

## 下沉式大跨度大棚型温室的设计及应用研究

韩丽蓉<sup>1</sup> 王宏丽<sup>1</sup> 李凯<sup>2\*</sup> 杨小龙<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要** 为更好的适应生产需要,提高经济效益,对日光温室结构进行技术改造。设计建造了无后墙的双屋面拱形钢架结构的下沉式大跨度大棚型温室,以普通日光温室为对照,对温湿度、建筑成本及经济效益进行比较分析。结果表明:无论晴天还是阴天,下沉式大跨度大棚型温室的气温和地温均高于对照温室,7 d 中 2 个温室的最高气温相差 2.8 ℃,最低气温相差 4.1 ℃,前者的最低地温较对照的最高地温还高 0.6 ℃。2 个温室相对湿度相差不大。下沉式大跨度大棚型温室的建筑成本和收益分别为 220.4 和 72.2 元/m<sup>2</sup>,建筑成本比对照温室减少 65.1 元/m<sup>2</sup>,且收益增加了 11.1 元/m<sup>2</sup>。下沉式大跨度大棚型温室是一种保温性能好,低投入高产出的温室类型,具有良好的应用前景。

**关键词** 温室;下沉式;温度;相对湿度;建筑成本

中图分类号 S 625.1

文章编号 1007-4333(2014)04-0161-05

文献标志码 A

## Design and application study on the sinking and great-span greenhouse without back wall

HAN Li-rong<sup>1</sup>, WANG Hong-li<sup>1</sup>, LI Kai<sup>2\*</sup>, YANG Xiao-long<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forest University, Yangling 712100, China;

2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agriculture and Forest University, Yangling 712100, China)

**Abstract** In order to improve production and enhance profits, a double roofing, steel frame, sinking, great-span greenhouse without back wall was designed and built. Comparing to common greenhouse by considering temperature, relative humidity, construction costs and profits, the air temperature and ground temperature, whenever sunny day or not, were much higher of the new designed greenhouse than the ordinary control greenhouse. The lowest air temperature of new greenhouse was 4.1 ℃ higher and the highest higher air temperature was 2.8 ℃ higher than the latter on 7 consecutive days. The lowest ground temperature in the new greenhouse was 0.6 ℃ higher than the highest ground temperature in the control greenhouse on 7 consecutive days. Relative humidity of the two greenhouses had little difference. The construction costs and profits of this new greenhouse were 220.4 and 72.2 yuan/m<sup>2</sup>. The construction costs was 65.1 yuan/m<sup>2</sup> less than the common greenhouse and the profits was 11.1 yuan/m<sup>2</sup> more than the latter. So sinking, great-span greenhouse without back wall is a kind of lower cost and better heat preservation greenhouse type, which has good application prospect.

**Key words** greenhouse; sinking; temperature; relative humidity; construction costs

收稿日期: 2013-11-06

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303002)

第一作者: 韩丽蓉, 硕士研究生, E-mail: 332735843@qq.com

通讯作者: 李凯, 副教授, 主要从事建筑新材料及经济研究, E-mail: likaixn@126.com

我国北方地区目前蔬菜设施主要为带后墙的日光温室、塑料大棚。塑料大棚光照条件较好,但保温性能较差,冬季难以保证蔬菜生产的条件;日光温室虽保温性能较好,但在春夏秋生产旺季,由于后墙的遮挡,温室内光照较差,严重影响温室的生产能力<sup>[1-2]</sup>。为此已有研究<sup>[1-3]</sup>设计建造了无墙体结构的大棚型温室和改良型塑料大棚,改善了春夏季温室的光照条件,但冬季温室的保温性能较差。在呼和浩特室外最低气温达 $-17.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,大棚型温室为 $-1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,较普通日光温室低 $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[1-2]</sup>。在石家庄外界气温最低达 $-8.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,改良型塑料大棚为 $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。改进后的温室较好的满足了春夏秋生产季节喜温类蔬菜的生长,但冬季只能进行少数耐寒性叶菜类蔬菜的生产,无法满足附加值较高的果菜类蔬菜的生产。

随着陕西榆林地区近年油煤气资源的大力开发,果蔬产品的需求量急剧增长,设施种植面积也随之快速扩大。当地普遍使用的日光温室墙体结构为“砖墙+聚苯板+砖墙”的日光温室(简称温室2)。生产实践表明,该类温室存在室内操作空间小,土地利用率低,结构成本高等弊端。为更好地适应生产需要,本课题组和陕西省榆林市农科院合作攻关,借鉴无墙体结构的大棚型温室的思想,对其进行保温优化改造,设计出下沉式大跨度大棚型温室(简称温室1),初步应用效果良好。

