

孟翠丽,杨文刚,王 涵,等. 武汉市日光温室冬季温湿度环境的神经网络模拟[J]. 江苏农业科学,2017,45(3):176-179.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.03.050

# 武汉市日光温室冬季温湿度环境的神经网络模拟

孟翠丽,杨文刚,王 涵,陈 鑫,陆鹏程,胡幼林

(武汉农业气象试验站,湖北武汉 430040)

**摘要:**选取武汉市农业气象试验站聚氯乙烯(polyvinyl chloride,简称PVC)温室的小气候观测数据及台站资料,以PVC温室外的气温、相对湿度、风速、太阳辐射为输入变量,温室内温度、相对湿度为输出变量,分别建立典型天气状况下PVC温室温湿度环境的逆向反馈(back propagation,简称BP)神经网络预测模型。结果表明:气温模拟值与实测值的标准误差(root mean squared error,简称RMSE)为1.1~1.4℃,相对误差为4.0%~5.7%,相对湿度的RMSE为2.1%~3.4%,相对误差为1.7%~3.0%;气温预测值与实测值的气温RMSE为1.5~2.4℃,相对误差为0.7%~1.7%,相对湿度RMSE为1.5%~4.2%,相对误差为1%~3%。模型模拟效果良好,可为PVC温室内温湿度环境的合理调控提供科学依据。

**关键词:**武汉市;PVC温室;神经网络;模拟

**中图分类号:**S162.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)03-0176-03

2011年武汉市农业种植业产值175亿元,其中蔬菜(含菜用瓜)产值110亿元,占种植业总产值的63%<sup>[1]</sup>,蔬菜产业已成为武汉市种植业中的主导产业,更是直接影响市民生活的“菜篮子”工程,历来受到政府重视。随着经济的发展、科技的不断更新,我国农业已经进入从传统农业向现代农业转化的关键阶段。设施蔬菜作为一种现代农业模式,充分运用现代科学技术为蔬菜生产提供可控、适宜的温湿度、光照、水肥等环境条件,在一定程度上摆脱农业生产对自然环境的依赖。设施小气候是影响作物生长发育的重要因素,通常气象部门只发布大气环境温湿度预报,因此开展温室内小气候预报模型的研究可为设施小气候环境调控提供科学依据,有效提升农业气象服务水平。

国内外学者在神经网络数值模拟方面已有一定研究。Businger将温室分为覆盖物、室内空气、作物、土壤4层进行小气候模拟,建立了各层稳态能量平衡方程<sup>[2]</sup>。Froehlich等利用神经网络方法模拟温室的温度与室外太阳辐射、温度、湿度和云量的关系<sup>[3]</sup>。Joliet建立了预测和优化温室内湿度与蒸发模型<sup>[4]</sup>。李树军等建立了温室和塑料大棚均适用的能量平衡和质量平衡方程组,为温室热工设计提供了理论依据<sup>[5]</sup>。司慧萍等研究了日光温室的光环境<sup>[6-7]</sup>。李良晨等研究了日光温室、塑料大棚及塑料连栋温室的小气候模拟<sup>[8-10]</sup>。但针对典型天气状况分别开展模型预报还鲜见报道。本研究针对武汉地区聚氯乙烯(PVC)温室,利用逆向反馈(BP)神经网络对温室的温湿度环境进行模拟和分析,从而为PVC温室环境调控提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源

PVC温室小气候观测数据来源于武汉市农业气象试验站,试验地点位于东西湖区慈惠农场,温室为南北方向,长度43 m,跨度8 m,中脊高5 m。试验期间不采取另外的保温措施,温室内不种植作物,观测仪器为江苏省无线电科学研究所有限公司生产的ZQZ-II型自动观测仪,观测项目包括距地面高度1.5 m处的室内气温、相对湿度及地表温度,每隔10 min自动采集数据1次。试验观测时间为2012年12月至2013年2月。

### 1.2 天气类型划分方法

气象上按照日照量别分类标准一般分为3级:即日照百分率 $S \geq 60\%$ , $20\% < S < 60\%$ , $0 \leq S \leq 20\%$ 。本研究按照这一标准进行分类分析,并分别称它们为晴天、多云、阴天3种天气类型。

