

Venlo 型联栋玻璃温室温湿度动态模型研究

马万征¹, 李忠芳², 章芳定¹, 马万敏³, 荆法国⁴, 谢越¹

(1. 安徽科技学院 城建与环境学院, 安徽 凤阳 233100; 2. 安徽科技学院 机电与车辆工程学院, 安徽 凤阳 233100;

3. 青岛市开发区农机监理管理站, 山东 青岛 266555; 4. 山东省冠县武训高级中学, 山东 冠县 252500)

摘要:根据温室能量和质量的物理学平衡原理, 基于作物生长与温室环境的相互影响, 建立了 Venlo 型连栋玻璃温室内的温度、湿度模型, 并对模型进行了试验验证。结果表明: 模型对温度、湿度预测值与实测值的决定系数(R^2)和标准误差(RMSE)分别为 0.9861、0.803 和 0.8、3.727, 模型的预测结果与实测值之间的吻合度较好。因此, 研究构建的模型能较准确的预测温室内的温、湿度, 可以为温室环境调控提供重要理论依据。

关键词:温室环境; 黄瓜; 温度; 湿度; 模型

中图分类号:S 626.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)17-0049-03

温室是一个半封闭的结构, 其内部环境特点为多时间尺度、非线性、大滞后、强耦合、多扰动^[1]。为了使作物得到较好的光照, 通常围护结构中透明材料占整个温室的 90% 以上, 室内环境因子主要受室外环境的变化和作物对环境的影响, 研究温室环境的变化规律不能只考虑室外环境对室内环境影响。目前, 国内外对温室环境的研究很多, 如毛罕平等^[2]以 Venlo 型连栋玻璃温室为对象, 研究不同调控措施及组合下夏季温室内温度、湿度、光照强度等环境因子的日周期变化规律及调控效果。戴剑锋等^[3]建立了以温室结构、温室覆盖材料、温室内作物(高度、叶面积指数)为参数的温室小气候模拟模型, 该研究为进一步探讨温室环境的优化调控提供理论依据和决策支持。程秀花等^[4]对 Venlo 型玻璃温室自然通风热环境时空分布进行了数值模拟。王双喜等^[5]对连栋温室温湿度耦合变化特性进行了研究。Takakur^[6]分析了温室中温度、湿度、通风三者之间的关系。但是, 大多数的文献并没有考虑到作物对环境的影响, 显然, 这对温室环境的优化调控是远远不够的, 因此, 在建立温室环境模型的同时, 必须考虑作物对环境的动态影

响, 这对温室环境优化调控有着重要的。

1 材料与方法

1.1 模型来源

Tchamitchian M 等^[7]用 3 个一阶微分方程描述温室环境, 包括温室内温度、温室内土壤温度、温室内二氧化碳浓度来描述温室的环境模型。但这个模型还缺少一些重要的环境因子, 如温室内湿度、加热管道的温度等。因此, Tap R F^[8]增加了这些重要的变量, 用 5 个一阶微分方程全面的描述温室环境的变化规律。

该模型主要参考了 Tap R F 的模型, 建立了栽有黄瓜的 Venlo 型玻璃温室的温湿度模型, 并对模型进行了试验验证。

1.1.1 温室内温度模型

$$C_g \frac{dT_g}{dt} = k_v(T_o - T_g) + \alpha(T_p - T_g) + k_r(T_o - T_g) + k_s(T_s - T_g) + \eta G - \lambda E + \frac{\lambda}{\epsilon + 1} M_c \quad (1)$$

其中, C_g 为温室热容量, $J \cdot ^\circ C^{-1} \cdot m^{-2}$; T_g 为温室内空气温度, $^\circ C$; t 为时间, k_v 通风传热系数, $W \cdot ^\circ C^{-1} \cdot m^{-2}$; T_o 为温室外的空气温度, $^\circ C$; α 为加热管道的传热系数, $W \cdot ^\circ C^{-1} \cdot m^{-2}$; T_p 为加热管道的温度, $^\circ C$; k_r 为屋顶热传递系数, $W \cdot ^\circ C^{-1} \cdot m^{-2}$; k_s 为土壤热传递系数, $W \cdot ^\circ C^{-1} \cdot m^{-2}$; T_s 为温室内土壤温度, $^\circ C$; η 为辐射转换因子, G 为室外短波辐射, W/m^2 ; λ 为水的蒸发能量, J/g ; E 为作物的蒸腾速率, $g \cdot s^{-2} \cdot m^{-2}$; ϵ 为覆盖物的耐热率。 M_c 温室覆盖物冷凝水总量, $g \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$ 。

$$k_v = M_{air} c_p \Phi_v \quad (2)$$

其中 M_{air} 是空气密度, kg/m^3 ; c_p 是空气比热, $J \cdot ^\circ C \cdot$

第一作者简介:马万征(1978-), 男, 山东冠县人, 博士, 现主要从事现代设施农业与环境控制及环境科学与工程研究工作。E-mail: mwzujs@126.com.

