

夜间日光温室表面冷凝及传热

佟国红¹, 车忠仕¹, 刘文合¹, 山口智治²

(1. 沈阳农业大学 水利学院 辽宁 沈阳 110161; 2 日本筑波大学 农林工学系, 日本 筑波 305-8572)

摘要: 测试冬季夜间日光温室内环境因子及温室表面热流量并计算分析温室表面的冷凝及其潜热。结果表明: 温室前屋面在盖帘期间及后坡在早晨揭帘前有冷凝现象, 墙体、土壤表面无冷凝现象, 后坡在盖帘后夜间只有部分时段有冷凝现象。当室外温度较高时表面冷凝释放的潜热量大, 2月20日晚盖帘后前屋面冷凝潜热量是显热量的1.7倍, 在2月20日早晨揭帘前前屋面及后坡面冷凝潜热量分别是显热量的87.1%及95.2%。

关键词: 日光温室; 冷凝; 潜热; 显热

中图分类号: S 626.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0009(2008)11-0072-03

日光温室在冬季生产时, 由于低温寡照, 造成室内温度低、湿度大, 室内作物易生病害。我国专家学者对温室内的温度、湿度变化进行了系统的测试分析^[1-4], 并用室内的温度、湿度作为评价不同结构日光温室性能的方法之一^[5]。在夜间及阴天时, 温室表面会有冷凝现象出现, 国外学者曾研究薄膜上冷凝出现的条件^[6]以及薄膜上的冷凝对温室内辅助供热量的影响^[7]。国外的温室材料及结构形式与我国的日光温室完全不同。我国日光温室表面冷凝放热方面的研究至今未见报道。现通过对12 m跨度日光温室的温、湿度及表面热流量的测试, 分析夜间温室表面的冷凝及传热。

1 潜热计算模型

计算冷凝放热首先需要判断表面是否有冷凝现象。

当温室表面的温度小于露点温度或温室空气的湿率大于温室表面温度下的饱和空气湿率时, 则会产生冷凝现象^[8]。

$$\omega_a = (RH/100)(0.004055 + 0.0001152t_a + 0.0000217t_a^2) \quad (1)$$

$$\omega_c = 0.004055 + 0.0001152t_c^2 + 0.00002167t_c^2 \quad (2)$$

式中, ω_a 及 ω_c 分别为温室空气的湿率及温室表面温度下的饱和空气湿率; RH 为温室空气的相对湿度; t_a^2 及 t_c^2 分别为温室空气温度及表面温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

$$\text{潜热计算公式: } q_{\text{cond}} = h_c L (\omega_a - \omega_c) / C_p \quad (3)$$

式中, q_{cond} 为冷凝引起的潜热, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, h_c 为内表面的传热系数, 取 $7.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ^[9], C_p 为空气比热, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, L 为汽化潜热, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

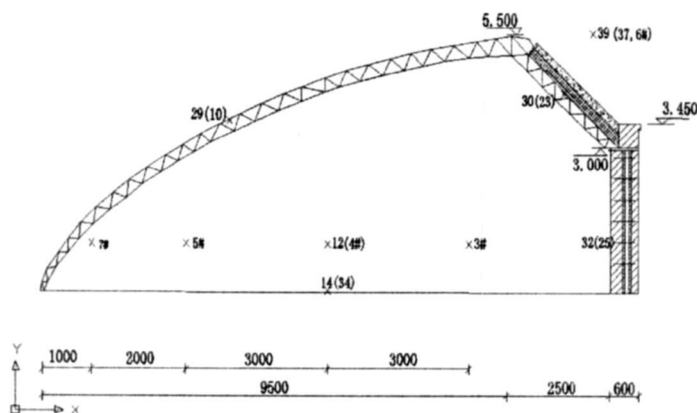


图1 试验温室剖面及测点位置

2 试验方案

试验温室为建在沈阳农业大学的12 m跨日光温室, 于2003年11月25日至2004年7月31日期间对该温室内外环境因子及温室表面热流量进行了详细的测

第一作者简介: 佟国红(1966-), 女, 博士, 副教授, 现从事设施农业建筑与环境工程研究工作。E-mail: guohongtong@yahoo.com.cn。

基金项目: 辽宁省博士科研启动基金资助项目(20061040)。

收稿日期: 2008-06-24

试^[10]。图 1 所示为试验温室剖面及该试验测点位置。其中, 12、39 分别为室内外空气温度测点, 10、23、25、14 分别为前屋面、后坡面、后墙面、土壤表面上的温度测点, 29、30、32、34 分别为前屋面、后坡面、后墙面、土壤表面上的热流量测点, 3 井~5 井, 7 井为室内空气湿度测点, 6 井为室外空气湿度测点, 37 为室外太阳辐射测点。

测试室内外空气温度采用 T 型热电偶(铜-康铜, 直径 0.32 mm), 测试室外太阳辐射用日射计(EKO, MS-601), 测试室内太阳辐射用日射计(EKO-020VS), 测试后坡、后墙内表面热通量采用热流量板(EKO, MF-140), 测试土壤内表面热流量采用热流量板(EKO, MF-18), 以

