人工神经网络在相对湿度预测中的应用研究

郭庆春[1,2,3]，何振芳[3,4]，惠英[2,3]，李雪[2,3]

（1.陕西广播电视大学，陕西西安 710119）（2.中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪国家重点实验室，陕西西安 710075）（3.中国科学院大学，北京 100049）（4.中国科学院寒区旱区环境与工程研究所，甘肃兰州 730000）

摘要：相对湿度环境是农业生产监测与预测的重要内容，关系到植物的生长状况、多种病害的生态防治和灌溉措施的调节。针对相对湿度变化规律相当复杂，影响因素间非线性程度相当高，为了提高相对湿度预测精度，提出一种基于 BP 人工神经网络的相对湿度预测模型。该模型采用气象要素（日照时数、降水量、最小温度、平均温度和最大温度）实测数据作为神经网络的输入样本，并根据试验观测资料对模型进行了检验。结果表明：利用此模型分别对 1987~1998 年和 1999~2000 年陵水地区月平均相对湿度进行模拟和预测，相对湿度拟合值与实测值的相对误差为 0.21%，相对湿度预测值与实测值的相对误差为 0.28%。改进的 BP 人工神经网络能准确地捕捉相对湿度的变化趋势。运用 BP 人工神经网络方法进行相对湿度的研究，方法简洁，结果直观易懂，同时也为其他区域相对湿度研究提供借鉴。

关键词：人工神经网络；相对湿度；日照时数；降水量；平均温度；预测

文章篇号：1673-9078(2013)6-1297-1301

Application of Artificial Neural Network to Relative Humidity Prediction

GUO Qing-chun[1,2,3], HE Zhen-fang[3,4], XI Ying[2,3], LI Xue[2,3]

(1.Shaanxi Radio & TV University, Xi'an 710119, China) (2.State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China) (3.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China) (4.Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lan'zhou 730000, China)

Abstract: Relative humidity environment is an important item of agricultural production monitoring and forecasting. Relative humidity concerns to plant growth condition, ecological prevention and control of several plant diseases, irrigation regulation. Because relative humidity has many affecting factors, there are nonlinear relations between relative humidity and its influence factors. An improved BP artificial neural network was put forward as the relative humidity prediction model, in order to improve the relative humidity prediction accuracy. The model can predict the air relative humidity with such inputs as the weather data (hours of sunlight, precipitation, the lowest temperature, the average temperature, the highest temperature). Experiments were carried out in Lingshui area to collect data to validate the model. The simulation results indicate that the monthly average relative humidity for the period of 1987~1998 was simulated and predicted for the period of 1999~2000. Relative error between the simulation and measured air relative humidity was 0.21%, and relative error between the prediction and measured air relative humidity was 0.28%. The improved BP artificial neural network has higher prediction precision. It was simple that using the BP model method to study relative humidity. And also it can provide reference for the other area' research about relative humidity.

Key words: artificial neural network; relative humidity; hours of sunlight; precipitation; average temperature; prediction

近百年来全球和中国的气候正经历一次以变暖为主要特征的显著变化，它对全球和中国的生态系统及社会经济产生了并将持续产生重大影响。空气湿度是影响植物生长发育重要的环境因子之一。提高甘蔗冠层空气湿度能促进甘蔗的生长发育[1]；通过对梨树大棚栽培棚内外空气温度、空气相对湿度、土壤温度以及梨树物候期的变化特点进行比较，研究结果表明，大棚条件下温湿度高，开花期提早，果实成熟期提前，南京地区可进行梨保护地栽培[2]；相关分析表明在高温 30~36 ℃范围内，番茄的光合速率与光合有效辐射、气孔导度、蒸腾速率、相对湿度呈极显著的正相关[3]。潘占兵等[4]试验研究柠条蒸腾特征及影响因子结果表明，影响柠条蒸腾强度的主要因子为气温、空气相对湿度和土壤含水量。石雪晖等[5]研究结果表明，“里扎马特”葡萄在相对湿度为 70~80%、“华东葡萄”