## 1 温室设计

已有研究设计的大棚型温室是无墙体结构,虽然具有节省墙体材料,提高建造速度,土地利用率高,便于一年多季灵活生产等特点,但其保温蓄热性

能差成为其应用的瓶颈。

根据近年研究<sup>[4-7]</sup>,苯板置于墙体中间的温室保温性不如苯板外置的墙体的温室保温性好,因此,本研究将日光温室山墙的结构选为内部是砖墙,外部是聚苯板的异质复合墙体<sup>[7]</sup>,以更好地发挥墙体建材的蓄热性能。

与此同时,日光温室采用下沉式,不仅可以增加室内可操作空间,增加土地的空间利用率<sup>[8]</sup>,还有利于冬季保温<sup>[9-12]</sup>。另外,有研究表明,一般地跨度越大,土地利用率高(当跨度达到 $12\text{ m}$ 时,可达到 $80\%$ ),而且内部空间的增大还使温室本身抵御外界气候变化的能力增强<sup>[13]</sup>。跨度增大还适宜于机械化作业,有利于降低劳动强度<sup>[14]</sup>。

前后屋面均采用透光性能好的聚乙烯薄膜,解决了春夏秋季后墙的遮挡问题,冬季为加强保温后屋面可设计覆盖两层保温被,全天不揭开。后屋面的双层保温被会产生新阴影,但阴影出现在靠近后屋面 $1\text{ m}$ 左右的地方。因此在该处依次设计有 $0.5\text{ m}$ 的种植槽和 $0.6\text{ m}$ 的过道,种植槽里种耐阴耐寒的叶菜类蔬菜。新型温室增加的山墙面积也会造成部分遮阴,但在温室的建造长度为 $50\sim 70\text{ m}$ 时,其对生产的影响甚微。

基于以上思想,设计的新型温室于2012年建于榆林市农科院现代农业科技示范园内(图1(a))。该温室是大跨度双屋面全框架结构,框架采用热镀锌钢管焊接而成。温室内整体下沉 $0.5\text{ m}$ ,其山墙的墙体结构为 $0.24\text{ m}$ 红砖+ $0.1\text{ m}$ 空气层+ $0.24\text{ m}$ 红砖+ $0.1\text{ m}$ 聚苯板。对照温室为当地普遍采用的内夹苯板温室,其墙体结构为 $0.37\text{ m}$ 红砖+ $0.2\text{ m}$ 聚苯板+ $0.24\text{ m}$ 红砖(图1(b))。

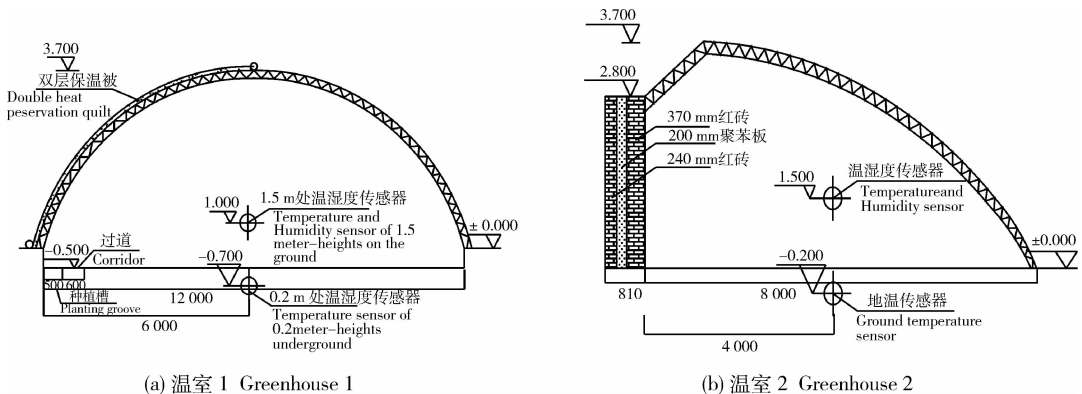


图1 温室1(新型温室)和温室2(对照)的结构剖面图及测点分布

Fig.1 Section drawing of structure and measuring points in greenhouse 1 and greenhouse 2

## 2 温室热性能研究

### 2.1 材料与方法

#### 2.1.1 对照温室的选用

本研究采用当地普遍使用的温室 2 作为对照温室,其墙体结构为 0.37 m 红砖+0.2 m 聚苯板+0.24 m 红砖,前屋面塑料薄膜与温室 1 相同。温室主要结构参数见表 1。

