

# 日光温室土质墙体温度与吸放热量测试分析

何 芬<sup>1,2</sup>, 周长吉<sup>1,2</sup>

(1. 农业部规划设计研究院, 北京 100125; 2. 农业部农业设施结构工程重点实验室, 北京 100125)

**摘 要:**以青海西宁地区典型日光温室为研究对象, 冬季最冷时段测试和分析了该类型温室梯形土质墙体温度分布及内外表面热通量, 研究了日光温室墙体温度变化规律及墙体吸放热特征, 以期合理分析评价墙体保温蓄热性能及构建墙体传热模型提供理论依据。结果表明: 墙体在垂直方向温度变化差异不大; 厚度方向上墙体内表面测点温度波动较大, 晴天日变化幅度达到 26.07℃, 阴天为 8.6~11.6℃。墙体在晴天吸收的总热量为 687.84 W/m<sup>2</sup>, 阴 1 d、阴 2 d 以释放热量为主, 向室内释放的总热量分别为 640.59 W/m<sup>2</sup> 和 1 106.99 W/m<sup>2</sup>; 墙体外表面在典型天气条件下均向室外释放热量, 分别为 984.70、1 785.13、1 866.55 W/m<sup>2</sup>。

**关键词:**日光温室; 墙体温度; 热通量

**中图分类号:**S 625.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)10-0058-04

日光温室以其特殊的围护结构, 能够充分利用太阳能、最大限度地保存室内热量从而有效地节省能源, 基本实现越冬生产而在我国迅速发展。日光温室墙体作为主要的蓄热体<sup>[1]</sup>, 具有有效防止室内热量向室外传递的良好保温作用, 白天其吸收和蓄积太阳辐射, 夜间又可将蓄积的太阳能释放到温室中, 以维持室内达到一定温度, 从而使作物正常生长。

目前, 关于日光温室墙体的研究大部分都是对复合墙体的材料筛选排序<sup>[2-5]</sup>、厚度的确定<sup>[6-8]</sup>、传热模型构建<sup>[9-12]</sup>等, 对已成为西北地区主流温室类型的土质墙体日光温室的理论研究和环境测试均较少。土质墙体保温蓄热性能好, 而且能够充分利用土地资源, 掌握土质墙体内温度和热通量的状况及其变化规律, 对于日光温室墙体的蓄热保温性能分析评价、设计与建造有重要意义。国内学者也曾对几种宁夏、北京、天津等温室墙体的温度分布及热流量进行了观测和分析<sup>[13-15]</sup>, 但由于试验条件、时间和地域限制等局限, 还需要进行更为全面和系统的观测分析。现通过对青海西宁地区日光温室梯形土质墙体温度及热通量的测定和分析, 探讨了墙体温度及热流量在典型天气条件下的变化规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试日光温室位于青海省西宁市湟源县(北纬 36°43', 东经 101°16')。温室坐北朝南, 北偏东 15°, 跨度 6.7 m, 长度 65 m。温室墙体采用干打垒土墙, 截面为梯形, 墙厚为 0.9~1.3 m, 前屋面采用 0.15 mm 厚 PE 膜, 夜间覆盖 40 mm 厚草帘, 人工卷放草帘, 7:45—8:45 揭帘, 15:15—15:45 闭帘(时间均为当地真太阳时, 下同)。测试期间, 日光温室内种植油菜, 正值苗期。

### 1.2 试验方法

环境数据观测时间为 2009 年 12 月 31 日至 2010 年 1 月 18 日, 测试参数包括墙体内温度、墙体内外表面热通量, 所有测量数据的采样间隔均为 10 min。

墙体内温度使用美国 Campbell CR1000 数据采集器和 AM16/32B 扩展板外接 T 型热电偶进行监测, 测量精度为 ±0.1℃, 测量总路数 48 路, 按照布点方案(图 1)进行测试。温度测点布置原则是离墙体内外表面越近则各测点间距越小, 测点布置越密集。其中 H1~H7 代表墙体上部的从左至右的 7 个温度测点, M1~M7 代表墙体中部的 7 个温度测点, L1~L9 代表墙体下部的 9 个温度测点。墙体热流量采用荷兰 HFP01 热通量板进行监测, 测量精度 ±5%。

选取 2010 年 1 月 15 日的墙体温度数据为代表, 分析了测试期间任意一天不同时刻墙体的温度场分布; 选取了 2010 年 1 月 15 日(连晴天中的一天)、2010 年 1 月 10 日(1 d 阴天后)、2010 年 1 月 11 日(2 d 阴天后)、

