

# 温室采用多层内覆盖保温节能效果研究

王吉庆<sup>1</sup>, 赵月平<sup>2</sup>, 张百良<sup>3</sup>

(1. 河南农业大学林学院园艺学院, 郑州 450002; 2. 河南农业大学资源环境学院, 郑州 450002; 3. 河南农业大学农业部可再生能源重点开放实验室, 郑州 450002)

**摘要:** 采用减小直接加热空间的温室节能措施, 设计建造了试验温室, 以乙烯- 醋酸乙烯(EVA)膜作为水平内覆盖材料, 以针织毡保温被作为温室侧墙内垂直保温覆盖材料, 夜间在水源热泵加温条件下, 研究了温室内增加1层水平保温覆盖, 增加2层水平保温覆盖, 四周侧墙内增加垂直保温覆盖对温室夜温变化的影响, 以温室内外平均温差、相对节能率为指标, 比较了温室不同保温措施的保温节能效果, 结果表明: 增加第1层水平保温覆盖可使温室内外温差提高1.9; 增加2层水平保温覆盖可使温室内外温差再提高1.6; 再在温室四周侧墙内增加针织毡保温被, 还可使温室内外温差再提高1.7, 与未采取附加覆盖的温室(对照)相比, 3种保温措施的相对节能率分别为20.34%、31.78%、40.53%, 温室3种内覆盖新增投资的静态投资收益率远高于现代农业的基准收益率。

**关键词:** 温室; 多层覆盖; 保温节能

**中图分类号:** S625.5<sup>+</sup>1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2005)08-0118-04

王吉庆, 赵月平, 张百良 温室采用多层内覆盖保温节能效果研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 118- 121.

Wang Jiqing, Zhao Yueping, Zhang Bailiang Effect of heat preservation and energy-saving by applying multi-layer thermal screen in greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 118- 121. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

温室是农业耗能的重要领域, 温室能源消耗费用约占温室生产总费用的15%~40%<sup>[1]</sup>。由于中国特定的地理气候特点, 在北纬35左右的地区, 冬季加温耗费用约占温室运行总成本的30%~40%, 北纬43以上地区高达60%~70%, 比欧洲国家要高得多<sup>[2]</sup>, 因此, 在中国研究温室节能具有更迫切的实际意义。国内关于拱圆形塑料大棚采用多层内覆盖的保温节能试验已有不少报道<sup>[3,4]</sup>, 在连栋温室中, 国内外多选用1层缀铝箔或夹铝塑料薄膜做内覆盖保温材料<sup>[5-8]</sup>, 崔庆法等采用聚乙烯膜和镀铝膜为内覆盖材料, 研究了双层内覆盖的保温节能效果<sup>[9]</sup>, 本试验从降低内覆盖材料造价、加强内覆盖密闭性的角度出发, 选用乙烯-醋酸乙烯(EVA)农膜作为水平内覆盖保温材料, 针织毡作为温室侧墙内垂直覆盖保温材料, 在水源热泵加温条件下, 试验了增加1层、2层水平内覆盖及在温室侧墙内悬挂针织毡保温被的不同保温节能效果, 旨在为温室保温覆盖材料选择、保温和采暖设计提供参考。

## 1 试验设计与方法

### 1.1 供试温室结构

试验地点位于北纬34°16', 东经113°30'的河南省

新郑市八千乡河南农业大学八千教学实习基地, 该地区属典型的温带大陆季风气候, 年日照时数为2368 h, 平均气温14.2, 7月份平均气温27.5, 1月份平均气温0.3, 年降水量636 mm, 无霜期225 d。试验温室为采用水源热泵加温而设计的拱圆形小屋顶塑料温室, 温室南北走向, 东西跨度6.0 m, 南北长度20.0 m, 开间4.0 m, 屋檐高2.9 m, 脊高4.0 m。屋面透明覆盖材料为0.8 mm厚的EVA农膜, 四周采用EVA双层膜覆盖(内外层相距10 cm), 侧墙内设置5 mm厚针织毡保温被, 距温室地面上2.2 m、2.4 m处, 以0.8 mm厚的EVA农膜为保温覆盖材料, 各设一层水平移动式保温幕, 屋顶为全封闭结构, 试验温室结构见图1。

