

日光温室后墙内侧温度变化规律及温度预测模型

何雨¹, 须晖², 李天来², 山口智治³

(1. 沈阳棋盘山开发区管理委员会, 辽宁 沈阳 110161; 2. 沈阳农业大学园艺学院, 辽宁省设施园艺重点实验室, 辽宁 沈阳 110161;

3. 筑波大学 农业与森林工程研究所, 日本 筑波 305-8572)

摘要:对沈阳农业大学园艺学院日光温室后墙内侧温度、温室气温、温室地温进行测试和分析, 利用传热学理论, 以温室热平衡模型为基础, 分析了温室后墙内侧温度变化的动态模型, 并运用 Matlab 软件进行非线性回归, 求出该模型的参数。结果表明: 该模型可较准确地反映温室后墙内侧的温度变化特性, 是预测后墙温度的变化, 实现自动化控制的基础。为进一步研究日光温室保温特性, 实现智能温室前馈控制提供了手段和依据。

关键词:日光温室; 热流量; 后墙温度; 预测模型

中图分类号:S 626.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)07-0034-06

日光温室是我国重要的农产品生产设施, 它具有造价低、节能、结构优化、性能良好等特点。采光和保温性能的优劣是日光温室能够进行实际生产的基础^[1-5]。在北方冬季温室生产中, 墙体的保温性尤其重要。一些学者^[6-9]提出节能日光温室理想的墙体结构应该是 3 层: 外层由导热、散热能力差的材料组成, 中间由隔热性能好的材料组成, 内层由吸热、蓄热能力强的材料组成。该试验对辽沈 I 型日光温室的后墙墙体温度变化规律及保温性进行了研究, 并建立了温度预测模型。

1 材料与方法

试验于 2007 年 11 月 29 日开始, 至 2008 年 11 月 29

日止, 在沈阳农业大学蔬菜实验基地的辽沈 I 型日光温室(改进型)中进行。温室方位南偏西 7°, 东西延长 60 m, 跨度为 7.5 m, 脊高为 3.5 m, 北墙高 2.3 m, 内外侧分别为 24 cm 和 12 cm 厚红砖墙, 中间为 9 cm 厚聚苯板。前屋面角 30.3°, 前屋面覆盖 PVC 多功能农用棚膜, 冬季较好采光时段均大于 4 h, 有时可达 6 h 左右, 夜间外覆盖 6 层牛皮纸防水纸被外加草苫保温。温室内种植高架长季节栽培的番茄。地膜覆盖滴灌, 冬季 1 月份热风炉夜间临时加温。

分别在后墙的内表面、后屋面的内表面、前屋面内表面、温室东西方向的中部, 南北方向的 1/2 处土壤中 1 cm 深处安装热电偶温度计(T-type, $\phi 0.32$ mm), 温室内温度计和日照度计分别安装在同一位置距地面 2.21 m 及 2.7 m 处, 2.21 m 处温度计和日照度计位于植被中上部, 2.7 m 处温度计和日照度计位于植被上部, 能够体现出

第一作者简介:何雨(1978-), 男, 辽宁沈阳人, 硕士, 农艺师, 现主要从事温室园艺方面的研究工作。E-mail: qpsly@163.com。

收稿日期:2011-12-19

Botanic Characteristics and Nutritional Value of Leaf Radish

BA He-dan¹, QIN Yong², JIANG Xiu-mei², GUO Guang-zhao², KALBINUR · Parhat²

(1. Agricultural Technology Extension of Mulei County, Mulei, Xinjiang 831900; 2. College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052)

Abstract: Botanic characteristics and nutritional value of leaf radish varieties including 'Yemeiren', 'Yetailang', 'Japanese cherry' and 'Yedagen' were investigated in order to provide scientific basis to leaf radish production. The results showed that among the four tested varieties, leaf color of 'Yedagen' was dark green, while 'Yemeiren' and 'Japanese cherry' were green and leaf of 'Japanese cherry' was also a bit burr. The plants were all semi-erect. 'Japanese cherry' tasted mildly, while 'Yemeiren', 'Yetailang' and 'Yedagen' were slightly spicy. The skin of root of 'Japanese cherry' was red and the flesh was white, while the skin and flesh of the other three varieties were all white. 'Yetailang' was slightly higher in soluble sugar and 'Japanese cherry' was the highest in protein regarding nutritional contents. Leaf radish could be produce as foliage vegetables as it grows rapidly and easy to manage.