**第一作者简介:**何芬(1980-), 女, 江西宜春人, 博士, 高级工程师, 现主要从事设施园艺环境工程等研究工作。E-mail: hefen\_2005@163.com.

**责任作者:**周长吉(1964-), 男, 甘肃武威人, 研究员, 现主要从事设施农业等研究工作。E-mail: zhoucj@facaee.com.

**基金项目:**公益性行业(农业)科研专项资助项目(201203002)。

**收稿日期:**2015-01-22

2010年1月12日(3 d连阴后)的墙体温度数据为代表,分析典型天气条件下墙体温度和热通量的变化规律。

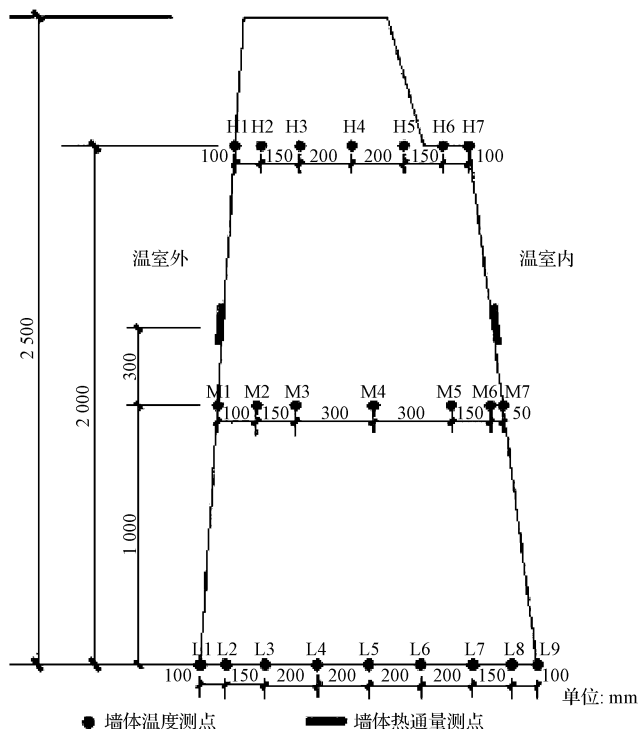


图1 日光温室北墙温度测点分布剖面

### 1.3 数据分析

试验数据通过 Matlab 软件绘制温度场, Microsoft Excel 软件分析作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 墙体截面温度分布

由于受日光温室采光面的透光率、东西墙体和后墙面的遮阴等因素的影响,太阳辐射在北墙上呈现不均匀性,从而导致北墙温度存在一定的不均匀性。因此,对墙体不同高度不同厚度处的温度进行测定比较。由于供试温室东西长度较长,可忽略东西墙体遮阴对北墙的影响。

选择测试期间任意一天(2010年1月15日)中的 20:00、24:00、4:00、8:00、12:00、16:00 6 个时刻的墙体温度数据,绘制温度场分布云图。由图 2 可知,墙体在垂直方向上的温度变化差异较小;而在水平方向,墙体温度变化剧烈,特别是 12:00—16:00,墙体内外表面温差达 35℃,而夜间和早晨温差为 18℃,较白天更低,主要原因在于日光温室白天太阳辐射强,对墙体内部温度的变化影响大。24:00 时,墙体内部温度为 12℃,而接近内表面的墙体内部温度更高,说明此时墙体还处在往室内放热的阶段;8:00 揭帘前,墙体内部整体温度因夜间不断放热较 24:00 下降 2℃左右。