### 1.3 BP神经网络原理

BP神经网络是一种多层前馈神经网络,该网络的主要特点是信号前向传递,误差反向传播。在前向传递中,输入信号从输入层经隐含层逐层处理,直至输出层。每一层的神经元状态只影响下一层的神经元状态。如果输出层得不到期望输出,则转入反向传播,根据预测误差调整网络权值和阈值,从而使BP神经网络预测输出不断逼近期望输出。BP神经网络的拓扑结构如图1所示。

### 1.4 模型检验方法

本研究采用相对误差(relative error,简称RE)、标准误差(root mean squared error,简称RMSE)对模拟值和实测值之间的拟合度进行统计分析,来验证模型的精确度。

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left| \frac{SIM_i - OBS_i}{OBS_i} \times 100\% \right|}{n}; \quad (1)$$

收稿日期:2015-12-19

基金项目:湖北省气象局科技发展基金(编号:2015Q07)。

作者简介:孟翠丽(1984—),女,陕西渭南人,硕士,工程师,主要从事气象与农业防灾减灾、设施农业气象服务研究。E-mail:linyinmel@163.com。

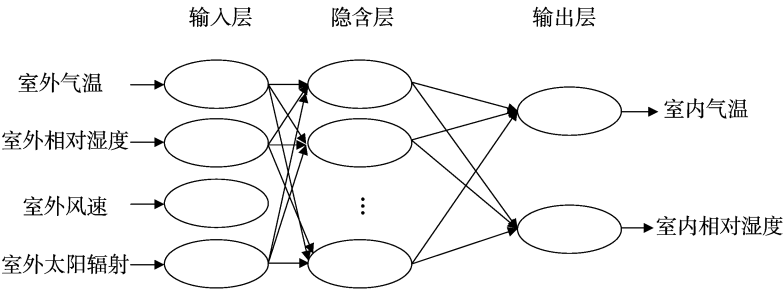


图1 BP神经网络的拓扑结构

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (SIM_i - OBS_i)^2}{n}} \quad (2)$$

式中： $OBS_i$  为温室内气温(℃)、相对湿度(%)的实测值； $SIM_i$  为相应的拟合值； $n$  为样本数。 $RE$ 、 $RMSE$  的值越小，拟合值与实测值之间的偏差越小，模型的模拟预测精度越高。

2 模型构建

2.1 输入因子分析

应用数理统计方法，分析温室内温度(℃)、相对湿度(%)与外界气象要素[气温(℃)、相对湿度(%)、风速(m/s)、太阳辐射(W/m<sup>2</sup>)]之间的相关性。由表1可见，室内温度与室外气温、太阳辐射之间的关系通过了0.01水平的显著性检验，呈极显著正相关；室内温度与室外相对湿度在晴天、多云状况下呈极显著负相关，而在阴天状况下相关性不显著；室内温度与室外风速在晴天、多云状况下呈极显著正相关，而在阴天状况下呈极负相关。室内相对湿度与室外风速、太阳辐射均呈极显著负相关；与室外相对湿度均呈极显著正相关，与室外气温在晴天、多云状况下呈极显著负相关，在阴天状况下呈显著正相关(表1)。

表1 PVC温室内外气象要素之间的相关系数

气象要素	天气状况	室外气温	室外相对湿度	室外风速	室外太阳辐射
室内温度	晴天	0.943 **	-0.791 **	0.438 **	0.729 **
	多云	0.922 **	-0.760 **	0.214 **	0.691 **
	阴天	0.951 **	0.014	-0.128 **	0.356 **
室内相对湿度	晴天	-0.806 **	0.896 **	-0.568 **	-0.702 **
	多云	-0.644 **	0.855 **	-0.403 **	-0.637 **
	阴天	0.077 *	0.888 **	-0.303 **	-0.434 **