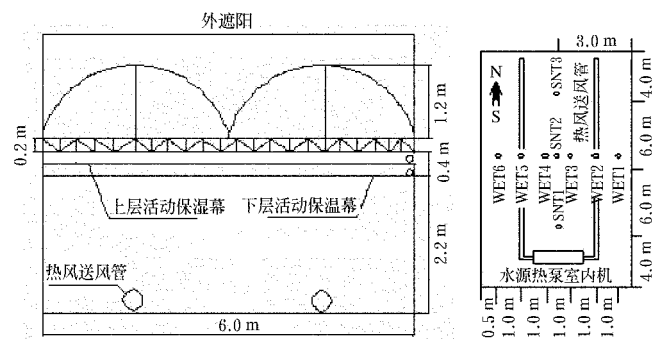


图1 试验温室横剖面结构及测点布置

Fig. 1 Cross-section structure of the tested greenhouse and distribution of the measuring points

### 1.2 温室保温措施设计

**保温措施 I (对照):** 温室上部拱圆形屋面采用EVA单膜覆盖, 四周侧墙采用双层EVA膜覆盖, 两层相距10 cm。

**保温措施 II:** 在保温措施 I 的基础上, 采用EVA

收稿日期: 2004-07-29 修订日期: 2005-04-12

基金项目: 河南省财政厅“沙薄地区区域治理及高产高效综合配套技术研究示范”项目(200230226)

作者简介: 王吉庆(1963-), 男, 副教授, 河南省郑州市文化路95号河南农业大学林学院园艺学院, 450002. Email: wjq@sina.com.cn

通讯作者: 张百良(1941-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事可再生能源转换技术研究。郑州 河南农业大学农业部可再生能源重点开放实验室, 450002

膜在距地面 2.4 m 处增设 1 层水平保温覆盖。

保温措施 III: 在保温措施 II 的基础上, 采用 EVA 膜在距地面 2.2 m 处增设第 2 层水平保温覆盖。

保温措施 IV: 在保温措施 III 的基础上, 采用 5 mm 厚的针织毡在温室四周侧墙内增设一层垂直保温覆盖。

### 1.3 测温点布局

距温室南北侧墙各 10 m, 距地面 1.5 m 的东西方向, 设置 6 个测点 (WET1~6), 各测点分别距温室西侧墙 0.5、1.5、2.5、3.5、4.5 及 5.5 m, 观测温室东西向水平温度变化; 距温室东西侧墙各 3 m, 距地面 1.5 m 的南北方向, 设置 3 个测点 (SNT1~3), 各测点分别距北侧墙 4.0、10.0 及 16.0 m, 观测温室南北向水平温度变化, 参见图 1。

温室内南北各测点及室外温度, 采用上海精华仪表厂生产的 TH-74 型多点测温仪测定。

### 1.4 水源热泵热风加温系统的功率参数

温室加温的水源热泵型号为 MCC050LRA-ACA, 由深圳麦克维尔空调有限公司生产, 整机额定功率制热工况为 3.7 kW, 制热量为 15 kW, 室内机循环风量为 2040 m<sup>3</sup>/h。与水源热泵配套使用的水泵为台州进益机电厂生产的 QDY-13-0.75 油浸型潜水泵, 额定功率为 0.75 kW, 额定流量为 10 m<sup>3</sup>/h。热风送风管采用直径 14.8 cm、厚 0.8 mm、长 18.0 m, 其上打有分风孔的高密度聚乙烯吹塑筒。

### 1.5 试验观测方法

试验温室种植的作物为番茄, 品种为荷兰 189, 于 2002 年 7 月 16 日采用穴盘育苗, 8 月 13 日定植, 采用基质盆栽, 栽培基质配比草炭 蛭石 珍珠岩为 1:1:1, 采用滴灌方式补给肥水。温室番茄于 2002 年 12 月下旬开始采收, 2003 年 2 月下旬采收完毕。于 2003 年元月, 根据天气预报, 选择气象条件相近的日期, 在夜间水源热泵加温条件下, 分别对不同保温措施下各测点温度进行观测记录, 每小时观测记录一次, 以各时段各测点平均温度作为室内温度参与数据分析。

在 00:00~08:00 时段, 当温室内温度相对平稳时, 取温室内平均温度与室外平均温度差值比较不同保温措施的保温效果; 根据文献 [7] 的方法, 用不同保温措施下温室综合传热系数的比值比较不同保温措施的相对节能率。