收稿日期：2013-01-27

基金项目：国家重点基础研究发展规划项目(2010CB833406)；国家自然科学基金项目(40825008,40975020,41075067)；中国科学院重要方向项目(KZCX2-EW-114)

作者简介：郭庆春（1979-），男，博士，讲师，研究方向：环境信息系统

在相对湿度为 80~90%时脯氨酸含量和超氧化物歧化酶活性值均最低,可初步认定其是二者最适生长湿度。李军等[6]研究结果表明，较为适宜西瓜生长的田间环境小气候为平均气温 27 ℃，温度变幅 15~38 ℃，相对湿度 75~80%。刘延杰[7]通过对寒地果农间作园的观测表明，间作后夏季园内的空气和土壤温度降低，相对湿度和土壤含水量提高，蒸发量减小，有利于果树和间作物生长。杨晓琳等[8]利用 SIMETAW 模型计算了冬小麦生育期需水量与气象因子的相关性，结果表明：冬小麦需水量下降主要受温度、太阳辐射、平均相对湿度、平均风速、降水的综合影响，其中相对平均湿度与冬小麦需水量呈显著负相关。李霞等[9]相关性分析表明，南京凤眼莲的净光合速率（Pn）与其相对湿度呈极显著负相关(r=-0.831)，太湖凤眼莲的相对湿度与叶片蒸腾速率呈显著负相关(r=-0.818)，可见相对湿度是影响其 Pn 高低的重要生态因子。刘群龙等[10]对翅果油树叶片净光合速率日变化进行了测定，并分析其与光合参数及环境因子的关系。结果表明：12:00~15:00 影响叶片净光合速率的主要环境因子为空气相对湿度，表现为正效应。湛景武等[11]分析了日增长量(DI)、茎直径日最大收缩量(DI)和日最大值恢复时间(RT)对水分状况和气象因子的响应，结果表明气象因子对桃树茎直径变化影响显著，太阳辐射(Rn)和空气相对湿度(RH)对桃树茎直径 MDS 影响最强烈。马兴祥等[12]分析了 7 个酿造葡萄品种生育进程和气象条件。结果表明：影响葡萄含糖量的气象因子主要有积温、阶段温度日较差累积值和相对湿度。刘静等[13]模拟研究结果表明，影响枸杞叶片蒸腾的环境气象诸因子中气温、环境相对湿度起主导作用。

目前用于预测相对湿度的方法很多，有回归分析法、马尔柯夫预测法、趋势外推法、指数平滑法等[14~15]。但不同的预测方法都有一定的适用条件，在应用中应根据实际数据情况，适当选取。一定区域的相对湿度是多因子综合作用的结果，是一个不确知的随机过程，它们之间的关系是复杂的。而人工神经网络具有处理复杂非线性问题的特点，与其他方法相比具有明显优势[16~19]。拟借助人工神经网络良好的函数模拟能力，建立以多气象要素为网络输入、以相对湿度为网络输出的 BP 人工神经网络。利用陵水的气象资料，分析了相对湿度与有关气象因子的相关性，并利用人工神经网络对相对湿度进行了拟合和预测，得到令人满意的效果，同时也为科研人员研究农业气象要素预测预报提供参考。

1 材料与方法

1.1 气象要素选取及其预处理

陵水农田小气候 1987~2000 年每月的日照时数（h），相对湿度（%），降水量（mm），最小温度（℃），平均温度（℃），最大温度（℃）等观测数据来自国家农业科学数据共享中心。采样点位于东经 110.033°，北纬 18.5°，海拔为 13.9 米。由于气象因素的数据单位不同，选取的指标不具有统一的量纲和量纲单位，当作为输入变量时难以得到正确的结论，为了使指标之间具有可比性，也为了充分发挥 BP 人工神经网络的预测功能，有必要对输入数据进行预处理，一般可将各输入量归一化到[0,1]区间，因此对原始数据进行了标准化处理，其公式为 y=(x-min(x))/(max(x)-min(x))。其中 x 为气象要素的原始数据，y 为气象要素处理后的数据。