注：“\*\*”表示在0.01水平上显著相关，“\*”表示在0.05水平上显著相关。

2.2 模型构建

为了研究冬季不同天气状况下BP神经网络对温室内湿度的模型效果，构建了3个单隐层结构神经网络模型(图1)。模型结构分为3层，第1层为输入层，4个神经元分别为室外气温( $T_{in}$ )、室外相对湿度( $RH_{in}$ )、室外风速( $W_{in}$ )、室外太阳辐射( $R_{in}$ )；第2层为隐含层；第3层为输出层，2个神经元分别是室内气温( $T_{out}$ )、室内相对湿度( $RH_{out}$ )。为了提高神经网络训练的效率和网络的泛化性能，在训练前对所有样本数据都进行归一化处理<sup>[26]</sup>，即：

$$x_i = \frac{x_{io} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

式中： $x_i$  为第*i*个输入变量变换后的数据( $i=1,2,3,4$ )，取值范围在0~1； $x_{io}$  为试验数据； $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$  分别为观测值中最大值、最小值。模型运行中通过不断调节，最终选定最适合各自模型的传递函数、隐含层神经元数及相关的参数值：隐含层传递函数logsig，输出层传递函数purelin，网络训练算法trainlm，初始学习速率为0.9，最大循环次数1500次，目标误差0.01。神经网络模拟采用MATLAB软件实现。

3 结果与分析

3.1 训练结果分析

选取室外气温、相对湿度、风速、太阳辐射及室内气温、相对湿度为神经网络的训练样本和检验样本(表2)，将训练样本输入神经网络模型，完成网络训练和检验后，得到1组网络权值和阈值，再将预测样本输入神经网络模型。通过以上方法，模拟得出温室内气温、相对湿度。由训练输出的温室内气温和相对湿度与实测值之间的拟合曲线(图2)可以看出：冬季温室内气温和相对湿度的模拟值和实测值均分布在1:1线附近，两者之间的气温决定系数在0.94以上，相对湿度决定系数在0.86以上。气温在晴天状况下绝对误差为1.01℃，相对误差为4.3%，标准误差为1.4℃；多云状况下绝对误差为1.00℃，相对误差为5.7%，标准误差为1.3℃；阴天状况下绝对误差为0.8℃，相对误差为4.0%，标准误差为1.1℃(图2-a~图2-c)。相对湿度在晴天时绝对误差为2.4%，相对误差为3.0%，标准误差为3.3%；多云时绝对误差为2.5%，相对误差为3.0%，标准误差为3.4%；阴天时绝对误差为1.6%，相对误差为1.7%，标准误差为2.1%(图2-d~图2-f)。说明运用神经网络模型模拟，温室内气温实测值与训练值、相对湿度实测值与训练值之间有很好的拟合精度。