上所有传感器都接到数据采集器(EKO, CADAC21)中进行采集、存储。数据采集频率为 1 次/s, 每 10 min 存储。采用双通道温湿度仪(该次试验用于测试空气湿度), 试验数据采集间隔为 10 min。所有探头均采用防辐射处理(环境测试仪器由日本筑波大学提供)。

由于温室内的环境受到外部气候条件的影响^[11], 研究采用 12 月至 2 月冬季温室密闭期间的 3 个晴天 12 月 20 日、1 月 20 日、2 月 20 日的测试值, 其中晴天根据文献[12]由太阳辐射的量值界定。3 d 的室外温度、湿度及太阳辐射如图 2 所示。

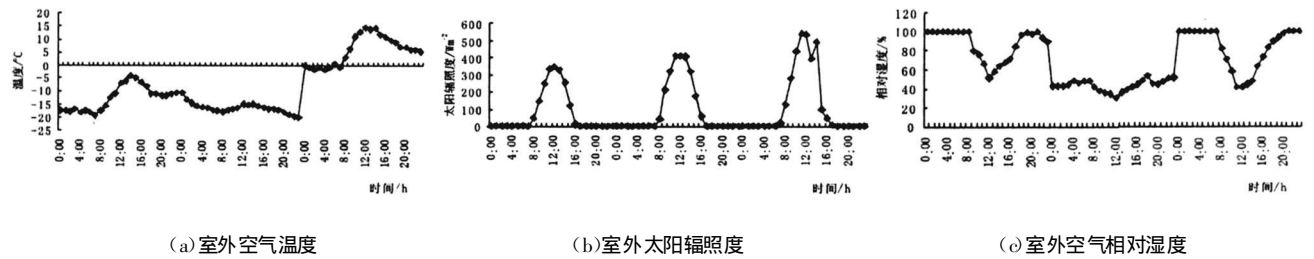


图 2 3 d 室外温度、太阳辐射度及相对湿度(12 月 20 日、1 月 20 日、2 月 20 日)

3 结果与分析

3.1 温室表面的冷凝潜热量及显热量

分析日光温室夜间各表面的冷凝及传热, 分析时段包括每日揭帘前(0:00~7:00)及盖帘后(16:00~23:00), 在所选日的分析时段内前屋面都有冷凝现象, 后屋面在 0:00~7:00 有冷凝现象而在 16:00~23:00 只有部分时段有冷凝现象, 而墙面及土壤表面均无冷凝现象。

图 3 所示为所选 3 d 前屋面及后坡表面因冷凝产生的潜热量、因表面与室内空气对流和各表面间辐射得到的显热量, 正值表示放热, 负值表示吸热。图 3a 所示前

屋面内表面的冷凝潜热量在早晨(揭帘前)均小于晚上(盖帘后), 并且除 2 月 20 日晚外表面的冷凝潜热量均低于表面显热量。1 月 20 日早晨前屋面表面的冷凝潜热量与表面显热量相比最小, 为 19.8%; 而在 2 月 20 日的早、晚二者的比值较大, 分别为 87.1%和 166.7%。由此可见, 冬季冷凝现象对温室早、晚保温具有积极作用, 室外温度较高时作用更明显, 这个规律也从后坡上的冷凝放热现象中得到验证(图 3b), 1 月 20 日早晨后坡表面的冷凝潜热量是表面显热量的 13.6%, 而 2 月 20 日早晨为 95.2%。

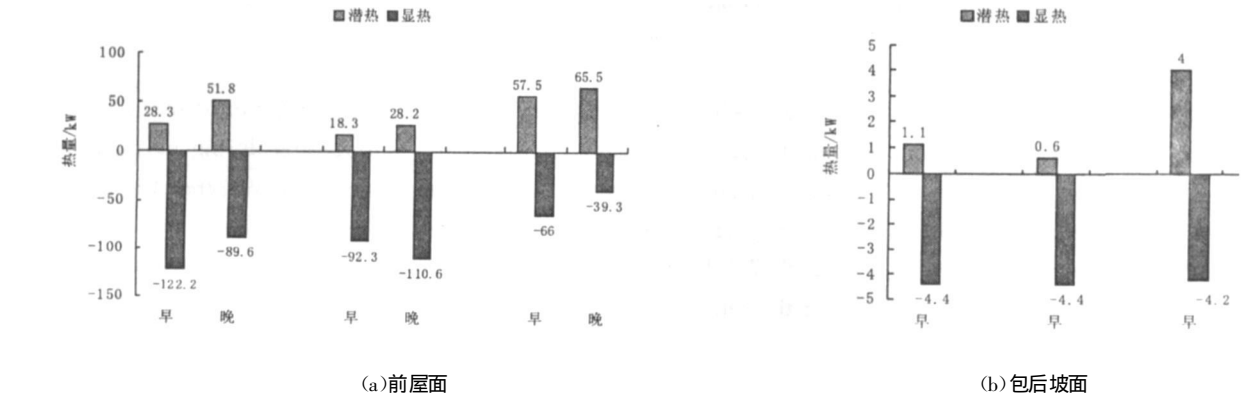


图 3 前屋面及后坡表面冷凝潜热及显热量(12 月 20 日、1 月 20 日、2 月 20 日)

