

膜下滴灌棉花根系发育参数的 BP 模型预测

邵光成¹, 张展羽¹, 刘 娜², 俞双恩¹, 邢文刚¹

(1. 河海大学现代农业工程系, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学商学院, 江苏 南京 210098)

摘要 通过对人工神经网络理论中 BP 网络的分析, 建立描述不同水分条件下膜下滴灌根冠间非线性变化的模拟模型, 通过该模型利用棉花地上部株高、干物重、叶面积参数、时间及土壤水分预测膜下滴灌不同水分处理下的根系参数, 以 2000 年在新疆的大田棉花试验结果作为学习样本和检验样本。结果表明, 所建立的人工神经网络模型对描述不同水分条件下根、冠复杂的非线性关系方面具有较高的精度和应用价值。

关键词 滴灌; BP 神经网络; 冠层参数; 根系参数

中图分类号 S275.6 文献标识码 A 文章编号 1004-693X(2006)04-0047-03

Prediction of root growing parameter of drip-irrigated cotton under mulch by using BP model

SHAO Guang-cheng¹, ZHANG Zhan-yu¹, LIU Na², YU Shuang-en¹, XING Wen-gang¹

(1. Department of Modern Agricultural Engineering of Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Business School of Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract By analysis of BP network of artificial neural network, a simulation model to describe the nonlinear relations between root and canopy of crops different water states was established. The model is successful in predicting root parameters of drip-irrigated cotton in different water states based on the cotton height beyond the land, dry weight, leaf area index, time, and soil water. The results of field research at Xinjiang in 2000 indicate that the model of artificial neural network is of high practical value and high precise for the simulation of complicated nonlinear relations between root and canopy.

Key words drip irrigation; BP neural network; canopy parameter; root parameter

人工神经网络(ANN)是一种模拟人脑信息处理方法的非线性系统, 比较适合一些信息复杂、知识背景不清楚和推理规则不明确问题的建模。作物生长是水、肥、土壤、大气、耕作措施等诸多因素综合作用的结果, 由于各因素之间的相互影响, 作物生长过程中的许多现象呈现出非线性过程。多层神经网络中的 BP(Back-Propagation)模型是最重要的人工神经网络模型之一, 它在农业领域非线性系统的模式识别和预报方面有着广泛的应用^[1-2]。

根系是吸收水分的主要器官, 在土壤水转化为作物水的过程中起着“咽喉”作用。由于根系在土壤剖面中的分布随作物的生长和土壤环境等方面的不

同而发生较大的变化, 因此在田间采集和观测根系是一项相当繁琐和繁重的工作。用统计方法预测, 需要大量的样本以建立多元回归模型, 假如自变量是定性的, 则需要大于全部自变量类目 2 倍的样本, 否则多元回归分析模型可能产生有偏估计值或预测无效^[3]。许多研究证明, 植物的根系与冠层之间存在着密切联系, 它们随着外界环境的变化而互相依存、相互协调适应。据此, 如果能够构造一种模型直接利用地上冠层生长发育的参数来预测和描述根系生长与分布, 无疑对所有涉及根系的研究都具有重要的意义, 因为对冠层参数的测定要远比对根系参数的测定更为便利和简单。本文根据人工神经网络

的功能特点并通过 2000 年的田间试验资料 ,尝试此项工作。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

试验于 2000 年 5 ~ 8 月在新疆石河子炮台(农八师 121 团)土壤改良试验站试验田内进行 ,试验区属于典型的内陆性荒漠气候。试验田地下水埋深 3 m 左右 ,土壤质地为粉砂质壤土 ,0 ~ 70 cm 土层平均容重 1.48 g/cm³ ,田间持水量为 20.6%。播种前测得土壤全盐质量分数为 6.3 g/kg ,有机质质量分数为 8.6 g/kg ,全氮、速效氮的质量分数分别为 66.3 g/kg 和 75 mg/kg ,全磷、速效磷的质量分数分别为 16 g/kg 和 10.5 mg/kg。

1.2 种植及施肥方式

小区的宽和长分别为 1.7 m 和 83.3 m ,小区覆膜净宽 140 cm ,膜两侧各留 15 cm 的裸地。每小区内种植 4 行作物 ,行距按 30 cm ,50 cm ,30 cm 的宽窄行方式布置。1 条毛管控制 2 行作物 ,毛管布置在行距为 30 cm 的两行作物中间。棉花品种为 8557 4 月 22 日播种 ,播种方式采用干播湿出。在棉花生育期内共施尿素 450 kg/hm² ,高效肥 150 kg/hm² ,采用随水滴灌肥方式分 10 次施入 ,每次尿素和高效肥的用量分别为 45 kg/hm² 和 15 kg/hm²。