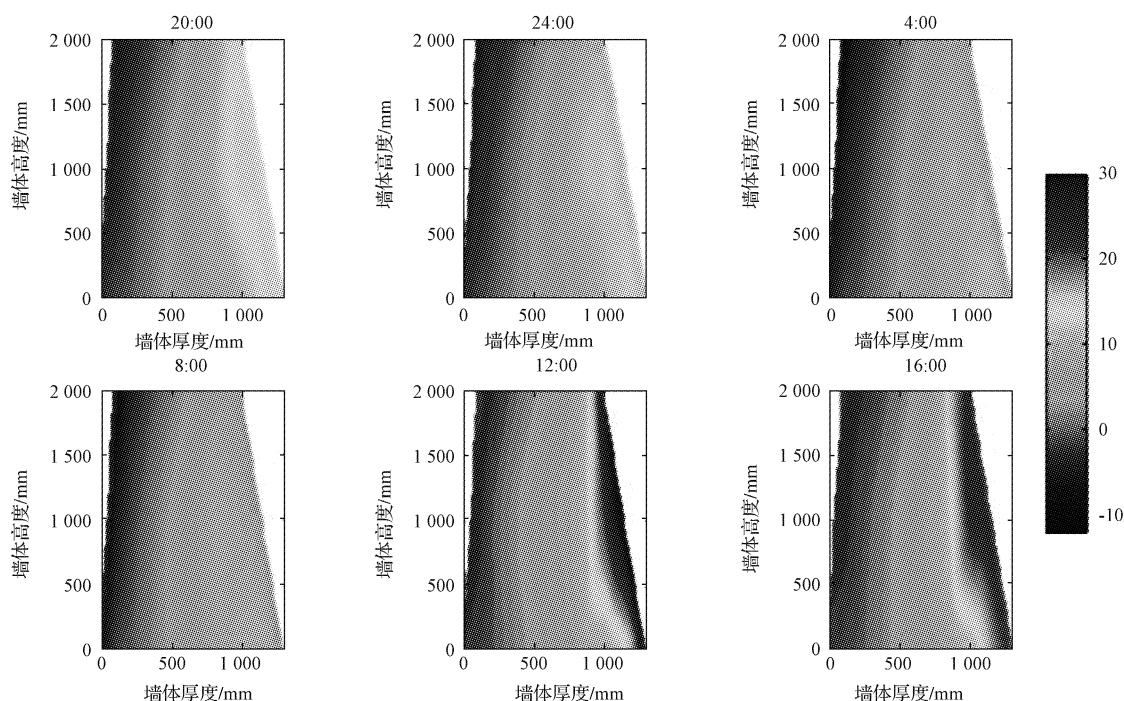


图2 墙体温度场分布云图

### 2.2 典型天气条件下日光温室墙体温度变化

从图 3 可以看出,无论何种天气条件,墙体内部表面测点 M7 的温度波动较大,主要原因是其受空气温度及

太阳辐射的影响最直接,晴天日变化幅度达到 26.07℃,而距墙体内部侧面 50、200、500、800、950、1 050 mm 的其它测点 M6、M5、M4、M3、M2、M1 的温度日变化幅度分别

为 17.7、3.33、2.49、2.24、2.523、6.302℃。墙体内部测点的温度波滞后于室内表面测点且波幅衰减较大,这是由于墙体结构存在热惯性,通过墙体的温度波动幅度和外扰波动幅度之间存在延迟和衰减。阴天情况下,墙体的日变化幅度较晴天更小,幅度为 8.6~11.6℃,由图 4 可知,阴 1 d 和阴 2 d 情况下的日变化幅度相当。而测点 M2、M3、M4、M5 的日变化幅度比较小,保持在 2.5℃之内,波动范围较小。而墙体外表面测点 M1 受室外温度影响,波动在 6℃之内,相对于测点 M7,其波动更小。

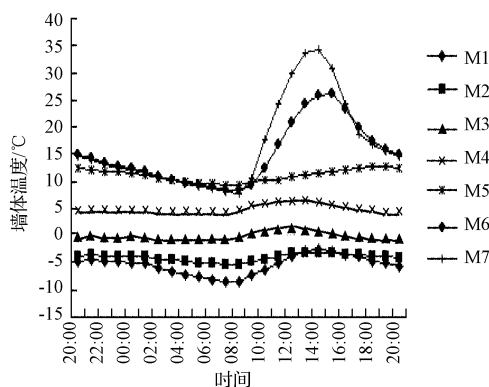


图 3 晴天条件下离室外地面高 1 m 处墙体的不同厚度处的温度变化趋势(2010 年 1 月 15 日)