3.2 温室表面传热

综合潜热和显热量得到温室各表面的吸热和放热

情况如图 4 所示, 正值表示放热, 负值表示吸热。所选 3 d 墙体与土壤均为放热体, 除 12 月 20 日早晨墙体表

面放热略高于土壤表面外,土壤均为最大的放热体。土壤表面放热与墙体表面放热的比值在12月20日晚最大,为7.1倍。一般认为前屋面及后屋面在早晨及晚上均为吸热体,但从图4可见,当考虑冷凝产生的潜热时,前屋面在2月20日晚出现放热现象。

4 结论与讨论

选择3个晴天12月20日、1月20日、2月20日分析日光温室表面的冷凝潜热量及显热量。对每日早晨及晚上实际测试数据分析结果显示,温室前屋面在所选日早、晚均有冷凝现象,而后坡内表面在每日早晨有冷凝而在晚上只有部分时段有冷凝现象。墙体、土壤表面在早、晚因其表面温度高,无冷凝现象。

冬季温室表面冷凝现象对早、晚保温具有积极作用,室外温度较高时作用更明显,2月20日晚前屋面冷凝潜热量是显热量的1.7倍,2月20日早晨前屋面及后坡面冷凝潜热量是显热量的87.1%及95.2%。

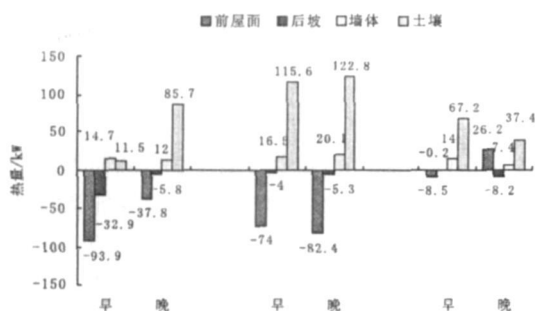


图4 温室表面传热

在计算通过温室围护结构表面传热时应考虑到温室前屋面及后坡面的冷凝潜热,以便正确估计表面的实际吸、放热情况。另外,当室内有作物且叶面积指数较大时,还应考虑来自作物表面的潜热。

参考文献

- [1] 刘乃玉,王春娜,王绍辉,等.日光温室环境参数的测定及分析[J].北京农学院学报,2001,16(1):74-79.
- [2] 刘克长,张继祥,任宗兴.日光温室气象条件的观测研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2001,32(1):50-54.
- [3] 吕德国,杜国栋,秦嗣军,等.冬季寡照条件对寒地日光温室气象因子的影响[J].云南师范大学学报,2004(1):58-61,78.
- [4] 佟国红,王恩志,王铁良,等.辽沈I型日光温室内的环境测试分析[J].辽宁农业科学,2003(5):11-12.
- [5] 杨振超,邹志荣.不同结构类型节能日光温室内温、湿度比较研究[J].陕西农业科学,2002(3):25-28.
- [6] Pieters J G, Deltour J M, Debruyckere M J G. Onset of condensation on the inner and outer surface of greenhouse covers during night[J]. J. agric. Engng Res 1995 61: 165-171.
- [7] Pieters J G, Deltour J M. Performances of greenhouses with the presence of condensation on cladding materials[J]. J. agric. Engng Res 1997, 68: 125-137.
- [8] Garzoli K V. A simple greenhouse climate model[J]. Acta Hortie 1985, 174: 393-400.
- [9] Garzoli K V, Blackwell I. An analysis of the nocturnal heat loss from a single skin plastic greenhouse[J]. J. Agric. Eng. Res 1981, 26: 204-214.
- [10] 佟国红,李天来,王铁良,等.大跨度日光温室室内微气候环境测试分析[J].华中农业大学学报,2004(增):67-73.
- [11] 许彦平,姚晓红,蒲永义,等.天水节能型日光温室气候适应性及对策研究[J].中国农业气象,2004,25(4):18-22.
- [12] 吴毅明,徐师华.温室塑料棚环境管理[M].北京:农业出版社,1990.

Nocturnal Condensation and Heat Transfer on Solar Greenhouse Surfaces

TONG Guo hong¹, CHE Zhong-shi¹, LIU Wen-he¹, YAMAGUCHI Tomoharu²

(1. College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China; 2. Institute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8572 Japan)

Abstract: Solar greenhouse microclimates and surface heat fluxes were measured and analyzed for condensation and latent heat during night in clear days. Condensation happened overnight for south roof surface and during morning and late night for north roof surface with no condensation on wall and soil surfaces. Calculation showed that the much more concentration occurred overnight in the warmer day. The latent heat from south roof was 1.7 times of sensible heat after the thermal curtain unrolled during night and 87.7% before rolled in the morning on February 20, and same trend for north roof with the latent heat was 95.2% of the sensible heat before rolled in the morning on February 20.

Key words: Solar greenhouse; Condensation; Latent heat; Sensible heat