Key words: leaf radish; botanic characteristics; nutritional contents

温室内温度和日照量的总体变化。热流板数据由 Mr. SOLO 采集,温度由日本筑波大学提供的 ETOENKI 9220A CADAC 2+9201A CADAC 21 数据采集系统采集,所有探头的数据每 10 min 自动记录,数据均由安装在 MR5300+MR9301F30 中的 Cadac 软件测出。

2 结果与分析

2.1 后墙内侧热流量、温度日变化规律及保温特性

2.1.1 冬季变化规律 观测时间为 2007 年 12 月至 2008 年 1 月。由图 1 可看出,冬季阴天的时候,辽沈 I 型日光温室后墙内侧热流量日变化幅度比较小,最小值为 -9.72 W/m^2 ,出现在凌晨 2:00 左右,最大值为 57.65 W/m^2 ,出现在上午 9:30 左右。图 1 曲线从上午 9:00 开始表现为正值,说明此时后墙内表面吸收的热量大于放出的热量,总体表现为墙体从温室内部吸热,并一直持续到 16:00 左右;从 16:00 到次日上午 9:00 左右,曲线表现为负值,说明此时后墙内表面放出的热量大于吸收的热量,总体表现为墙体向温室内部放热。冬季晴天的时候,辽沈 I 型日光温室后墙内侧热流量日变化幅度较阴天有明显的增大,最小值为 -25.67 W/m^2 ,出现在 16:00 左右,最大值为 187.82 W/m^2 ,出现在 11:00 左右。图 1 曲线从上午 6:00 开始表现为正值,说明此时后墙内表面吸收的热量大于放出的热量,总体表现为墙体从温室内部吸热,并一直持续到 16:00 左右,以后又变为负值,并一直持续到次日清晨 6:00 左右,说明这段时

间墙体内部表面放出的热量大于吸收的热量,总体表现为墙体向温室内部放热。经积分计算,辽沈 I 型日光温室后墙内侧,冬季阴天时每天的蓄热时间约为 7 h,共吸收热量 5.071 MkJ ,每天的放热时间为 17 h,共放出热量 2.665 MkJ ,每天的热量损失为 2.406 MkJ ,吸放热时间比约为 0.41,损失与吸收热量比为 0.474;冬季晴天的时候,每天的蓄热时间为 10 h,共吸收热量 50.07 MkJ ,每天的放热时间为 14 h,共放热 10.14 MkJ ,每天的热量损失为 39.93 MkJ ,吸放热时间比约为 0.71,损失与吸收热量比为 0.474。由图 1 可看出,辽沈 I 型日光温室后墙内侧温度,在冬季阴天的时候日变化幅度相对较小,基本上保持在 $8 \sim 14^\circ\text{C}$;而晴天的温度变化幅度比较大,上午 9:00 之前比较稳定,9:00 之后逐渐上升,正午达到最大值 27.7°C ,然后逐渐下降,17:00 左右又趋于平稳,基本保持在 13°C 左右,一天中最小值为 12.39°C ,出现在清晨 5:00 左右。辽沈 I 型日光温室后墙内侧温度、热流量日变化在冬季时有其自身的特征,晴天时从室内吸收的热量多,损失的热量也多,阴天吸收的热量少,损失的热量相对也少,无论阴天、晴天,损失的热量主要是通过墙体散失到室外,而凌晨 0:00 至上午 6:00 是热量散失的主要时段,一天中温度的最低值也出现在这一时段,因此,在这一时段增加对温室后墙外侧的保温设施,有利于减少热量损失,提高温室的蓄热能力和保温性能。

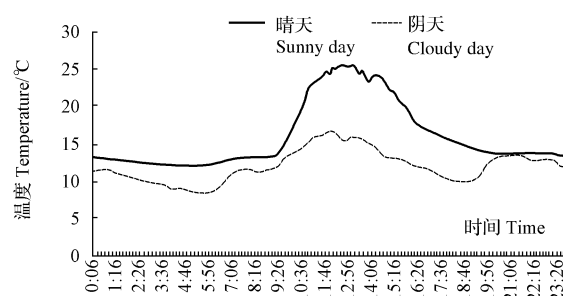
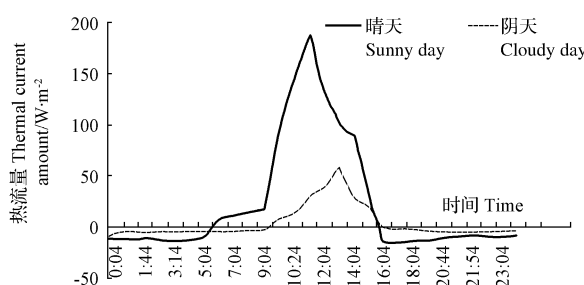