表 1 2 个温室的主要结构参数

Table 1 The main structure parameters of the two greenhouses

温室类型 Type of greenhouse	长度/m Length	跨度/m Span	脊高/m Height of ridge	后墙高/m Height of back wall	下挖深度/m Depth of sinking	前屋面角/(°) Lighting surface angels	后屋面角/(°) Elevation of back-off
温室 1 Greenhouse 1	60	12	4.2	—	0.5	34	—
温室 2 Greenhouse 2	90	8	3.7	2.8	—	29	37

2 个温室的保温被均用电动卷帘机同一时间起放,所种作物均为草莓。在两温室内正中央位置的草莓冠层上方(室内地上 1.5 m 处)布置温湿度测试探头,地温探头埋于温湿度探头附近的地下 0.2 m 处,测试点见图 1,室外测试点位于温室 1 南侧,连续测试温室内外温湿度变化,仪器自动记录数据,测试间隔为 5 min。测试时间为 2012-12-15—2013-02-28。

### 2.2 结果分析

#### 2.2.1 不同天气条件下温室内外温湿度变化

温度是影响作物生长发育最重要的环境因子之一,影响作物体内的一切生理变化<sup>[10]</sup>。冬季温度较低的地区,温室内容易出现低温冻害,而北方冬季一月份为一年中最冷的月份,为揭示日光温室内热环境随室外气温的变化关系,必须对不同天气条件下温室内外温湿度的日变化进行分析<sup>[15]</sup>。根据测试期间气象记录,2013-01-13—01-19 连续 7 d 内既有晴天(2013-01-13, 01-15, 01-16, 01-17)、多云天(2013-01-14, 01-18),还有阴天(2013-01-19),因此选此 7 d 的温湿度数据为代表,分析生产期间温室内的温湿度变化。

1)不同天气条件下温室内外气温变化。2 个温室的气温变化趋势基本一致,均为揭保温被前,气温降到最低;打开保温被后,气温迅速升高;晴天通风后,温室内气温出现小幅波动,盖上保温被,气温逐渐呈下降趋势(图 2)。但温室 1 的气温均略高于温

#### 2.1.2 试验仪器及测试方法

试验所用仪器为哈尔滨物格电子技术有限公司生产的 PDE-R10 四路长期数据记录仪,包括温湿度传感器探头、光照度、土壤温度传感器探头,测量范围为温度-50~120 ℃,湿度为 0~99%,光照度为 0~200 klx,测量精度为温度±0.5 ℃,湿度±3%,光照度±7%。

室 2。温室 1 的最高气温为 33.7 ℃,最低气温为 5.9 ℃,温室 2 的最高气温为 30.9 ℃,最低气温为 1.8 ℃。2 个温室最高气温相差 2.8 ℃,最低气温相差 4.1 ℃。7 d 中温室 1 的最低气温变化范围为 5.9~8.1 ℃,温室 2 的最低气温变化范围为 1.8~5.0 ℃。可以看出温室 1 最低气温的下限值比温室 2 最低气温的上限值还要高 0.9 ℃。

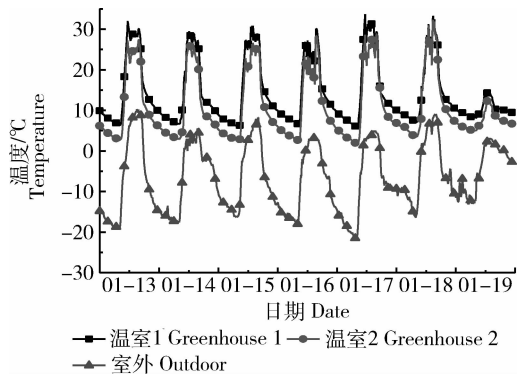


图 2 连续 7 d 2 个温室的气温日变化曲线 (2013-01-13—01-19)

Fig. 2 Temperature diurnal variation of the two greenhouses on seven consecutive days (13<sup>th</sup>—19<sup>th</sup>, January, 2013)

2)不同天气条件下的相对湿度日变化。揭保温被前,温室 1 的湿度略高于温室 2,基本接近饱和状态;随着保温被的揭开和通风口的打开,相对湿度迅

速下降,午后达到最小值;之后湿度开始回升,多云天午后相对湿度上下波动,出现2个最低湿度,然后又逐渐升高,且多云天相对湿度高于晴天温室的相对湿度(图3)。7 d中温室1的相对湿度为26%~100%,而温室2的相对湿度为23%~100%。晴天多云天温室1的平均相对湿度最高为83.8%,温室2为85.4%,前者略低于后者;而阴天温室1的平均相对湿度为94.4%,温室2为93.8%,前者略高于后者。由此可见,不同天气条件下2个温室的相对湿度差别较小,这与王明喜等<sup>[2]</sup>的试验结果一致。