表2 模型的训练输入数据和模拟数据

气象要素	天气状况	训练样本数(个)	检验样本数(个)
气温、相对湿度	晴天	528	72
	多云	312	72
	阴天	960	72

3.2 预测结果分析

根据训练得到的一系列网络权值和阈值，输入预测样本进行网络预测，图3为温室内气温、相对湿度的预测值与实测

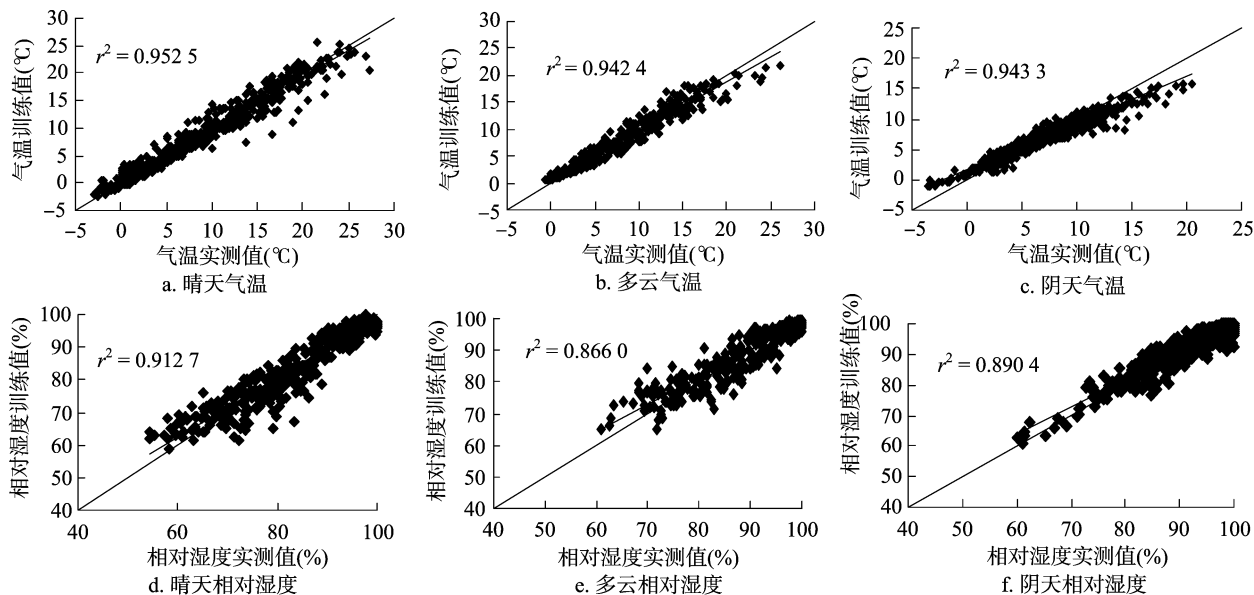


图2 冬季 PVC 室内气温、相对湿度训练值与实测值对比

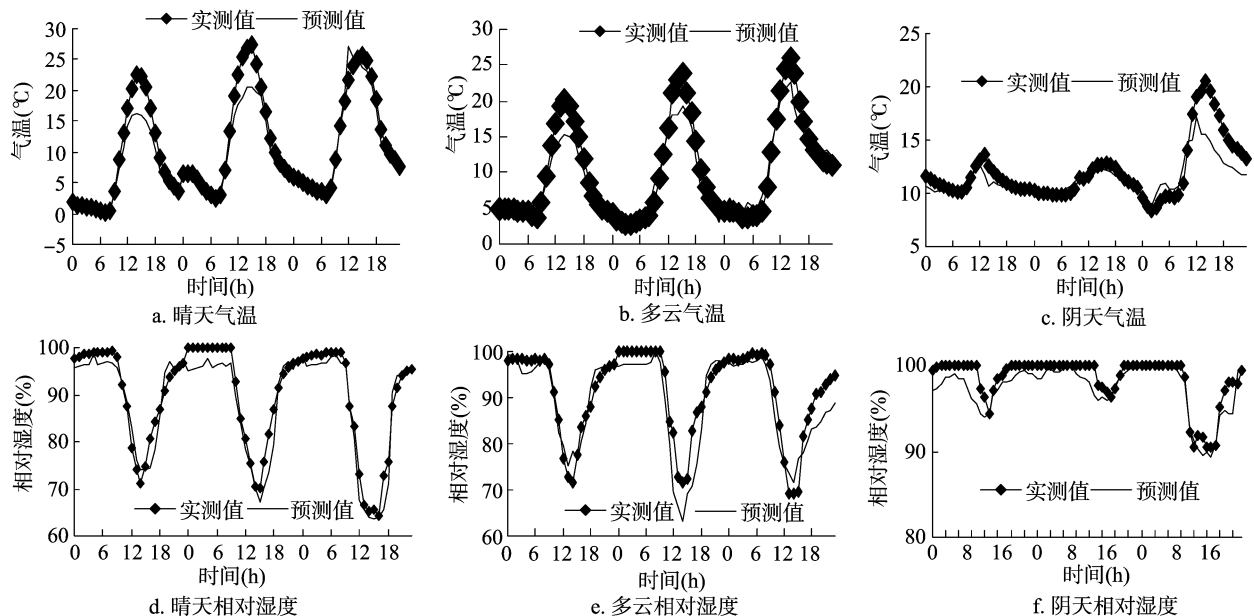


图3 冬季室内气温、相对湿度预测值与实测值对比

值在一段时间序列内的变化曲线。

冬季气温预测值与实测值的变化趋势有着较好的一致性,由图3可知,冬季模型中气温预测值与实测值在晴天时的绝对误差为 $1.65^{\circ}\text{C}$ ,相对误差为 $1.7\%$ ,标准误差为 $2.4^{\circ}\text{C}$ ;多云时绝对误差为 $0.53^{\circ}\text{C}$ ,相对误差为 $1.5\%$ ,标准误差为 $2.0^{\circ}\text{C}$ ;阴天时误差绝对值为 $0.97^{\circ}\text{C}$ ,相对误差为 $0.7\%$ ,标准误差为 $1.5^{\circ}\text{C}$ 。相对湿度预测值与实测值在晴天时的误差绝对值为 $2.4\%$ ,相对误差为 $2\%$ ,标准误差为 $3.0\%$ ;多云时绝对误差为 $3.2\%$ ,相对误差为 $3\%$ ,标准误差为 $4.2\%$ ;阴天时误差绝对值为 $1.19\%$ ,相对误差为 $1\%$ ,标准误差为 $1.5\%$ (图3-d~图3-f)。气温在日最大值附近的预测值偏小,相对湿度在日最大、最小值处预测值偏小,说明模型在极值的效果不佳,可能是由于极值附近样本数偏少造成的,在以后的研究中可考虑增加样本序列或对采取分时间段分别构建模型的方式提高模拟精度。