图 1 辽沈 I 型日光温室后墙内侧冬季热流量和温度日变化规律

注:热流量数据来源:阴天数据是 15 d 的平均值;晴天数据是 35 d 的平均值。温度数据来源:阴天数据是 13 d 的平均值;晴天数据是 43 d 的平均值。

Fig. 1 Changes of thermal current amount and temperature of the back wall on cloudy day and sunny day in winter

Note: Data sources of thermal current amount: cloudy day data is average of 15 days of; sunny day data is average of 35 days. Cloudy day data is average of 13 days of; sunny day data is average of 43 days.

2.1.2 春季变化规律 观测时间为 2008 年 4~6 月,由图 2 可看出,辽沈 I 型日光温室后墙内侧热流量在春季阴天时的日变化幅度比冬季阴天日变化幅度大,一天中最小值为 -12.84 W/m^2 ,出现在 0:00 左右,最大值为 32.38 W/m^2 ,出现在 12:00 左右,曲线从上午 7:30 左右开始表现为正值,并一直持续到 16:30 左右,说明这段时间墙体内部吸收的热量大于放出的热量,总体表现为墙体从温室内部吸收热量,从 17:00 到次日清晨 7:00 左右曲线表现为负值,说明此时墙体内部放出的热量大于吸收的热量,总体表现为墙体向温室内部放热。春季晴天

的时候,辽沈 I 型日光温室后墙内侧热流量的日变化幅度很大,最大值为 75.80 W/m^2 ,出现在 12:00 左右,最小值为 -13.05 W/m^2 ,出现在 3:00 左右,从上午 6:30 曲线变为正值,说明此时后墙内侧吸收的热量大于放出的热量,总体表现为后墙内表面从温室内部吸收热量,曲线从 16:30 左右又变为负值,并一直持续到次日上午 7:00 左右,说明这段时间后墙内表面放出的热量大于吸收的热量,总体表现为向温室内部放热。经积分运算可知,辽沈 I 型日光温室后墙内侧,春季阴天时平均每天蓄热时间为 9 h,共吸收热量 11.76 MkJ ,平均每天放

热时间为 15 h,共放出热量 10.71 MkJ,热量损失为 1.04 MkJ,吸放热时间比为 0.6,散失吸收热量比为 0.088;春季晴天时平均每天蓄热时间为 10 h,共吸收热量 31.03 MkJ,平均每天放热时间为 14 h,共放热 10.97 MkJ,每天热量损失为 20.06 MkJ,吸放热时间比为 0.714,散失吸收热量比为 0.646。由图 2 可看出,辽沈 I 型日光温室后墙内侧温度,在春季阴天时最大值为

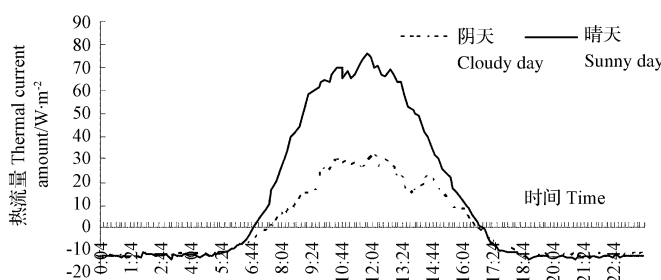


图 2 辽沈 I 型日光温室春季后墙内侧热流量和温度日变化规律

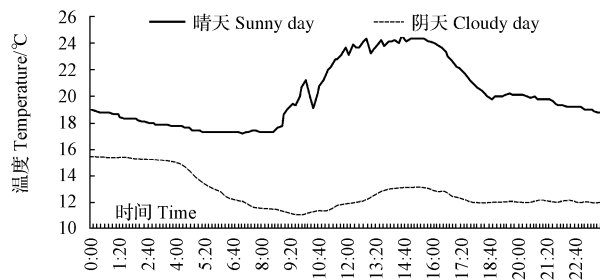
注:热流量数据来源:阴天数据是 27 d 的平均值;晴天数据是 49 d 的平均值。温度数据来源:阴天数据是 15 d 的平均值;晴天数据是 40 d 的平均值。

Fig. 2 Changes of thermal current amount and temperature of the back wall on cloudy day and sunny day in spring

Note: Data sources of thermal current amount; cloudy day data is average of 27 days of; sunny day data is average of 49 days. Cloudy day data is average of 15 days of; sunny day data is average of 40 days.

