $T_1$ 为10.20℃, $T_2$ 为6.95℃, $T_4$ 为

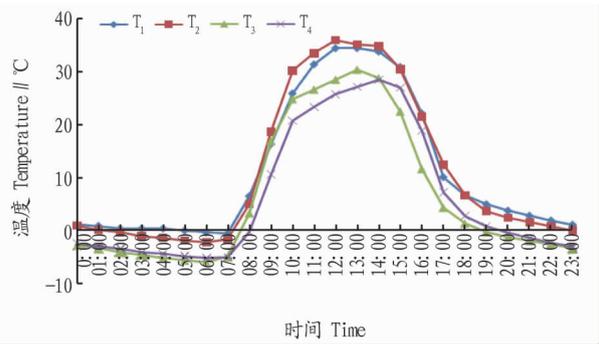


图2 钢架大棚4种不同保温模式晴天的单日温度变化

Fig.2 Daily temperature variation of four different thermal insulation modes of steel frame shed on sunny days

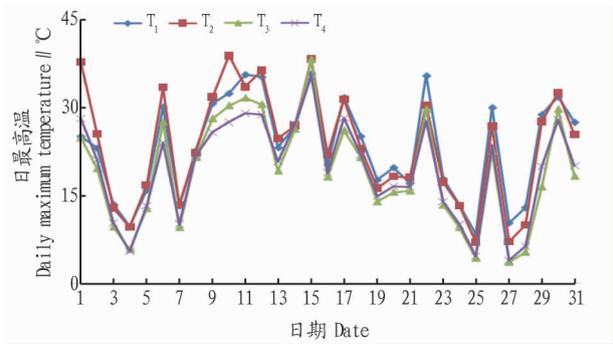


图3 钢架大棚4种不同保温模式1月份的日最高温变化

Fig.3 Daily maximum temperature variation of four different thermal insulation modes in steel frame sheds in January

3.80℃, $T_3$ 为3.60℃。随后温度逐渐下降,下降趋势基本一致。说明在缺少太阳辐射的条件下,钢架大棚增加蓄热墙或内保温对全天时段内的温度均有稳定的提升作用。其中,蓄热墙的增温作用最明显,增加约6℃;内保温的增温作用次之,增加约3℃。

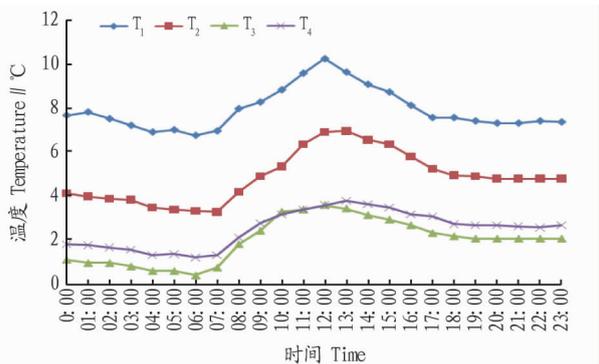


图4 钢架大棚4种不同保温模式阴天的单日温度变化

Fig.4 Daily temperature variation of four different thermal insulation modes of steel frame shed on cloudy days

**2.3 4种不同保温模式棚内的日平均温** 通过计算钢架大棚内的日平均温度,可以清晰发现4种不同保温模式间的差异。由图5可见,增加保温技术的 $T_1$ 、 $T_2$ 模式的日平均温始终高于无保温技术的 $T_3$ 、 $T_4$ 模式, $T_1$ 和 $T_2$ 模式1月上旬温度曲线基本重合,差异不大。1月下旬差异增大, $T_1$ 的增温作用比 $T_2$ 更强。 $T_3$ 和 $T_4$ 的温度曲线基本重合,差异不大。

说明随着低温期的持续,蓄热墙的增温保温作用比内保温更明显。

**2.4 4种不同保温模式的相对湿度** 4种保温模式的棚内相对湿度(RH)也有差异。由图6可见,在晴天条件下,4种保温模式的单日RH变化均呈现典型的“U”型曲线,变化趋势基本一致。夜间棚内RH基本呈水平直线,其中 $T_1$ 最低,约90%,其他3种模式均在90%以上。由图7可见,8:00后随着棚内温度上升,RH迅速下降。10:00后达到40%~60%的较低水平, $T_1$ 、 $T_2$ 的最低值在40%左右, $T_3$ 的最低值在50%左右, $T_4$ 的最低值在60%左右。15:00后随着棚内温度下降,RH又迅速回升。在阴天条件下,4种保温模式的RH差异较大。 $T_1$ 由于蓄热墙的增温作用,夜间RH在90%左右,白天逐渐下降,最低值在85%左右。 $T_2$ 、 $T_3$ 和 $T_4$ 的RH基本稳定,白天的下降趋势不明显。 $T_2$ 在92%~93%, $T_3$ 和 $T_4$ 在96%左右。

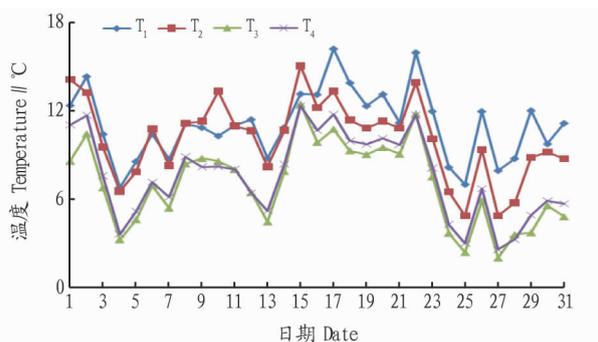


图5 钢架大棚4种不同保温模式1月份的日平均温度变化

Fig.5 Daily average temperature variation of four different thermal insulation modes in steel frame sheds in January