在 00:00~08:00 时段, 当温室内温度相对平稳时, 取温室内平均温度与室外平均温度差值比较不同保温措施的保温效果; 根据文献 [7] 的方法, 用不同保温措施下温室综合传热系数的比值比较不同保温措施的相对节能率。

## 2 结果分析

### 2.1 水源热泵实际制热效果测定

对水源热泵实际制热效率进行测定, 测得水源热泵进风口温度 12℃, 出风口热风温度为 35.5℃。取 35℃ 空气密度 1.0995 kg/m<sup>3</sup>, 空气热容 1.007 kJ/kg·℃, 水源热泵循环风量 2040 m<sup>3</sup>/h, 经计算水源热泵的实际制热功率为 14744.2 W。试验温室单位面积供热功率 122.86 W/m<sup>2</sup>, 试验用水源热泵的实际制热系数为 3.31。

### 2.2 温室不同保温措施的保温效果

观测日 2003 年 1 月 5、6、7 及 9 日的白天均为晴天, 1 月 5、6 及 7 日夜间无风, 9 日夜间阵风 0.25 m/s, 4 个观测日夜间 00:00~08:00 时室外平均气温依次为: -5.6、-5.3、-6.3、-3.4℃, 不同观测日气象条件相近, 因此, 观测结果有可比性。从图 2、图 3、图 4、图 5 可以看出: 夜间在水源热泵加温条件下, 随着外界温度的降低, 不同保温措施温室内外温差呈逐渐加大的趋势, 说明外界温度越低时, 增加内覆盖的保温效果也越显著, 这与已有的连栋温室保温幕的研究有相同结果 [8]。夜间在水源热泵加温条件下, 自 00:00~08:00 各观测时段, 保温措施 I (对照) 温室内平均温度较室外高 7.6℃, 保温措施 II、保温措施 III、保温措施 IV 温室内平均温度分别较室外高 9.5、11.1、12.8℃, 与对照保温措施相比, 增加 1 层 EVA 水平保温幕, 可以使温室的内外温差提高 1.9℃, 增加 2 层 EVA 水平保温幕, 可以使温室的内外温差再提高 1.6℃, 再在温室四周侧墙悬挂针织毡保温被, 可使温室的内外温差再提高 1.7℃, 可以看出, 在温室进行多层覆盖时, 如考虑投入则增加 1 层水平内覆盖的增温效果最为明显。

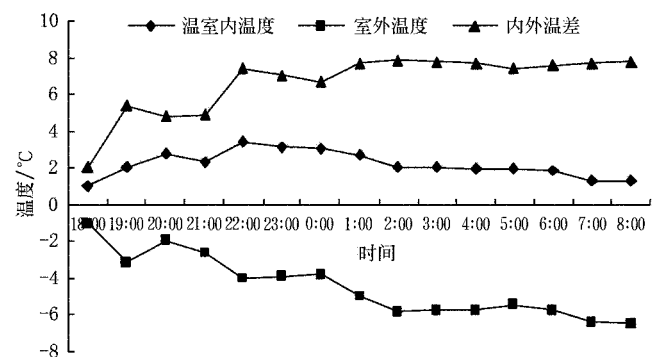


图 2 保温措施 I 温室(对照)内外温差比较 (2003-01-05)  
Fig. 2 Temperature difference inside and outside the greenhouse with the heat preservation measure I (CK) (2003-01-05)

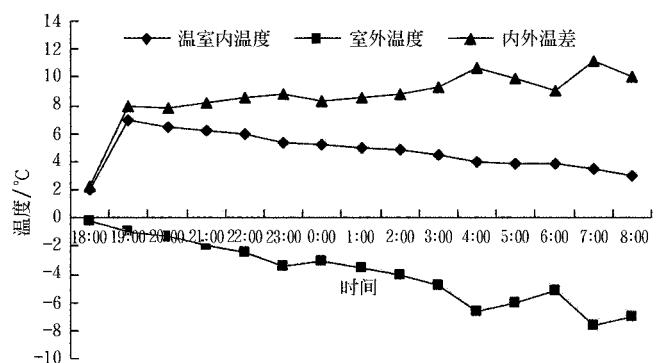


图 3 保温措施 II 温室内外温差比较 (2003-01-06)  
Fig. 3 Temperature difference inside and outside the greenhouse with the heat preservation measure II (2003-01-06)