2.1.3 夏季变化规律 观测时间为 2008 年 7~8 月,由图 3 可看出,辽沈 I 型日光温室后墙内侧热流量,在夏季阴天时变化幅度有所增加,一天中最大值为 32.35 W/m²,出现在 11:00 左右,最小值为 -17.90 W/m²,出现在 0:00 左右,图中曲线从上午 7:00 变为正值,说明此时后墙内侧吸收的热量大于放出的热量,总体表现为从温室内部吸热。而辽沈 I 型日光温室后墙内侧热流量,在夏季晴天时变化幅度则有所减少,最大值为 70.31 W/m²,出现在 11:30,最小值为 -20.45 W/m²,出现在 0:00,图 3 曲线从 6:30 变为正值,说明此时后墙内侧吸收的热量大于放出的热量,总体表现为从温室内吸热。经积分运算,辽沈 I 型日光温室后墙内侧,在夏季阴天时蓄热时间为 10 h,共吸收热量 9.27 MkJ,放热时间为 14 h,共放热 13.10 MkJ,损失热量为 -3.83 MkJ,吸放热时间比为 0.71,损失吸收热量比为 -2.42,结合图 3 分析,出现负

15.8℃,最小值为 11.10℃,与冬季比有所上升;晴天时最大值为 25.87℃,最小值为 17.21℃,二者之间的差别相对于冬季而言已经很小,且变化幅度也相对减小。辽沈 I 型日光温室后墙内侧温度、热流量日变化在春季时有其自身的特征:阴天时通过后墙内侧的热流量相对增加,但热量损失却相对减少,温度也相对增加;晴天时通过后墙内表面的热流量相对减少,热量损失也相对减少。



值说明夏季阴天时,后墙从外界环境吸收了一部分热量;在夏季晴天时蓄热时间为 11 h,共吸收热量 29.88 MkJ,放热时间为 13 h,共放出热量 14.52 MkJ,热量损失为 15.36 MkJ,吸放热时间比为 0.85,损失吸收热量比为 0.514。由图 3 可看出,辽沈 I 型日光温室后墙内侧温度,在夏季阴天是变化幅度很小在 19~25℃,但晴天变化幅度较大,最大值为 31.76℃,出现在 15:00 左右,最小值为 18.25℃,出现在 5:00 左右,阴天平均温度为 22.38℃,晴天为 24.76℃。辽沈 I 型日光温室后墙内侧温度、热流量日变化在夏季时有其自身的特征:无论阴天、晴天,后墙内侧温度相对春季增加 5℃左右;热流量相对春季变化不大,无论阴天、晴天,吸收的热量均有所减少,放热有所增加,但热量损失相对春季有所减少,并且阴天时从外界环境吸收热量 3.83 MkJ,晴天时也减少到 15.36 MkJ。

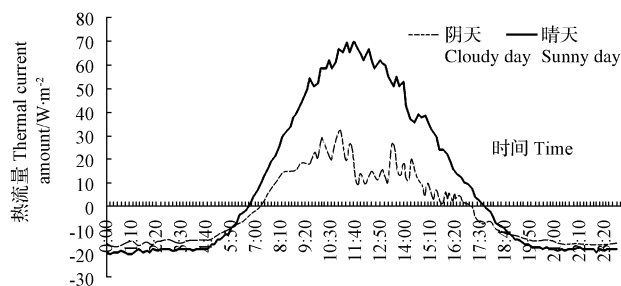
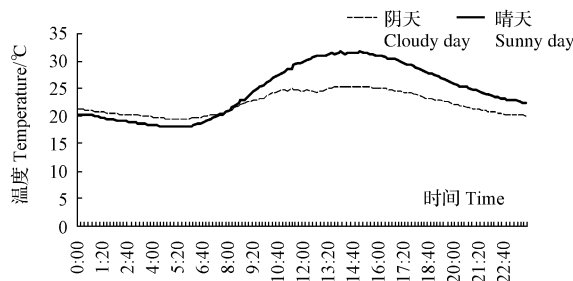