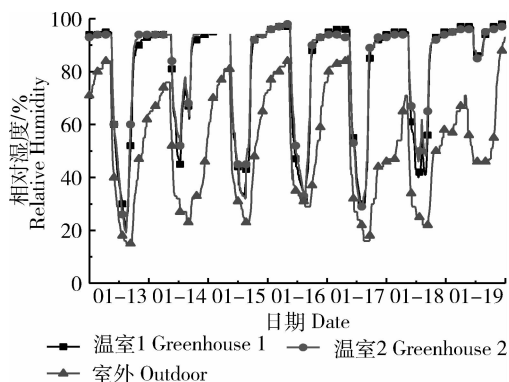


图3 连续7 d 2个温室的相对湿度日变化曲线 (2013-01-13—01-19)

Fig. 3 Relative humidity diurnal variation of the two greenhouses on seven consecutive days (13<sup>th</sup>—19<sup>th</sup>, January, 2013)

3)不同天气条件下地温日变化。温室内外地温变化趋势一致,呈现先降后升再降的变化规律(图4)。2个温室7 d内地温均在上午11:30左右(温室打

开通风口之后)降至最低,之后开始回升;在19:30左右达到最大值,直到次日0:00,基本维持在此温度上。温室1的地温波动范围为14.2~17.8℃,温室2的地温变化范围为10.3~13.6℃。可以看出,温室1的最低地温比温室2的最高地温还要高0.6℃。温室1的最高地温出现在2013-01-13夜间19:30左右,温室2最高地温出现在01-18夜间19:30左右,而2个温室最低地温均出现在01-15白天11:30左右。7 d温室1的平均地温为16.0℃,温室2为11.8℃,前者比后者高4.2℃。

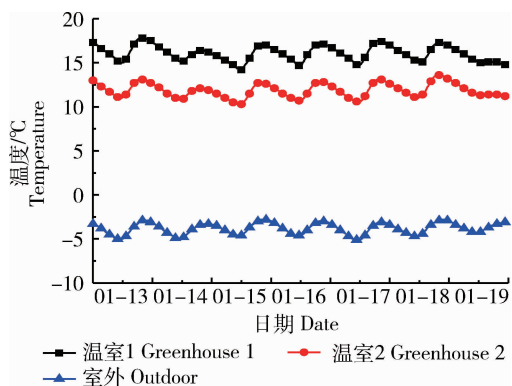


图4 连续7 d 2个温室的地温日变化曲线 (2013-01-13—01-19)

Fig. 4 Ground temperature diurnal variation of the two greenhouses on seven consecutive days (13<sup>th</sup>—19<sup>th</sup>, January, 2013)

### 2.2.2 温室建造成本及收益

经统计分析,温室1和2的建造工料及人工成本预算见表2,建造成本和收益见表3。温室1除东

表2 2个日光温室的建造工料及人工成本预算

Table 2 Budget of materials and labor costs of the two greenhouses 万元

名称 Name	温室1 Greenhouse 1	温室2 Greenhouse 2
温室骨架 Skeleton structure of greenhouse	4.46	4.40
压膜线 Film pressing rope	0.12	0.09
塑料薄膜 Plastic film	0.55	0.48
保温被 Thermal insulating quilt	3.90	2.53
砖墙 Brick wall	1.18	4.66
用工费 Labor costs	2.23	4.17
防虫网、卷膜卷被系统 Insect nets and rolling film system and voluming insulating system	1.02	0.97
其他费用 Other costs	2.41	3.26
合计 Total	15.87	20.56

西山墙和缓冲间外,其余部分采用钢架结构,增加了钢材的用量,冬季还需增加温室后屋面加盖的两层保温被费用。但节省了建造砖墙的部分人工费和材料费。从表2可以看出,温室1的钢架结构等费用比温室2高1.58万元,但建造砖墙的费用却少3.48万元,用工费少1.94万元,其他费用少0.85万元。温室1的总建造成本比温室2少4.69万元,温室1投资220.4元/m<sup>2</sup>,温室2为285.5元/m<sup>2</sup>,即温室1每m<sup>2</sup>比温室2少投资65.1元。