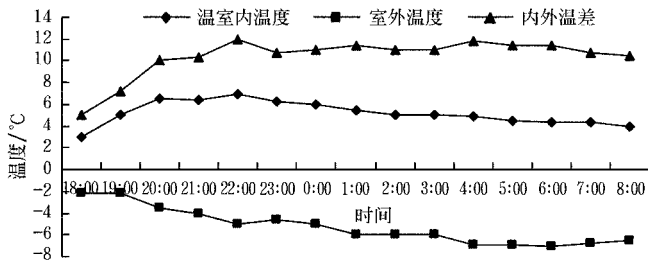


图4 保温措施III温室室内外温差比较(2003-01-07)

Fig 4 Temperature difference inside and outside the greenhouse with the heat preservation measure III (2003-01-07)

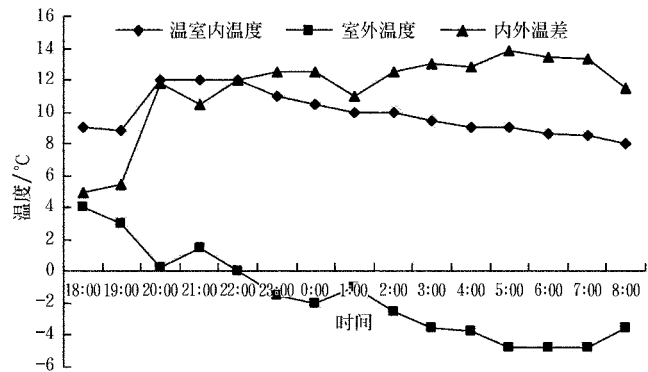


图5 保温措施IV温室室内外温差比较(2003-01-09)

Fig 5 Temperature difference inside and outside the greenhouse with the heat preservation measure IV (2003-01-09)

2.3 不同保温措施的节能效果

从表1可以看出:与保温措施I(对照),在温室上

表1 温室不同保温措施的节能效果比较

Table 1 Comparison of the effects of energy-saving among different heat preservation measures

保温措施	温室室内温度/	室外温度/	温室室内外温差/	$K_1/K_2^*$	$K_1/K_3^*$	$K_1/K_4^*$	相对节能率/%
保温措施 I	2.0	-5.6	7.6				—
保温措施 II	4.2	-5.3	9.5	0.7966			20.34
保温措施 III	4.9	-6.3	11.1		0.6822		31.78
保温措施 IV	9.4	-3.4	12.8			0.5947	40.53

注: \*  $K_1, K_2, K_3, K_4$  分别为保温措施 I(对照)、保温措施 II、保温措施 III、保温措施 IV 条件下温室的综合传热系数。

3 结论

1) 在北纬 34 左右的黄淮地区,夜间在水源热泵加温条件下,与未采取附加覆盖温室(对照)相比,温室内增加 1、2 层 EVA 膜水平内覆盖,再在温室侧墙内增加针织毡垂直内覆盖,均可不同程度增加温室的内外温差,提高温室的保温性能,但以增加 1 层 EVA 膜水平内覆盖的保温效果和节能效果最明显。

2) 温室采用多层内覆盖相应增加了温室的建造投资,但可有效降低冬季的加温成本,不同保温措施新增投资的静态投资收益率远高于现代农业的基准收益率,增加温室内覆盖是实现现代温室降本增效的有效途径。

部拱圆形屋面采用单层 EVA 膜覆盖,四周侧墙采用双层 EVA 膜覆盖的条件相比,保温措施 II 增加 1 层 EVA 膜水平内覆盖可节能 20.34%;保温措施 III 增加两层 EVA 膜水平内覆盖可较对照节能 31.78%;保温措施 IV 同时增加两层 EVA 膜水平内覆盖并在四周侧墙内悬挂针织毡保温被时,可较对照节能 40.53%,相对而言,以增加 1 层 EVA 膜水平内覆盖时的节能效果更为明显。