图 3 辽沈 I 型日光温室后墙内侧夏季热流量和温度日变化规律

注:热流量数据来源:阴天数据是 31 d 的平均值;晴天数据是 41 d 的平均值。温度数据来源:阴天数据是 31 d 的平均值;晴天数据是 41 d 的平均值。

Fig. 3 Changes of thermal current amount and temperature of the back wall on cloudy day and sunny day in summer

Note: Data sources of thermal current amount; cloudy day data is average of 31 days of; sunny day data is average of 41 days. Cloudy day data is average of 31 days of; sunny day data is average of 41 days.



2.1.4 秋季变化规律 观测时间为 2008 年 9~10 月。由图 4 可看出,辽沈 I 型日光温室后墙内侧热流量,在秋季阴天时变化幅度比较小,一天中最大值为 18.90 W/m^2 ,出现在 14:00 左右,最小值为 -16.79 W/m^2 ,出现在 0:00 左右;图 4 中曲线从上午 9:00 左右变为正值,说明此时后墙内表面吸收的热量开始大于放出的热量,总体表现为从温室内部吸收热量;从 17:00 左右开始变为负值,说明从此时开始放热大于吸热,总体表现为后墙内表面向温室内部放热,并一直持续的次日上午 8:00。秋季晴天时的热流量变化幅度比夏季大,最大值为 142.90 W/m^2 ,出现在 10:00 左右,最小值为 -29.77 W/m^2 ,出现在 17:00 左右;从上午 7:30 左右到 16:00,图 4 中曲线表现为正值,说明此时后墙内表面吸收的热量大于放出的热量,总体表现为从温室内部吸收热量;从 16:00 到次日 7:00 左右,曲线表现为负值,说明这个阶段后墙向温室内部放热。经积分运算,辽沈 I 型日光温室后墙,在秋季阴天时蓄热时间为 8 h 左右,共吸收热量 4.35 MkJ ,放

热时间为 16 h 左右,共放热 14.44 MkJ ,损失热量为 -10.90 MkJ ,吸放热时间比为 0.5,损失吸收热量比为 -0.617 ,说明有一部分热量来自外部环境;晴天时蓄热时间为 9 h,共吸收热量 58.55 MkJ ,放热时间为 15 h,共放热 22.41 MkJ ,热量损失为 36.14 MkJ ,吸放热时间比为 0.5,损失吸收热量比为 0.617。由图 4 可看出,辽沈 I 型日光温室后墙内侧温度在秋季阴天时的变化幅度与夏季相比稍有增加,最大值为 25.28°C ,与夏季是相当,最小值为 15.92°C ,与夏季相比约减少 5°C ,晴天时最大值为 31.67°C ,与夏季时相当,最小值为 13.4°C ,与夏季相比约减少 5°C ;无论阴天、晴天最大值一般出现在 14:00~15:00,最小值出现在 5:00 左右。辽沈 I 型日光温室后墙内侧温度、热流量日变化在秋季时有其自身的特征;温度无论阴天、晴天最大值比夏季稍低一些,最小值比夏季约低 5°C ,昼夜温差较大,秋季放出的热量相对夏天时有所增加,晴天时吸收的热量比夏天多,阴天时就相对减少了,但阴天时也从外界吸收的热量,并且比夏天时吸收的还多。

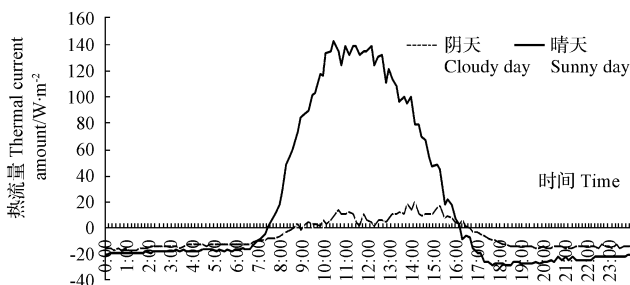


图 4 辽沈 I 型日光温室后墙内侧秋季热流量和温度日变化规律

注:热流量数据来源:阴天数据是 20 d 的平均值;晴天数据是 40 d 的平均值。温度数据来源:阴天数据是 27 d 的平均值;晴天数据是 45 d 的平均值。

Fig. 4 Changes of thermal current amount and temperature of the back wall on cloudy day and sunny day in autumn

Note: Data sources of thermal current amount: cloudy day data is average of 20 days of; sunny day data is average of 40 days. Cloudy day data is average of 27 days of; sunny day data is average of 45 days.