1.2 BP 人工神经网络模型的构建

人工神经网络是基于连接学说构造的智能仿生模型，它是由大量简单元件-神经元，广泛相互连接而成的非局域性、非定常性、非线性和非凸性的复杂网络系统，具有并行分布的信息处理结构和自适应性的脑模式的信息处理的本质与能力，它可以通过“自学习”或者“训练”掌握大量的知识，完成特定的工作。人工神经网络有多种类型，其中 BP 人工神经网络是其中使用最广泛的一种，其结构图如图 1 所示。BP 网络又称误差反向传播网络， BP 网络是一种多层前馈神经网络，是一种具有三层或三层以上的神经网络，包括输入层、隐含层和输出层。上下层之间实现全连接，而每层神经元之间无连接。算法机理是：一对学习样本提供给网络，神经元的激活值从输入层经中间层向输出层传播，在输出层的各神经元获得网络的输入响应。然后，按照减少目标输出与实际误差的方向，从输出层经过各中间层逐层修正各连接权值，最后回到输入层。

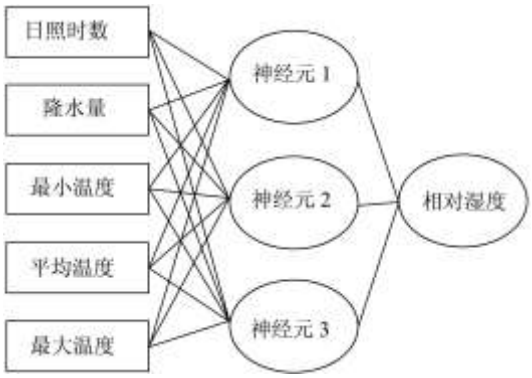


图 1 BP 人工神经网络结构图

Fig.1 Structure diagram of BP artificial neural network

虽然 BP 人工神经网络具有算法成熟，网络结构简单等优点，但利用 BP 人工神经网络解决实际问题

时，存在着两个主要问题：BP 算法学习、收敛速度慢；BP 算法是一种局部搜索算法，在寻找复杂非线性函数的全局极值时，有可能陷入局部极小值，从而导致训练失败。

为了有效克服传统 BP 算法的缺陷和提高 BP 人工神经网络的性能，采用了自适应学习速率动量梯度下降反向传播的 BP 优化算法。BP 算法学习速率 lr 决定了网络的收敛速度，lr 越大，则网络收敛越快，但 lr 超过了一定值则会引起振荡现象。适当地改变学习速率，可以加快网络的速度，提高网络的泛化能力。通过将本次迭代误差与上一次迭代误差进行比较，如果误差变化量为负数，则说明了迭代结果接近极小值，可以适当地增加学习速率，以提高网络的收敛速度；当本次迭代误差与上一次迭代误差变化量为正，且数值较大，则说明了迭代结果偏离极小值，则此时，应当适度减小网络的学习速率。

研究中把影响相对湿度的 5 项指标作为 BP 人工神经网络的输入向量，把相对湿度作为输出向量，这样就确定了输入层节点数为 5，输出层节点数为 1。理论已经证明只有一个隐含层的网络能够以任意精度逼近任何有理函数，所以相对湿度预测模型也只选用一层隐含层来构建 BP 网络。隐节点的个数可以根据经验公式确定：$m=\log_2(n)$，其中 m 为隐节点个数，n 为输入层节点个数。在本文的网络模型中，n=5，所以 m 取 3。这样用于相对湿度预测的人工神经网络模型结构为 5-3-1。

在仿真实验过程中，为了降低 BP 神经网络的训练时间，提高网络的收敛速度，运用自适应学习速率动量梯度下降反向传播算法。经过多次仿真试验，BP 神经网络的参数选取为：最大训练次数 10000 次，目标误差 0.001，设置初始学习速率为 0.35，附加动量因子为 0.90，输入层与隐层之间采用 tansig 传递函数，隐层与输出层之间采用 purelin 线性传递函数。

2 结果与分析

2.1 相关分析与结果

表 1 相对湿度与气象因子的相关系数

Table 1 Correlation coefficient between relative humidity and meteorological factor