2.4 温室采用多层内覆盖的成本效益分析

试验温室采用不同内覆盖的材料成本:限位减速电机 1700 元/台,托幕线 980 元/卷(1800 m),线夹 0.8 元/个,传送轴 20 元/m,钢丝绳 2 元/m,幕绳连接件 3 元/个,EVA 农膜 12 元/kg,针织毡 1.9 元/m<sup>2</sup> 计算,保温措施 II 需增加材料投资 8.25 元/m<sup>2</sup>,保温措施 III 需增加材料投资 16.5 元/m<sup>2</sup>,保温措施 IV 需增加材料投资 21.7 元/m<sup>2</sup>。EVA 农膜和针织毡按 5 年折旧,其他材料按 15 年折旧,除对照外,保温措施 II、III、IV 3 种内覆盖保温措施的年材料折旧成本分别为 0.71、1.42、1.85 元/m<sup>2</sup>。北纬 34 左右的黄淮地区,冬季温室加温负荷一般设计为 150W/m<sup>2</sup>,按年加温时间 5 个月,日平均加温 12 h 计算,年温室耗煤量折合标准煤约为 138.7 kg/m<sup>2</sup>,市场煤热值按 22990 kJ/kg,价格按 300 元/t 计算,温室年耗煤成本约为 53 元/m<sup>2</sup>,按本试验温室采用保温措施 II、III、IV 的节能效果计算,采用相应保温措施后每年可分别降低燃煤成本 10.8、16 及 21.4 元/m<sup>2</sup>,增加内覆盖的静态投资收益率分别为 131%、101%、98.6%,远高于现代农业行业基准投资收益率的最大值 25%<sup>[10]</sup>。

[参考文献]

[1] 周长吉. 现代温室工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 138- 139

[2] 王松涛, 冯广和, 陈端生, 等. 论中国设施园艺建设的宏观管理[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 153- 158

[3] 傅莉霞. 塑料大棚多层覆盖的应用效果试验[J]. 浙江农业大学学报, 1994, 20(3): 313- 316

[4] 李萍萍, 胡永光. 冬季塑料大棚多层覆盖及电加热增温效果研究[J]. 农业工程学报, 2002, 28(2): 76- 79

[5] B J Bailey. The reducing of thermal radiation in glasshouse by thermal screens [J]. Agricultural Engineering Research, 1981, 26: 215- 224

[6] 潘强, 黄之栋, 马承伟, 等. 华北型连栋塑料温室节能对策与实践[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 155- 159

- [7] 周长吉, 程勤阳, 周新群 等 缀铝箔保温幕保温性能测试分析[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 191- 195
- [8] 凌 坚 连栋温室反射型保温幕的性能研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001.
- [9] 崔庆法, 王 静 连栋温室可移动式双层内保温幕保温节能效果初探[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 111- 114
- [10] 徐成彬 德尔菲方法确定基准收益率[J]. 中国工程咨询, 2002, (10): 40- 42

## Effect of heat preservation and energy-saving by applying multi-layer thermal screen in greenhouse

Wang Jiqing<sup>1</sup>, Zhao Yueping<sup>2</sup>, Zhang Bailiang<sup>3</sup>

(1. College of Forestry and Horticulture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

3. Key Laboratory of Renewable Energy, Ministry of Agriculture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract** The greenhouse was designed and constructed by reducing heating space measure. The ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) film and knitted glass mat as the material for heat preservation were selected. In the night, the temperature was measured in the greenhouse heated by water source heat-pump under different heat preservation measures. The effects of energy-saving were compared respectively in the parameters, temperature difference between inside and outside of the greenhouse, relative energy-saving ratio at the different heat preservation measures. The result showed: adding the first horizontal thermal screen layer (EVA) inside the greenhouse, the temperature difference between inside and outside of the greenhouse was increased by 1.9 °C, and the temperature difference was increased by 1.7 °C, 1.6 °C respectively by adding the second (EVA) and the vertical thermal screen layer (knitted glass mat) inside the greenhouse wall. Comparing with the condition without any thermal screen inside the greenhouse, the relative energy-saving ratio of the three kinds of heat preservation measures were increased by 20.34%, 31.78% and 40.53%, respectively and the return efficiencies of the investment of the three kinds of heat preservation measures were greatly higher than that in the modern agriculture industry.

**Key words:** Greenhouse; multi-layer thermal screen; heat preservation and energy-saving