2.2 后墙内侧温度预测模型的建立

由表 1 可知,白天后墙内侧温度(T_{hqnd})与室内平均日照量(SR)、室外气温(T_{qww})、室内气温(T_{qwn})、前屋面内侧温度(T_{qwmn})、室内地表温度(T_{ldw})呈正相关,与后屋面内侧温度(T_{hwmn})和后墙外侧温度(T_{hqw})呈负相关,与后墙外侧温度之间相关性未达到显著水平。夜间后墙内侧温度与室外平均气温、室内平均气温、后屋面内侧温度呈正相关,与前屋面内侧平均温度、室内地表温度和后墙外侧温度呈负相关,与后墙外侧温度之间相关性未达到显著水平。

表 1 后墙内侧平均温度与各因子的偏相关系数

Table 1 Vice-correlation coefficients on average temperature of back wall inside and different factors

T_{hqnd}	SR	T_{qwn}	T_{qww}	T_{qwmn}	T_{ldw}	T_{hwmn}	T_{hqw}
白天 Day	0.8843 *	0.8125 *	0.5845 *	0.6145 *	0.5941 *	-0.4657 *	-0.2118
夜间 Night		0.7865 *	0.3538	-0.4766 *	-0.5998 *	0.4532 *	-0.1987

注: * 表示偏相关系数达到显著水平($P=0.05$),下同。

Note: * express partial correlation coefficients reach significant level($P=0.05$), the same below.

2.2.1 白天后墙内侧温度预测模型的建立 通过逐步回归法确定白天后墙内侧温度与各因子多元回归线性模型为: $T_{\text{hqnd}} = 2.856 + 0.064\text{SR} + 0.651 T_{\text{qwn}} + 0.476 T_{\text{ldw}} + 0.438 T_{\text{qww}} + 0.433 T_{\text{qwmn}} - 0.619 T_{\text{hwmn}}$ ($R^2=0.9776, F=1056.21, P<0.0001$)。说明整个回归模型有显著性意义。式中:SR—室内平均日照量, MkJ ; T_{hqnd} —白天后墙内侧温度, $^\circ\text{C}$; T_{qwn} —白天温室内气温, $^\circ\text{C}$; T_{ldw} —白天温室内 1 cm 处地温, $^\circ\text{C}$; T_{qww} —白天温室外气温, $^\circ\text{C}$; T_{qwmn} —白天前屋面内侧温度, $^\circ\text{C}$; T_{hwmn} —白天后屋面内侧温度, $^\circ\text{C}$ 。由表 1 可知,逐步回归法分析不同因子组合对后墙内侧温度在白天影响最大的为室内日照量,偏相关系数 0.8843,达到显著水平。由模型可以计算出:室内日照量每增加(减少) 1 W/m^2 ,后墙内侧温度则升高(降低) 0.064°C ;其次为室内气温,偏相关系数为 0.8125,达到显著水平。室内气温每升高(降低) 1°C ,后墙温度则升高(降低) 0.651°C ;再次为前屋面内侧温度,偏相关系数为 0.6145,达到显著水平,前屋

面内侧温度每升高(降低)1℃,后墙内侧温度则升高(降低)0.433℃;再次为室内地表温度,偏相关系数为0.5941,达到显著水平,室内地温每升高(降低)1℃,后墙内侧温度则升高(降低)0.476℃;随后为室外气温,偏相关系数为0.5845,达到显著水平,室外气温每升高(降低)1℃,后墙温度则升高(降低)0.438℃;最后为后屋面内侧温度,偏相关系数为-0.4657,达到显著水平,后屋面内侧温度每升高(降低)1℃,后墙内侧温度则降低(升高)0.319℃。逐步回归分析结果表明(表2),室内平均日照量对模型的决定系数为0.8134,对模型的建立起重要作用,而室内气温、前屋面内侧温度、室内地温、室外气温及后屋面内侧温度的决定系数分别为0.0858、0.0665、0.0315、0.0056、0.0032。从累计贡献率 $R^2=0.9711$ 来看,该回归模型达到极显著水平,能够用该模型预测实测值的变化情况。从该模型中可以看出,后墙外侧温度在白天时对后墙内侧温度的影响较小,其偏相关系数为-0.2118。