R	日照时数	降水量	最小温度	平均温度	最大温度
相对湿度	0.14	0.48	0.68	0.67	0.66

首先计算了相对湿度与日照时数、降水量、最小温度、平均温度和最大温度的相关系数，通过显著性水平 0.05 的 t 检验，结果如表 1。从表 1 中可以看出，相对湿度与温度相关系数较大，与降水量相关系数次之，与日照时数相关系数最小，表明了气温对相对湿度的影响是最大，其次是降水量，日照时数对相对湿度的影响最小。

2.2 神经网络拟合及其预测结果

采用 1987~1998 年的日照时数、降水量、最小温度、平均温度和最大温度实测数据作为神经网络的输入样本，相对湿度作为输出样本，进行训练，训练结果如图 2 所示。然后利用 1999~2000 年的日照时数、降水量、最小温度、平均温度和最大温度实测数据作为输入，对相对湿度进行了预测，预测结果如图 3 所示。表 2 为神经网络模型拟合及预测相对误差和相关系数。

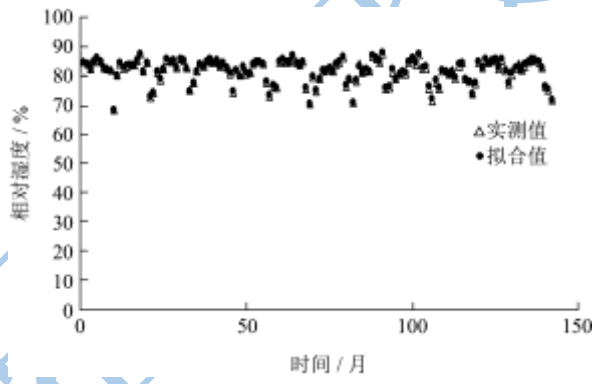


图 2 相对湿度拟合值与实测值的对比图

Fig.2 The comparison between fitted values and measured values of relative humidity

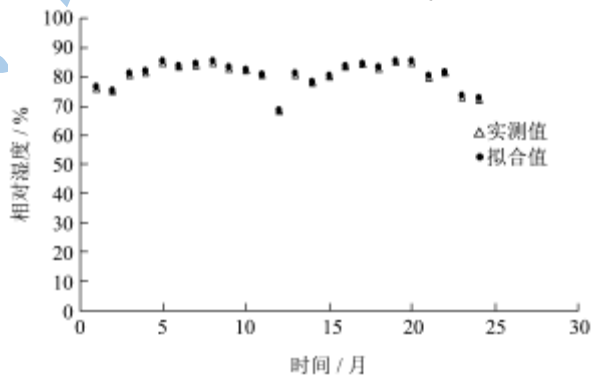


图 3 相对湿度预测值与实测值的对比图

Fig.3 The comparison between forecasted values and measured values of

表 2 神经网络模型拟合及预测效果

Table 2 Fitting and forecasting effect of neural network model

	平均相对误差/%	相关系数
1987~1998 年拟合	0.21	0.997
1999~2000 年预测	0.28	0.999

从图 2 可以看出，人工神经网络的拟合值和实测值吻合较好，拟合最大相对误差 1.32%，最小相对误差-0.99%。从图 3 可以看出，预测值和实测值的变化趋势一致，预测值最大相对误差 0.58%，最小相对误

差-0.16%。说明了基于人工神经网络的相对湿度预测模型不仅拟合效果好，而且预测精度可以满足长期预报的需要。

从表 2 可以看出，1987~1998 年的拟合平均相对误差为 0.21%，误差小，通过显著性 0.05 的 t 检验，相关系数为 0.997，相关性显著。1999~2000 年的预测平均相对误差为 0.28%，误差也较小，通过显著性 0.05 的 t 检验，相关系数为 0.999，相关性高度显著，进一步说明了神经网络在相对湿度拟合与预测方面具有明显优势。

3 讨论

相对湿度与地理位置、太阳辐射、海拔高度等许多较稳定的因子有关，因此它们的序列也较稳定，对于中长期预报，相对误差小于 35%即可认为合格[15]。相对湿度的变化同时受降雨、气温、蒸发等的影响[20]。