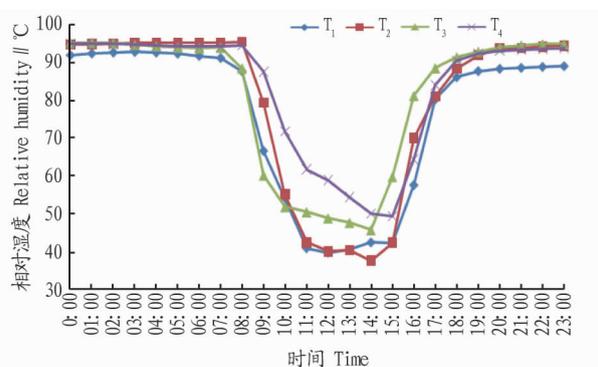


图6 4种不同保温模式下晴天的单日相对湿度变化

Fig.6 Daily relative humidity variation in sunny days under four different heat preservation modes

### 3 结论与讨论

钢架大棚增加蓄热墙或内保温的保温措施后,棚内温度有明显提升。特别是在太阳辐射缺乏的夜间和阴雨天,增温效果尤其明显。在晴天条件下,蓄热墙和内保温对全天的温度均起到较大的提升作用,昼间的棚内高温也为夜间的增温效果蓄积了热能。在同样的太阳辐射和覆盖材料下,蓄热墙大棚在岩石吸收热量的情况下,棚内最高温仍比PO膜大棚

高,可能是由于建在大棚北侧的蓄热墙对太阳辐射有一定的反射作用,从而使地表辐射增强。在阴天条件下,蓄热墙和内保温对温度的维持作用更明显,对全天温度均有稳定的提升作用,蓄热墙增温约6°C,内保温增温约3°C。4种保温模式的棚内RH变化与温度变化相一致,在晴天条件下,90%以上的高湿度均出现在夜间低温期。在阴天条件下,由于棚内的连续低温,PO膜大棚和EVA膜大棚湿度均达95%以上,只有蓄热墙大棚的RH在白天可以下降到90%以下,有利于冬季作物的病害控制。

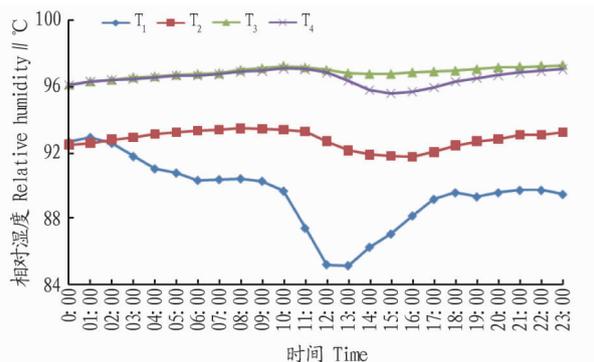


图7 4种不同保温模式下阴天的单日相对湿度变化

Fig.7 Daily relative humidity variation in cloudy days under four different heat preservation modes

### 参考文献

- [1] 孙信成.大棚保温材料的保温性能及应用效果研究[D].泰安:山东农业大学,2015.
- [2] 鲍恩财.江淮地区双层拱架塑料大棚冬季保温效果及实验研究[D].合肥:安徽农业大学,2015.
- [3] 周长吉.周博士考察拾零(七十五)大跨度保温塑料大棚的实践与创新(上)[J].农业工程技术,2017(34):20-27.
- [4] 周长吉.周博士考察拾零(七十六)大跨度保温塑料大棚的实践与创新(下)[J].农业工程技术,2018(1):38-43.
- [5] 周长吉.周博士考察拾零(七十八)一种装配式内保温双层结构主动储放热塑料大棚[J].农业工程技术,2018(7):42-48.
- [6] 王伟,张京社,王引斌.我国日光温室墙体结构及性能研究进展[J].江西农业科学,2015,43(4):496-498,504.
- [7] 张传坤,魏珉,刘福胜,等.日光温室后墙夜间非稳态导热特性研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(2):144-154.
- [8] 梁建龙,王旭峰.阿拉尔垦区日光温室墙体的保温设计[J].塔里木大学学报,2002,14(1):29-30.
- [9] 柴立龙,马承伟,籍秀红,等.北京地区日光温室节能材料使用现状及性能分析[J].农机化研究,2007(8):17-21.
- [10] 樊平声,冯伟民,卢昱宇,等.不同墙体日光温室保温性能研究[J].山东农业科学,2014,26(3):25-27.
- [11] 曲继松,张丽娟,冯海萍,等.宁夏干旱风沙区夯土砖土复合墙体日光温室保温性能初步研究[J].西北农业学报,2010,19(1):158-163.
- [12] 李小芳,陈青云.墙体材料及其组合对日光温室墙体保温性能的影响[J].中国生态农业学报,2006,14(4):185-189.
- [13] 佟国红,白义奎,赵荣飞,等.日光温室复合墙与土墙热性能对比分析[J].沈阳农业大学学报,2011,42(6):718-722.
- [14] 张洁,邹志荣,张勇,等.新型砾石蓄热墙体日光温室性能初探[J].北方园艺,2016,40(2):46-50.
- [15] ÖZTÜRK H H, BA ŞÇETİN ÇELİK A. Energy and exergy efficiency of a packed-bed heat storage unit for greenhouse heating[J]. Biosystems engineering, 2003, 86(2): 231-245.
- [16] KÜRKLÜ A, BILGIN S, ÖZKAN B. A study on the solar energy storing rock-bed to heat a polyethylene tunnel type greenhouse[J]. Renewable energy, 2003, 28(5): 683-697.
- [17] 张峰,张林华,刘文波,等.带地下卵石床蓄热装置的日光温室增温实验研究[J].可再生能源,2009,27(6):7-9.