表2 逐步回归引入各因子显著性概率
及各因子的贡献率、累计贡献率(后墙白天)

Table 2 The coefficient effect percentage of different factors
on hypocotyle length(back wall day time)

因子 Factor	In	$R^2 * 2(\text{Partial})$	$R^2 * 2(\text{Model})$	$Pr > F$
SR	1	0.8134	0.8134	0.0001
T_{qwnd}	2	0.0858	0.9156	0.0048
T_{qwmnd}	3	0.0665	0.9296	0.0053
T_{1dwd}	4	0.0315	0.9481	0.0056
T_{qwwd}	5	0.0056	0.9567	0.0121
T_{hwmd}	6	0.0032	0.9711	0.0237

2.2.2 夜间后墙内侧温度预测模型的建立 通过逐步回归法确定夜间后墙内侧温度于各因子多元回归线性模型为: $T_{hqnn} = 11.156 + 0.639 T_{qwnn} - 0.323 T_{qwmnn} - 0.316 T_{1dwn} + 0.519 T_{hwmmn}$ 。($R^2=0.9546$, $F=937.6$, $P<0.00098$)。说明整个回归模型有显著性意义。式中: T_{hqnn} —后墙内测温度,℃; T_{qwnn} —温室内气温,℃; T_{qwmnn} —前屋面内测温度,℃; T_{1dwn} —温室内1 cm处地温,℃; T_{hwmmn} —后屋面内测温度,℃。由表1可知,逐步

回归法分析不同因子组合对后墙内侧温度在夜间时影响最大的为室内气温,偏相关系数为0.7865,达到显著水平。室内气温每升高(降低)1℃,后墙温度则升高(降低)0.639℃;再次为室内地表温度,偏相关系数为-0.5998,达到显著水平,室内地温每升高(降低)1℃,后墙内侧温度则降低(升高)0.316℃;随后为前屋面内侧温度,偏相关系数为-0.4766,达到显著水平,前屋面内侧温度每升高(降低)1℃,后墙内侧温度则降低(升高)0.323℃;最后为后屋面内侧温度,偏相关系数为0.4532,达到显著水平,后屋面内侧温度每升高(降低)1℃,后墙温度则升高(降低)0.519℃。

逐步回归分析结果表明(表3),室内气温对模型的决定系数为0.7376,对模型的建立起重要作用,而室内地温、前屋面内侧温度及后屋面内侧温度的决定系数分别为0.356、0.245、0.189。从累计贡献率来看,该回归模型达到极显著水平,能够用该模型预测实测值的变化情况。从该模型中可以看出,温室外气温及后墙外侧温度在夜间时对后墙内侧温度的影响较小,其偏相关系数分别为0.3538、-0.1987。

表3 逐步回归引入各因子的显著性概率
及各因子的贡献率、累计贡献率(后墙夜间)

Table 3 The coefficient effect percentage of different factors
on hypocotyle length (back wall night time)

因子 Factor	In	$R^2 * 2(\text{Partial})$	$R^2 * 2(\text{Model})$	$Pr > F$
T_{qwnn}	1	0.7376	0.7376	0.0001
T_{1dwn}	2	0.356	0.8123	0.0156
T_{qwmnn}	3	0.245	0.8377	0.0241
T_{hwmmn}	4	0.189	0.8455	0.0322

2.3 模型验证

为了验证模拟结果的正确性和可靠性,选择了1月份的一天作为观测对象,后墙内侧温度的观测值与模拟值比较,由图5可看出,模拟值与实测值基本符合,预测值与实测值之间的相关系数 R^2 白天时为0.9319,夜间时为0.9284,表明由此建立的模型在显著水平0.05下是可靠的。