陈豫英等[14]利用 MM5 模式每隔 1 h 的站点基本要素预报场和物理量诊断场资料，同时采用多元线性和逐步回归 2 种 MOS 统计方法，预报宁夏 25 个测站 5~9 月 48 h 逐时相对湿度。对 2004 年夏季 6~8 月预报效果检验表明 MM5 预报前 12 h 误差控制在 11~12%，预报稳定，后 36 h 误差趋势同 MOS 一致，稳定性也较差。2 种 MOS 统计方法预报结果相近，逐步回归方法比多元线性方法预报效果稍好，08:00 预报误差明显低于 20:00；当天气形势变化较平稳时，MOS 预报结果稳定，平均绝对误差控制在 10 %左右。张晓伟等[15]利用 1954~2002 年的观测资料对和田地区相对湿度建立了 GM（1,1）模型，得到了比较满意的预测结果，对相对湿度的预测最大相对误差为 24.6%。张高锋等[20]应用 Lyapunov 指数、Hurst 指数以及饱和关联维数从不同的角度对和田绿洲空气相对湿度的混沌特性进行了识别。在此基础上将混沌理论与神经网络相结合，建立了混沌神经网络预测模型，利用此模型分别对 1954~2002 年和 2003~2004 年和田河流域月平均相对湿度进行模拟和预测，其平均相对误差分别为 2.96%和 0.85%，表明模型具有较高的精度。邓玲黎等[21]利用传热学理论，分析了温室的热平衡，建立温室内的温湿度预测模型，并在 SR5.2 型连栋塑料温室内进行实验，得出该温室内温湿度的预测的数学模型，相对湿度的最大绝对误差±0.8%内。王鑫等[22]以石家庄高邑地区的代表温室内，2008 年 10 月-2009 年 6 月间的月平均日湿度值为分析数据，建立了当地温室的日湿度 AR(p)模型，用实测数据与模型的预测数据相比较，均方根误差 RMSE 和相对误差 RE 分别为 9.90 和-8.65%。何芬等[23]根据温室内水气收支平衡关系，建立了与室内外气象参数、温室结构、作物生长状况、土壤潮湿程度等有关条件下的温室湿度动态预测模型。基于华北塑料连栋温室对所建模型进行了试验验证。结果表明：模型能较好预测温室内空气相对湿度值，预测值和实测值之间的均方根误差为 5.9%。

以上研究结果基本满足相对湿度的预测需要，本研究中采用人工神经网络方法，对 1987~1998 年的拟合平均相对误差为 0.21%，1999~2000 年的预测平均相对误差为 0.28%，相关系数为 0.999，说明了人工神经网络在相对湿度预测方面具有可行性，同时考虑了相对湿度的影响因子，避免了只是考虑相对湿度的时间序列的缺陷。

4 结论

4.1 本文将人工智能引入相对湿度预测研究，利用自适应学习速率动量梯度下降反向传播算法，对 BP 人工神经网络模型进行了改进，从而扩大了 BP 人工神经网络的权值搜索空间，使得网络能够有效地避免陷入局极小的困境，提高了 BP 神经网络的学习速率，用改进后的 BP 神经网络对相对湿度进行预测，具有更高的精度，预测值与实测值的拟合度很高，达到了预期效果。

4.2 人工神经网络能通过高度非线性的特征影射来寻求预报因子和预报对象的关系，进而表征预报对象的演变趋势。它是通过调整权值和阈值表达预报因子与预报对象之间的高度非线性关系，使计算方法简单、计算量小、易于实现。

4.3 由于人工神经网络最终是通过神经元构造推理模型，而权值和阈值是在学习过程中调整确立的，表明了此方法具有自组织性，故人工神经网络方法有很好的逼近能力。

4.4 通过对相对湿度预测值与实测资料的对比分析表明，所建立的预测模型有较好的推广能力， 根据人工神经网络预测模型对相对湿度预测准确度较高的现实，可以对历史资料进行泛演、修复，并对无条件进行相对湿度监测的站点进行资料泛演补充，为解决长期以来困扰科研人员的部分历史资料缺损、大面积监测资料的缺乏等问题提出了一个新方法。