1.3 试验处理及观测项目

试验设有 3 个灌水水平 :①常规灌溉制度(灌水水平 1 - a) ,即灌水下限设定为 0 ~ 70 cm 土层平均土壤含水量为 50% 田间持水量(103 g/kg)。②灌水水平 2 - b 相对常规充分灌溉在苗期、蕾期、花铃前期、花铃后期每次灌溉时间分别推迟 2 d ,1 d ,0.5 d ,1 d。③灌水水平 3 - c 相对常规充分灌溉在苗期、蕾期、花铃前期、花铃后期每次灌溉时间分别推迟 3 d ,2 d ,1 d 和 2 d。每个灌水水平处理重复 3 次(表 1)。

表 1 试验处理设计				
灌水水平	苗期	蕾期	花铃前期	花铃后期
1	a	a	a	a
2	b	b	b	b
3	c	c	c	c

用取土烘干法测定 0 ~ 70 cm 土层平均土壤含水量 ,用常规方法测定作物的根系的 最大扎根深度、株高、叶面积与干物重。

2 建立根系发育参数预测的 BP 模型

反向传播神经网络(又称 BP 模型)是一种适于非线性模式识别和分类预测问题的人工神经网络 ,由一个输入层、若干个隐含层和一个输出层构成。

图 1 为常用的三层 BP 网络的结构 ,如果输入层、隐含层和输出层的单元个数分别为 n , q , m ,则该三层网络可表示为 BP(n , q , m) ,利用该网络可实现 n 维输入向量 $X_n = (x_1 \dots x_n)^T$ 到 m 维输出向量 $Y_m = (y_1 \dots y_m)^T$ 的非线性映射 ,输入层和输出层的单元数 n , m 根据具体问题来确定 ,而隐含层单元数 q 的确定尚无成熟的方法 ,一般可设定不同的 q 值 ,根据训练结果来进行选择。该三层网络相邻两层节点之间通过连接权连接 ,BP 网络的原理和算法详见文献 [4]。

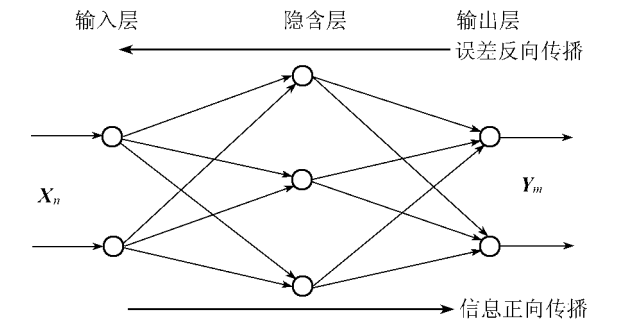


图 1 三层 BP 网络结构示意图

采用 BP 网络对根系进行预测模拟 ,依据的是 BP 网络的映射原理 ,对映射样本集合 X 和 Y ,可以假设其存在映射 F 如式 (1)所示 :

$$Y_i = F(X_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

为了寻求 F 的最佳映射值 ,BP 网络模型将样本集合的输入、输出转化为非线性优化 ,通过对简单的非线性函数的复合 ,建立一个高度的非线性映射关系 ,实现 F 值最优逼近。

3 样本的归一化处理

按式 (2)处理输入样本和检验样本的数据 ,使得数据范围变为 $[- 1, 1]$,保证各个处理量具有相同的归一化比例 [5] :

$$p_n = \frac{X(p - p_{\min})}{p_{\max} - p_{\min}} - 1 \quad (2)$$

式中 : p 为待处理向量 ; $p_{\min}$ 为 p 中最小向量值 ; $p_{\max}$ 为 p 中最大向量值 ; p_n 为归一化结果。

4 模型检验与结果分析

本模型是以新疆石河子地区主导经济作物棉花为研究对象的。棉花在其整个生长发育进程中有着与其他作物很不相同的特点。通过分析发现 ,株高、干物重和叶面积与根系发育的关系最为密切 ,故选此三个参数作为分析的主要参数。

BP 网络本质上是一种静态网络 ,而棉花根系的发育和冠层参数的生长是一个动态过程。通过时间变量的输入可以充分反映棉花的生育阶段 ,揭示出

棉花根系及冠层参数随生育阶段的变化过程。土壤水分是影响棉花生长的重要因素之一,在大力发展节水灌溉的今天,不仅要关心充分供水时作物的根、冠关系,更要关心非充分灌溉对根系发育和冠层生长的影响。为了能够精确地模拟和计算根系在不同时间、不同水分环境条件下的形态与生产参数,在膜下滴灌棉花根系发育参数预报模型中采用时间、土壤水分条件以及冠层的三个发育参数共同作为人工神经网络样本学习的参数。