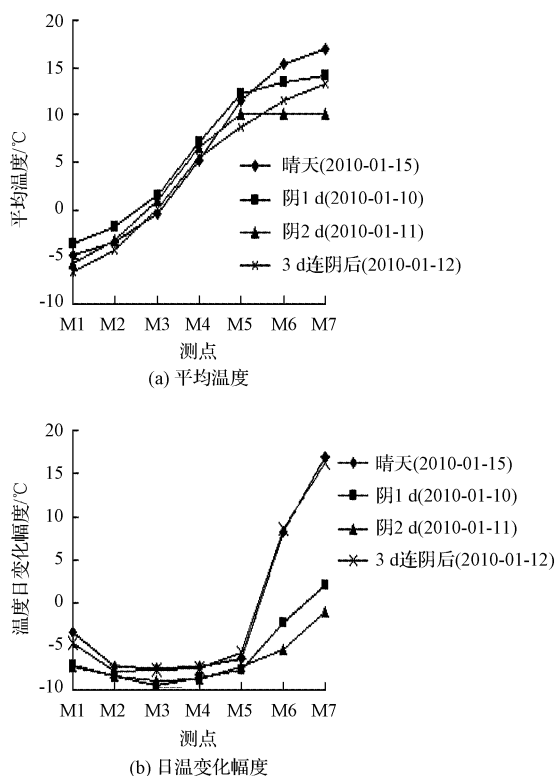


图 4 典型天气条件下墙体不同测点温度变化

### 2.3 典型天气条件下日光温室墙体内外热通量变化

掌握墙体中热通量的状况及其变化规律,对于日光温室墙体的蓄热保温性能分析评价、设计与建造有重要

意义。从图 5、6 可以看出,一天中,墙体内表面在 9:00—10:00 开始吸收热量,直到 15:00,墙体开始向室内放热。晴天,墙体在 12:00 吸收热量达到最大值,为 104.3 W/m<sup>2</sup>,而阴 1 d 情况下,墙体白天吸收热量的最大值仅为 61.32 W/m<sup>2</sup>,阴 2 d 后,墙体白天先吸收一部分热量,之后又释放部分热量维持室温。晴天条件下,墙体在一天情况下主要以吸热为主,吸收的总热量为 687.84 W/m<sup>2</sup>,而阴 1 d、阴 2 d 这 2 种天气条件下,墙体在一天情况下主要以释放热量为主,向室内释放的总热量分别为 640.59 W/m<sup>2</sup> 和 1 106.99 W/m<sup>2</sup>。在阴 2 d 情况下,墙体释放的热量相比于阴 1 d 下更多,主要原因是连续阴天室外温度和太阳辐射较弱,墙体吸收的热量越来越少,而如果要维持室内温度在一定范围,则需要墙体不断释放热量。

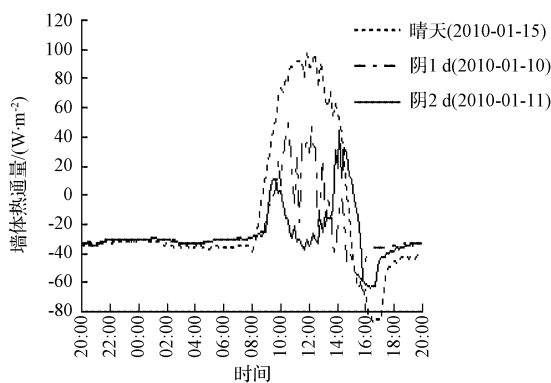


图 5 墙体内表面 1.3 m 高处的热通量变化

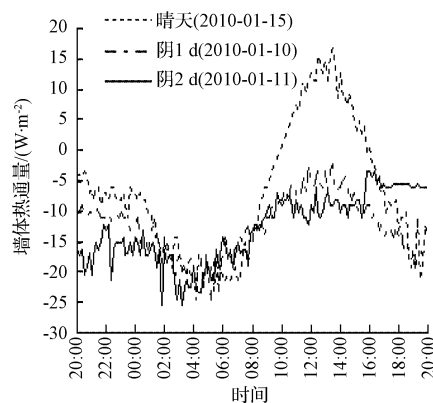


图 6 墙体外表面 1.5 m 高处的热通量变化

总体来说,全晴天墙体内表面吸热时间长,达到 7 h,吸收热量强度大,而阴天条件下墙体的吸热能力相对较弱,只有 2~5 h。全晴天墙体内表面吸收、释放热量强度白天夜间并不相称,白天吸热量大于夜间的放热量,并且夜间墙体内表面的放热速率较白天的吸热速率更为平缓。

墙外表面的热通量变化与内表面热通量变化有明显不同。晴天条件下,墙体外表面在 10:00—16:00 以吸

收热量为主,时长达到 6 h,而其它 2 种天气条件下,墙体均向外放热,吸热时长为 0 h。晴天、阴 1 d、阴 2 d 3 种典型天气条件下,墙外表面在一天内都以向外释放热量为主,分别为 984.7、1 785.13、1 866.55 W/m<sup>2</sup>,相对于墙体内部来说,放出的热量更多。