#### 4 结论

本研究建立的武汉地区冬季 PVC 温室温、湿度模拟模型,气温模拟值与实测值的  $RMSE$  在 $1.1 \sim 1.4^{\circ}\text{C}$ ,相对误差在 $4.0\% \sim 5.7\%$ ,相对湿度的  $RMSE$  在 $2.1\% \sim 3.4\%$ ,相对误差在 $1.7\% \sim 3.0\%$ ,模型模拟的精度较高,基本满足模型对精度的要求。

利用模型进行预测,结果表明,气温预测值与实测值的  $RMSE$  在 $1.5 \sim 2.4^{\circ}\text{C}$ ,相对误差在 $0.7\% \sim 1.7\%$ ,相对湿度  $RMSE$  为 $1.5\% \sim 4.2\%$ ,相对误差在 $1\% \sim 3\%$ 。温、湿度的预测值与实测值都比较相近,变化趋势基本一致,有较好的线性拟合关系。说明 BP 神经网络可应用于武汉市 PVC 室内温、湿度的模拟,模拟精度能够满足室内环境的预测要求。

神经网络模型是建立在大量训练数据基础上的,其模拟精度取决于采集的训练数据,通过人工调节参数、选用改进算

程宏杰,朱震宇,陈 泽. 农业物联网的设计与实现[J]. 江苏农业科学,2017,45(3):179-183.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.03.051

# 农业物联网的设计与实现

程宏杰<sup>1</sup>, 朱震宇<sup>2</sup>, 陈 泽<sup>2</sup>

(1. 江苏省宿迁市农业委员会, 江苏宿迁 223800; 2. 南京东邦科技有限公司, 江苏南京 210000)

**摘要:**近年来,我国农业物联网建设方兴未艾,但建设过程中面临的成本、维护、使用等诸多困难,极大地限制了农业物联网的推广和普及。针对上述传统农业物联网存在的问题,提出了一种新型农业物联网建设应用的模式作为现有农业物联网发展的突破口即农业物联网云。本试验所研究的农业物联网云打破了原有物联网的组合模式,使得传感器可以通过智能物联网网关直接将数据上传至云端,由云端的物联网云平台进行存储、分析、发布和共享,数据以云服务的方式提供给使用者直接使用,或根据业务流程开发应用程序内嵌使用,平台不仅降低了传统农业物联网的建设成本,还大大降低了系统的开发难度和维护成本,为农业物联网的发展提供了一种可行的解决方案。