根据以上分析,网络输入层单元数 $n = 5$, 分别代表 5 个输入变量,即株高、干物重、叶面积、时间、相对土壤含水量;输出层单元数为 $m = 1$,代表根系长度。隐含层单元数 q 与所研究的具体问题有关,目前尚无统一的确定方法,本文根据网络训练情况采用试错法确定。在满足设定的精度要求下, q 取较小的数值,以改善网络的概括推论能力。在隐含层单元数 $q = 5$ 时,经过一定次数的训练,平均绝对误差达到精度要求。所以采用的最终 BP 网络结构为 $B(5, 5, 1)$ 。根据上述输入输出关系及确定的 BP 网络结构,取学习率为 0.01,最小收敛误差平方和为 0.0001,选用 2000 年新疆大田棉花试验 3 个水分处理的苗期、蕾期、花铃前期、花铃后期 4 个生育阶段的 12 组数据作为学习样本,以 3 种水分处理下棉花吐絮期的观测数据作为模型检验,采用 matlab 6.5 进行编程,收敛后的 BP 网络结构及不同水分处理下膜下滴灌根系参数生长模拟见表 2 和图 2。

表 2 训练结束后的权值和阈值

隐含节点	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5
节点 x_1 至隐含层	-1.8723	-2.7628	0.8710	0.9425	1.6295
节点 x_2 至隐含层	0.3679	3.5759	-2.0997	-3.0042	0.2357
节点 x_3 至隐含层	-0.3223	2.5182	1.6611	-1.3138	-3.1423
节点 x_4 至隐含层	-2.6809	-1.6948	1.5021	1.1714	0.7337
节点 x_5 至隐含层	0.4144	-0.4196	-2.6856	-1.8122	-1.3277
隐含层节点阈值	-0.5101	3.9232	-1.8181	2.9367	4.6394
隐含层节点至 y_1 节点连接权	-1.8354	-0.7795	-0.2558	0.2625	0.9878
输出节点阈值	0.3549				

从模拟结果可以看出,利用上述人工神经网络模型预测的根系生长参数,所得的结果具有相当高的精度,尤其是在模拟根系扎根深度上,具有很高的一致性,说明根系扎根深度与选定的上述参数有着极为密切的关系。

5 结 论

a. 利用已有的大田试验根系分布资料及时间、土壤含水量和相应的冠层数据,通过模型学习后可以对膜下滴灌棉花根系进行较为准确的预报。该模

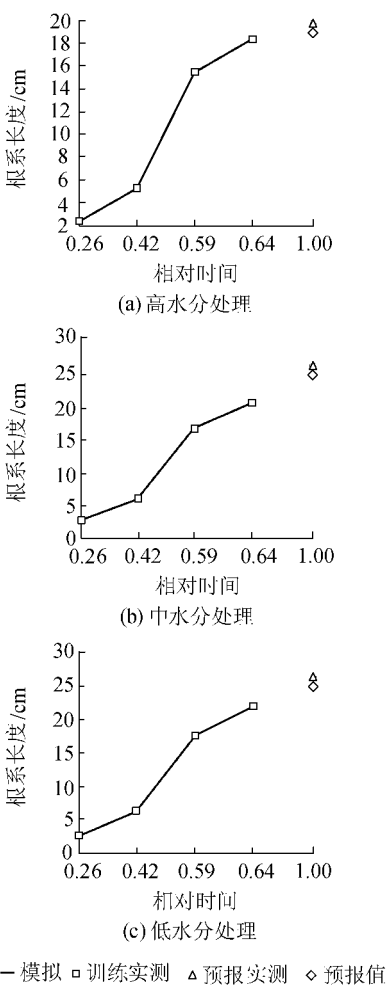


图 2 炮台土壤改良试验站

膜下滴灌棉花扎根深度模拟结果

型的成功运用可为今后根系参数测定节省大量的人力和物力,具有重要的经济价值和应用价值。

b. 由于资料的限制,本文只是作为一种研究方法进行探讨,模型的使用条件具有明显的局限性,但其结果可证明该方法在节水农业方面有着广阔的应用前景。

参考文献:

[1] KOCKKOEK E J W, BOOLTINK H. Neural network model to predict soil water retention[J]. Eur Soil Sci, 1999, 50(3): 489-495.

[2] 杨培岭, 冯斌, 任树梅. 利用人工神经网络预报不同水分条件下作物根系发育参数[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 47-48.

[3] 董文泉, 周光亚, 夏立显. 数量化理论及其应用[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1979: 120.

[4] 郑君里, 杨行峻. 人工神经网络[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992: 56.

[5] 冯宝平, 陈守伦. 用 BP 网络预测温度对土壤水分入渗的影响[J]. 水利学报, 2003(2): 7-8.

(收稿日期: 2005-04-29 编辑: 傅伟群)