### 3 结论

该研究监测了西北地区冬季气候条件日光温室土质墙体各点温度,墙体在垂直方向温度变化差异不大;分析了 4 种典型天气条件下墙体温度在厚度方向上的变化规律,墙体最内侧点温度波动较大,晴天日变化幅度达到 26.07℃,墙体内部测点温度波滞后于室内表面温度且波幅衰减较大。分析了墙体内外面在典型天气条件下热通量日变化特征,晴天条件下,墙体内部以吸热为主,而阴 1 d、阴 2 d 时,墙体以放热为主。全晴天墙体内表面吸热时间长,达到 7 h,吸收热量强度大,而阴天条件下墙体的吸热能力相对较弱,只有 2~5 h。墙外表面热通量晴天条件下吸热时长达到 6 h,而其它 2 种天气条件下,吸热时长为 0 h。

#### 参考文献

- [1] 陈端生. 中国节能型日光温室建筑与环境研究进展[J]. 农业工程学报, 1994, 10(1): 123-129.
- [2] 郭慧卿, 李振海, 张振武, 等. 日光温室北墙构造与室内温度环境的关系[J]. 沈阳农业大学学报, 1995, 26(2): 193-199.
- [3] 白义奎, 王铁良, 李天来, 等. 缀铝箔聚苯板空心墙体保温性能理论

研究[J]. 农业工程学报, 2003(3): 190-195.

- [4] 徐刚毅, 周长吉. 不同保温墙体日光温室的性能测试与分析[J]. 华中农业大学学报, 2004(35): 62-66.
- [5] 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.
- [6] 马承伟, 卜云龙, 籍秀红, 等. 日光温室墙体夜间放热量计算与保温储热性评价方法的研究[J]. 上海交通大学学报(自然科学版), 2008, 26(5): 411-415.
- [7] 杨建军, 邹志荣, 张智, 等. 西北地区日光温室土墙厚度及其保温性的优化[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 180-185.
- [8] 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.
- [9] 佟国红, 王铁良, 白义奎, 等. 日光温室墙体传热及节能分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(2): 101-105.
- [10] 马承伟, 陆海, 李睿, 等. 日光温室墙体传热的一维差分模型与数值模拟[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 231-237.
- [11] 王宏丽, 任雷, 党永华, 等. 关中地区日光温室北面复合保温墙体的传热研究[J]. 北方园艺, 2008(7): 113-115.
- [12] 佟国红, Christopher D M. 墙体材料对日光温室温度环境影响的 CFD 模拟[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 153-157.
- [13] 李建设, 白青, 张亚红. 日光温室墙体与地面吸放热量测定分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 231-234.
- [14] 白青, 张亚红, 刘佳梅. 日光温室土质墙体温度与室内气温的测定分析[J]. 西北农业学报, 2009, 18(6): 332-337.
- [15] 胡彬, 马承伟, 王双瑜, 等. 华北地区几种日光温室墙体热流量测定与分析[C]//杨其长, Toyoki Kozai, Gerard P. A. Bot. 设施园艺研究新进展-2011 中国寿光国际设施园艺高层学术论坛论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011: 123-130.

## Analysis on Test of Wall Temperature Distribution and Heat Flux in Solar Greenhouse

HE Fen<sup>1,2</sup>, ZHOU Chang-jil<sup>1,2</sup>

(1. Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100125; 2. Key Laboratory of Farm Building in Structure and Construction, Ministry of Agriculture, Beijing 100125)

**Abstract:** Taking typical solar greenhouse of Xining as object, the temperature distribution and heat flux of trapeziform soil wall in the typical solar greenhouse of Xining were inspected and analyzed in the coldest time of winter, to grasp wall temperature change trend and the characteristic of its heat absorption and release. The results showed that the wall temperature in vertical direction changed little; in horizontal direction, the temperature of wall inside fluctuated greatly, and the day change extent reached 26.07℃ under the sunny day, and after two cloudy days, the day change extent reached 8.6℃ to 11.6℃. The inside of wall absorbed heat reached 687.84 W/m<sup>2</sup> in sunny, while after one and two cloudy days, the heat released with 640.59 W/m<sup>2</sup> and 1 106.99 W/m<sup>2</sup>. The outside of wall always released the heat in any typical weather, which were 984.7 W/m<sup>2</sup>, 1 785.13 W/m<sup>2</sup>, 1 866.55 W/m<sup>2</sup> respectively. In summary, the study is both significant for evaluating the wall heat reservation and heat transfer model.

**Keywords:** solar greenhouse; wall temperature; heat flux