**关键词:**农业物联网;云计算;智慧农业;物联网网关

**中图分类号:**S126 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)03-0179-05

我国农业要想实现高产、优质、安全可持续发展,必须借助科学技术手段,充分将信息化与智能化技术与传统农业相结合,以推动农业现代化发展<sup>[1]</sup>。农业物联网作为实现农业现代化的主要技术之一,其实质是物联网技术在农业生产以及管理方面的应用,通过无线网络和互联网传输,将采集到的农业生产过程相关信息进行融合、处理,最后通过智能化操作终端,实现农业产前、产中、产后的过程监控、科学决策和实时服务<sup>[2]</sup>。当前,世界范围内农业物联网技术研究广泛深入<sup>[3]</sup>,自 2009 年以来,我国农业物联网的发展进入了快速发展阶段,智能感知、无线传感网、云计算与云服务等物联网相关技术正在向农牧业生产、食品溯源、农产品供应链管理等领域

渗透,已成为物联网技术发展和应用的重点与新方向<sup>[4]</sup>。事实证明,积极推进农业物联网的应用发展,对促进农业信息化和农业现代化的融合具有重大意义<sup>[5]</sup>。但当前的农业物联网技术仍存在以下问题:(1)建设成本高。现阶段,物联网在农业方面的应用基本上是一些小型示范工程,每个示范项目都需要“采集-传输-存储-发布”一整套设备,并需要开发相关软件,建设成本高。(2)维护成本高。需要专业维护人员对传感器、网络、服务器、软件等进行维护,维护成本高。(3)数据无法共享。目前我国农业物联网产业商业模式并不成熟,农业物联网的技术体系尚未形成统一的标准,因此各个示范工程的数据结构、数据类型都存在着明显差异,无法进行有效的数据共享和数据整合。(4)标准化难度大。我国农业物联网产业还处于初级阶段,没有统一的标准体系出台,且分散建设导致技术标准、安全性、协议、终端等方面存在差异,在实际使用过程中,存在一系列技术问题。(5)日常使用复杂。农民自身文化素质还不够高,缺少懂科技、懂电脑、懂网络、懂市场、懂管理的新型知识型农民,难以实现农业物联网的日常使用。

收稿日期:2016-09-07

基金项目:江苏省宿迁市“互联网+农业”公共服务管理平台建设(编号:2016sqnw001)。

作者简介:程宏杰(1962—),男,江苏泗阳人,高级农艺师,研究方向为农业信息化。E-mail:sq4374161@163.com。

通信作者:朱震宇,硕士,研究方向为农业信息化。E-mail:zhenyuzhu@126.com。

法的模型进行温室内小气候模拟,使神经网络可以达到物理模型无法达到的精度,本研究建立的冬季 PVC 温室预测模型的参数仅针对武汉地区,且模型预测值在日最高温度处预测效果较差,以后可分时段进行深入研究。

## 参考文献:

- [1] 武汉市统计局,国家统计局武汉调查队. 武汉统计年鉴:2012 年[M]. 北京:中国统计出版社,2013.
- [2] Businger J A. The glasshouse climate physics of plant environment[M]. Amsterdam:North-Holland Publishing Company,1963.
- [3] Froehlich D P, Albright L D, Scott N R, et al. Steady-periodic analysis of glasshouse thermal environment[J]. Transactions of the ASAE, 1979, 22(2):387-399.
- [4] Jolliet O. Hortitrans, a model for predicting and optimizing humidity

and transpiration in greenhouses[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1994, 57(1):23-37.

- [5] 李树军,崔建云,董晨娥,等. 蔬菜大棚内光照及温度的特点分析[J]. 山东气象,2004,24(1):26-27.
- [6] 司慧萍,苗香雯,崔绍荣. 温室动态温度预测模型及试验研究[J]. 农机化研究,2003(4):182-184.
- [7] 储长树,朱 军. 塑料大棚内空气温湿度变化规律及通风效应[J]. 中国农业气象,1992,13(3):32-35.
- [8] 李良晨. 保护地设施内热湿状态的计算方法[J]. 西北农业大学学报,1991,19(4):25-32.
- [9] 李元哲,吴德让,于 竹. 日光温室微气候的模拟与实验研究[J]. 农业工程学报,1994,10(1):130-136.
- [10] 贾 倩,刘 洪,孙忠富,等. 基于作物模型的温室环境管理系统设计与实现[J]. 中国农业气象,2010,31(1):93-97.