2个温室的草莓植株均采用高垄栽培模式。垄带宽1.0m,其中垄面宽0.5m,垄沟宽0.5m,垄高

0.2~0.25m。2012年8月中旬进行打孔定植,每垄栽2行,株距0.15~0.2m。10月中旬开始盖保温被升温,12月下旬至翌年1月开始收获,春节期间为草莓集中供应期,5月底收获结束。温室1草莓的总产量约为1300kg,温室2约为1100kg,温室1比温室2增产18.2%。按市场价平均40元/kg计算,温室1总收益52000元,每m<sup>2</sup>收益72.2元;温室2总收益44000元,每m<sup>2</sup>收益60.0元,即温室1每m<sup>2</sup>收益较温室2增长了20.3%。综上,温室1建造成本低,产量高,收益好,应用效果优于温室2。

表3 2个日光温室的建造成本和收益

Table 3 Construction costs and Profit of the two greenhouses

温室类型 Type of greenhouse	建筑面积/m <sup>2</sup> Construction area	建筑成本/元 Construction cost	收益/元 Profit	每m <sup>2</sup> 投资/元 Investment	每m <sup>2</sup> 收益/元 Profit
温室1 Greenhouse1	720	158 700	52 000	220.4	72.2
温室2 Greenhouse2	720	205 600	44 000	285.5	61.1

### 3 结 论

本课题组设计建造的下沉式大跨度大棚型温室,解决了春夏秋冬后墙的遮挡问题,提高了温室冬季的保温性能;同时降低了温室成本,后屋面覆盖的2层保温被使温室的温度管理更加灵活,更好地满足了不同季节生产的需要。试验结果表明:1)无论晴天还是阴天,温室1的气温和地温均高于温室2,7d中2个温室的最高气温相差2.8℃,最低气温相差4.1℃;而且温室1的最低地温比对照的最高地温还高0.6℃,而2个温室的相对湿度差别较小。相对湿度和午间气温高于对照温室的试验结果与王明喜<sup>[1]</sup>研究结果一致;2)经测算,温室1每m<sup>2</sup>投资220.4元,比温室2减少65.1元。在种植同种草莓时,每m<sup>2</sup>比温室2多收益11.1元。可见新温室的成本低收益好,而且其钢架结构抵御外界恶劣环境的能力强。因此,综合保温性、建筑成本、经济效益诸方面,新型温室是一种有推广价值的温室类型。

### 参 考 文 献

[1] 崔世茂,陈源闽,霍秀文,等. 大棚型日光温室设计及光效应初探[J]. 农业工程学报, 2005, 21(S): 214-217  
 [2] 王明喜,崔世茂,王红彬,等. 大棚型日光温室光照、温度及湿度等性能的初步研究[J]. 农业工程技术: 温室园艺, 2008(05):

19-21  
 [3] 鄯丽娟,韩建会,薛金祥. 改良型塑料大棚的设计及温度初探[J]. 中国农学通报, 2010, 26(01): 284-287  
 [4] 刘淑梅,薛庆禹,李春,等. 天津地区不同墙体处理对日光温室保温性能影响初探[J]. 中国农学通报, 2012, 28(35): 170-179  
 [5] 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): 53-57  
 [6] 陈端生,郑海山,刘步洲. 日光温室气象环境综合研究: I. 墙体、覆盖物热效应研究初探[J]. 农业工程学报, 1990, 6(2): 77-81  
 [7] 佟国红,王铁良,白义奎,等. 日光温室墙体传热特性的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 186-189  
 [8] 王伟峰,杨计贵. 厚土墙下凹式日光节能温室与普通温室结构特点和性能比较[J]. 农业技术与装备, 2010(11): 41-43  
 [9] 陈青云. 日光温室的实践与理论[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2008, 26(10): 343-350  
 [10] 王倩,张海涛,刘旭,等. 下沉式日光温室室内温光环境分析[J]. 中国农业气象, 2013, 34(1): 37-42  
 [11] 王晓冬,张丽,王国强,等. 半地下式日光温室对地温的影响[J]. 新疆农机化, 2007(4): 36-37  
 [12] 张峰. 下沉式日光温室温度环境模拟与实验研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2009  
 [13] 张泽民,王双喜. 大跨度无支柱日光节能温室性能的研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2007, 28(3): 11-14  
 [14] 李建明. 大跨度双层内保温塑料大棚的特点与应用[J]. 西北园艺, 2012(2): 6-7  
 [15] 徐凡,马承伟,刘洋,等. 天津一种典型砖墙日光温室热环境现状的测试与分析[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(4): 188-195

责任编辑: 刘迎春