基金项目:国家公益性行业(农业)专项经费资助项目(201103004); 安徽省长三角联合攻关资助项目(1101c0603046); 安徽科技学院农业资源利用学重点学科资助项目(AKXK20101-3); 安徽省高校省级自然科学研究资助项目(KJ2012B054); 安徽科技学院大学生科研基金课题资助项目。

收稿日期:2012-04-23

kg^{-1} ; Φ_v 是通风流量, m^3/s 。

$$\Phi_v = \left(\frac{\sigma_{ul}}{1 + \chi_{ul}} + \zeta + \xi_{uw} \right) w + \psi \quad (3),$$

其中, σ 为通风率参数, %; r_{ul} 为背风窗的相对开度, %; χ 为通风率参数, %; ζ 为通风率参数; r_{uw} 为迎风窗的相对开度, %; w 为室外风速, m/s ; ψ 通风率参数, m/s 。

$$\lambda = l_1 - l_2 T \quad (4),$$

其中, l_1 为蒸发能量系数, J/g ; l_2 为蒸发能量系数, $\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$; T 为温度, $^\circ\text{C}$ 。

$$E = W_L \frac{qsn\tau G + \rho c_p D_g g_b}{\lambda \left(s + \gamma \left(1 + \frac{g_b}{g} \right) \right)} \quad (5),$$

其中, W_L 为叶干重指数, g/m^2 ; q 为辐射参数, m^2/g ; s 为饱和水蒸气压力曲线斜率, $\text{kPa}/^\circ\text{C}$; r 为水蒸气压力亏损参数, m^2/g ; ρ 为水的密度, kg/m^3 ; D_g 为空气亏损蒸气压, kPa ; g_b 为边界层导度, mm/s ; γ 为; g 为叶片导度, mm/s 。

$$s = s_1 T_g^2 + s_2 T_g + s_3 \quad (6),$$

其中, s_1 , s_2 和 s_3 是多项式参数。

$$D_g = p_g^* - p_g \quad (7),$$

p_g^* : 饱和水蒸气压力, p_g : 空气中水蒸气压力。

$$p_g^* = a_1 e^{\frac{a_2 T_g}{a_3 + T_g}} \quad (8),$$

a_1 , a_2 , a_3 为饱和水蒸汽压力参数。

$$p_g = \Delta(T_g + T_o)V_i \quad (9),$$

$$\begin{cases} M_c = m_1 |T_g - T_c|^{m_2} (W_g - W_c^*) & W_g > W_c^* \\ M_c = 0 & W_g \leq W_c^* \end{cases} \quad (10),$$

其中 $m_1 |T_g - T_c|^{m_2}$ 是质量传递系数, m_1 和 m_2 是质量传递系数参数。

1.1.2 温室内湿度模型

$$\frac{dV_i}{dt} = \frac{A_g}{V_g} (E - \Phi_v (V_i - V_o) - M_c) \quad (11),$$

V_i 和 V_o 代表室内和室外的绝对湿度。 M_c 仅仅考虑温室覆盖物上的冷凝, 不考虑作物上的冷凝。

1.2 试验条件

试验在江苏大学 Venlo 型联栋玻璃温室中进行, 温室南北走向, 长 20 m。试验在温室西边 2 跨中进行, 温室跨度为 6.4 m, 温室天沟高 3.8 m。主要调控设备有: 天窗 2 组, 可分别向东、西开启; 侧窗 1 组, 位于西侧墙; 温室上方装有外遮阳, 内遮阳; 2 组环流风机, 每组各 2 台。温室南侧装有 2 台排风机, 北侧有湿帘, 根据不同的天气情况选择不同的调控设备。

1.3 试验方法

温室内种植“津优 1 号”黄瓜, 2010 年 8 月 22 日用穴盘育苗, 9 月 5 日定植, 株距 35 cm, 行距 85 cm, 定植后按照中国现代温室商业化生产的标准进行生产和栽培管理。

1.3.1 环境数据的测量 温室内的温湿度由装在室内的温湿度传感器检测, 通过计算机控制系统自动记录保存数据。记录的数据还包括光照强度、外遮阳的开启大小、湿帘的开启温度和风机开启个数。室外气象因子由装在室外的气象站检测, 通过计算机控制系统自动记录保存数据。测量项目包括室外的温度、湿度、风速、太阳总辐射和太阳平均辐射。采集的数据计算机每隔 10 min 记录保存 1 次。

1.3.2 叶面积指数测量 叶面积指数 LAI 采用冠层分析仪 AccuPAR 进行测量。其测量原理是依据作物对不同光谱的相对敏感性。早晨 8:00、中午 12:00、晚上 18:00 各测量 1 次, 每次选择 3 株, 用平均值作为实际的叶面积指数, LAI 为 3。温室内温湿度动态模型的主要参数见表 1。

表 1 模型参数

参数	符号	数值	来源
温室体积/ m^3	V_g	1 036.8	计算
空气密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$		1.2	—
空气定压比热/ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	C_g	1.01	—
通风热传递系数/ $\text{W} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	K_v	3.2	试验
屋顶热传递系数/ $\text{W} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	K_r	7.9	试验
土壤热传递系数/ $\text{W} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	K_s	7.9	试验
辐射转换因子	η	0.7	试验
覆盖物热阻抗率	ϵ	3.0	—
浮法玻璃厚度/ mm	d	4	—
覆盖材料表面积/ m^2	A_g	443.4	计算