4.5 基于人工神经网络预测方法的引入，为相对湿度的预测提供了一个崭新的工具，这是一般方法所难以实现的，有利于进行样本分析和知识挖掘，同时也为解决非线性问题提供了新思路。

参考文献

[1] 吴炫柯,刘永裕,刘梅.气象因子对甘蔗茎伸长的影响[J].气

象,2008,34(6):96-97
[2] 王鑫,王纪忠,赵碧英,等.梨树大棚栽培棚内外温湿度环境变化规律和物候期研究[J].中国农学通报,2012,28(1):201-206
[3] 张富存,张波,王琴,等.高温胁迫对设施番茄光合作用特性的影响[J].中国农学通报,2011,27(28):211-216
[4] 潘占兵,蒋齐,郭永忠,等.柠条蒸腾特征及影响因子的研究[J].中国生态农业学报,2006,14(2):70-71
[5] 石雪晖,陈祖玉,刘昆玉,等.空气相对湿度对野生葡萄的生理影响研究[J].中国生态农业学报,2005,13(4):65-67
[6] 李 军,杨秋珍,薛循革,等.不同西瓜栽培方式对温室大棚小气候要素及产量的影响[J].中国生态农业学报,2003,11(3):61-62
[7] 刘延杰.寒地果农间作小气候特点初探[J].中国生态农业学报,1996,4(2):69-72
[8] 杨晓琳,宋振伟,王宏,等.黄淮海农作区冬小麦需水量时空变化特征及气候影响因素分析[J].中国生态农业学报,2012,20(3):356-362
[9] 李霞,任承钢,王满,等.不同地区凤眼莲的光合生态功能型及其生态影响因子[J].中国生态农业学报,2011,19(4):823-830
[10] 刘群龙,宁婵娟,王朵,等.翅果油树净光合速率日变化及其主要影响因子[J].中国生态农业学报,2009,17(3):474-478
[11] 湛景武,汪有科,张陆军,等.桃树茎直径微变化与土壤水势及气象因子的关系[J].中国生态农业学报,2009,17(3): 489-494
[12] 马兴祥,魏育国,蒋菊芳.沙漠边缘酿造葡萄生长气象条件及生态响应[J].中国生态农业学报,2007,15(5):11-16
[13] 刘静,王连喜,李凤霞,等.枸杞叶片蒸腾与生理及微气象因子的关系研究[J].中国生态农业学报,2003,11(4):40-42
[14] 陈豫英,陈晓光,马筛艳.精细化MOS 相对湿度预报方法研究[J].气象科技,2006,34(2):143-146
[15] 张晓伟,关东海,莫淑红.和田绿洲气温与相对湿度的GM(1,1)预测模型[J].中国农业气象,2006,27(1):31-33
[16] 秦鹏,吴振强.基于 BP 神经网络的丝状真菌生长预测研究[J]. 现代食品科技,2009,4:388-390
[17] 夏远景,陈淑花,薛路舟,等.超高压处理牡蛎灭菌实验研究及人工神经网络模拟[J].现代食品科技,2009,5:530-533
[18] 唐明,藏占锋,邵伟.酵母抽提物干燥工艺节能优化研究[J].现代食品科技,2010,2:167-168
[19] 唐伟强,郑月军.基于神经网络的啤酒瓶质量监督[J].现代食品科技,2004,4:56-58
[20] 张高锋,黄领梅,沈冰,等.和田绿洲空气相对湿度的混沌神经网络预测模型[J].中国农业气象,2008,29(3):256-25
[21] 邓玲黎,李百军,毛罕平.长江中下游地区温室内温湿度预测模型的研究[J].农业工程学报,2004,20(1):263-266
[22] 王鑫,魏瑞江,康西言.日光温室湿度日预测的季节时序模型应用研究[J].中国农学通报,2010,26(22):407-412
[23] 何芬,马承伟,张俊雄.温室湿度动态预测模型建立与试验[J].农业机械学报,2009,40(10):173-177