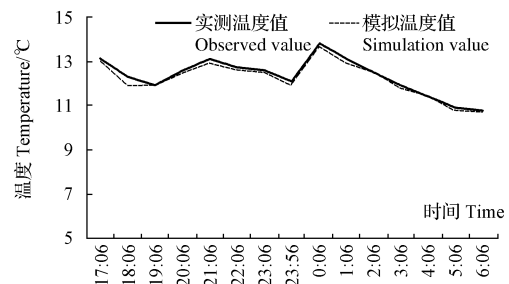
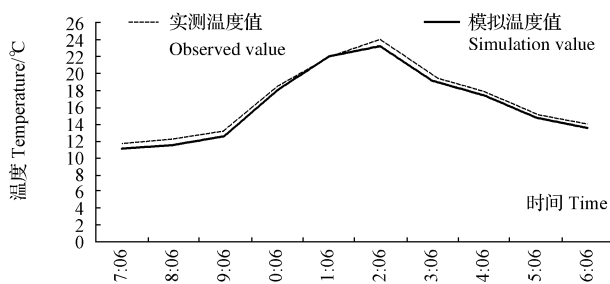


图5 模拟值与实测值比较

注:a:后墙白天;b:后墙夜间。

Fig. 5 The compare of the numerical simulation of the back wall temperature to the observation results

Note:a;Back wall at day time;b; Back wall at night time.

3 结论与讨论

中间带有苯板的夹心红砖墙具有很好的保温能力,能够满足北方冬季蔬菜生产的需要,这与杨仁全等^[10]研究结果相同。温室内气温及维护材料温度变化主要受到光照影响,晴天的时候应充分利用太阳能,通过增加前屋面覆盖材料的透光性等措施,增加太阳能的吸收总量,使温室内达到较高的温度,以符合作物生长需求。在影响后墙保温功能的各项因子中,温室内气温和土壤1 cm处温度对其影响最大,其次是后屋面等与后墙相连的建筑物,所以可通过加强后屋面的保温性能来提高后墙的保温性。温室后墙内侧墙体白天吸热,夜间放热,墙体应选择保温蓄热能力好的材料,以提高夜间温室内温度。建立了随外界影响因子变化的后墙温度数学模型,为温室自动化控制提供了理论依据。

参考文献

[1] 孟力,杨其长,宋明军. 北京地区日光温室温光及蓄热性能的实验研究[J]. 陕西农业科学, 2008(4): 61-64.

- [2] 杨昊谕,于海业. 东北地区日光温室保温性能试验研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2007, 28(3): 8-10.
- [3] 郜庆炉,梁云娟,段爱旺. 日光温室光照特点及其变化规律研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 200-203.
- [4] Deng Y, Fedler C B. Multi-layered soil effects on vertical ground-coupled heat pump design[J]. Transactions of ASAE, 1992, 35(2): 687-694.
- [5] Kimball B A. Simulation of energy balance of greenhouse [J]. Agric. Meteorol, 1993(11): 243-260.
- [6] Zhang L, Lemeur R. Effect of aerodynamic resistance on energy balance and Penman-Montherth estimates of evapotranspiration in greenhouse conditions [J]. Agricultural of Forest Meteorology, 1992, 58: 209-228.
- [7] 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]. 中国农业生态学报, 2006, 14(4): 185-189.
- [8] 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, 2010, 18(6): 332-337.
- [9] 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蓄热性评价方法的研究[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2008, 26(5): 411-415.
- [10] 杨仁全,马承伟,刘永丽,等. 日光温室墙体保温蓄热性能模拟分析[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2008, 26(5): 449-453.

The Change of Temperature of the Back Wall in Solay Greenhouse and Forecasting Model

HE Yu¹, XU Hui², LI Tian-lai², YAMAKUQI Tomoharu³

(1. Qipanshan Exploitation Area Management Committee, Shenyang, Liaoning 110161; 2. Institute of Protected Horticulture of Liaoning, College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161; 3. Insitute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba, Tsukuba, Japan 305-8572)

Abstract: Temperature of the back wall, soil temperature and air temperature in greenhouse located in College of Horticulture, Shenyang Agricultural University were measuremented and analyzed, based on the model of the thermal balance, using diathermanous theory analyzed the thermal model of greenhouse, using Matlab software proceed nonlinear regression, and fits equation the parameters of this model were obtained. The results showed that this model could accurately reflect the temperature changes of back wall in the greenhouse. The model was the basis for the forecast temperature changes of back wall and control of automation. For the further study insulation properties of greenhouse, achieved intelligent greenhouse feed-forward control provided the means and basis.

Key words: solar greenhouse; thermal current amount; temperature of the back wall; forecasting model