2 结果与分析

由图 1、2 可知, 温室内的模拟温湿度与实测温湿度曲线吻合较好, 趋势一致。温度 $R^2 = 0.9861$, $RMSE = 0.8$ 。由图 1 可知, 模拟温度高于实测温度, 这主要由于温度模拟时没有考虑温室覆盖物的散热等热交换的影响, 从而造成模拟温度高于实测温度。由图 2 可知, 在夜晚湿度的模拟值低于实测值, 而在白天湿度模拟值高于实测值。湿度 $R^2 = 0.803$, $RMSE = 3.727$ 。在构建温湿度模型时, 考虑了作物的蒸腾作用对温度、湿度的影响, 这样提高了温湿度模型的精度。

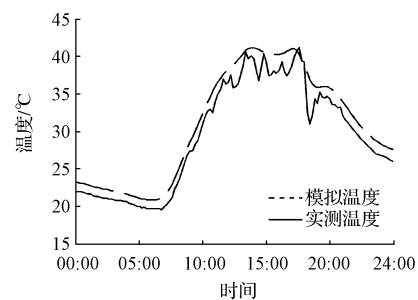


图 1 温室内温度的模拟值和实测值的比较

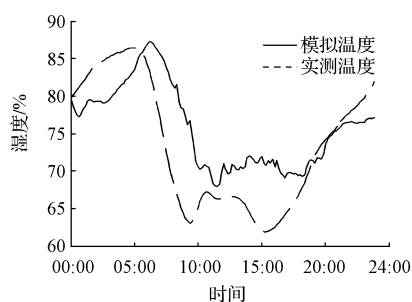


图2 温室内湿度的模拟值和实测值的比较

3 结论

试验结果表明,模型对温度、湿度预测值与实测值的决定系数(R^2)和标准误差(RMSE)分别为0.9861、0.803和0.8、3.727,模型的预测结果与实测值之间的吻合度较好。因此,研究构建的模型能较准确的预测温室内的温、湿度,可以为温室环境调控提供重要理论依据。

参考文献

[1] 马万征,马万敏.智能温室环境控制的研究现状及发展趋势[J].北方园艺,2011(23):179-180.

[2] 毛罕平,于殿龙,付为国,等. Venlo 型连栋玻璃温室夏季温湿度的调控措施及效果[J]. 江苏农业科学,2008(3):256-259.

[3] 戴剑锋,罗卫红,徐国彬,等. 长江中下游地区 Venlo 型温室空气温湿度以及黄瓜蒸腾速率模拟研究[J]. 农业工程学报,2005,21(5):107-112.

[4] 程秀花,毛罕平,伍德林,等. 玻璃温室自然通风热环境时空分布数值模拟[J]. 农业机械学报,2009,40(6):179-183.

[5] 王双喜,刘淑珍,李志伟,等. 连栋温室温湿度耦合变化特性的研究初探[J]. 农业工程学报,2002,18(增刊):70-73.

[6] Takakur T. The Relationship among temperature, humidity and ventilation in greenhouse. Greenhouse systems: Automation, culture, and environment [C]// Proceedings from the greenhouse system international conference. Ithaca, N Y. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension, 1994:20-22.

[7] Tchamitchian M, van Willigenburg L G, van Straten G. Short term dynamic optimal control of the greenhouse climate[m]. MRS report, 1992:92-93.

[8] Tap R F, van Straten G, van Willigenburg L G. A dynamic model for the optimal control of greenhouse tomato crop production[D]. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 2000.

(该文作者还有王艳,单位同第一作者。)

Study on the Dynamic Model of Temperature and Humidity Inside Venlo Glasshouse with Cucumber Crops

MA Wan-zheng¹, LI Zhong-fang², ZHANG Fang-ding¹, MA Wan-min³, JING Fa-guo⁴, XIE Yue¹, WANG Yan¹

(1. College of Urban Construction and Environment, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui 233100; 2. School of Mechanical-electronic and Automobic Engineering University, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui 233100; 3. Qingdao Development Zone Agricultural Machinery Supervision and Management Station, Qingdao, Shandong 266555; 4. Guanxian Wuxun High Middle School of Shandong Province, Guanxian, Shandong 252500)

Abstract: Considering effects between the growth of crop and greenhouse environment, a greenhouse simulation model was developed based on the principle of greenhouse energy and mass balances, including temperature model and humidity model, the simulation results were validated by experiment. The results showed that the simulated values agreed well with the measured ones. The determination coefficient (R^2) and squared error (RMSE) between the simulated and the measured value for the simulated values of temperature and humidity were 0.9861, 0.803 and 0.8, 3.727, respectively. Based on the results obtained in this study, it could be concluded that the model developed could give a satisfactory prediction of temperature and humidity, the model developed in this study could provide theoretical basis for the optimization of the greenhouse environment.

Key words: greenhouse environment; cucumber; temperature; humidity; model