

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 22 期 Vol.31 No.22 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 22 期

2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

叶冠尺度野鸭湖湿地植物群落含水量的高光谱估算模型	林 川, 宫兆宁, 赵文吉 (6645)
中国水稻潜在分布及其气候特征	段居琦, 周广胜 (6659)
大豆异黄酮浸种对盐胁迫大豆幼苗的生理效应	武玉妹, 周 强, 於丙军 (6669)
黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝桧柳对地下水位变化的生理生态响应与适应	张 佩, 袁国富, 庄 伟, 等 (6677)
高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其对土壤水分的响应	赵成章, 高福元, 石福习, 等 (6688)
基于生态足迹思想的皂市水利枢纽工程生态补偿标准研究	肖建红, 陈绍金, 于庆东, 等 (6696)
基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征	蒋蕊竹, 李秀启, 朱永安, 等 (6708)
高分辨率影像支持的群落尺度沼泽湿地分类制图	李 娜, 周德民, 赵魁义 (6717)
土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响及机理	成艳红, 陈小云, 刘满强, 等 (6727)
基于网络 K 函数的西双版纳人工林空间格局及动态	杨珏婕, 刘世梁, 赵清贺, 等 (6734)
树轮灰度与树轮密度的对比分析及其对气候要素的响应	张同文, 袁玉江, 喻树龙, 等 (6743)
冀北山地阴坡优势树种的树体分维结构	田 超, 刘 阳, 杨新兵, 等 (6753)
帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征	陈 进, 陈步峰, 潘勇军, 等 (6766)
不同类型拌种剂对花生及其根际微生物的影响	刘登望, 周 山, 刘升锐, 等 (6777)
一种自优化 RBF 神经网络的叶绿素 a 浓度时序预测模型	仝玉华, 周洪亮, 黄浙丰, 等 (6788)
不同种源麻栎种子和苗木性状地理变异趋势面分析	刘志龙, 虞木奎, 马 跃, 等 (6796)
黄土丘陵区植物叶片与细根功能性状关系及其变化	施 宇, 温仲明, 龚时慧 (6805)
干旱区五种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能	谭永芹, 柏新富, 朱建军, 等 (6815)
火灾对马尾松林地土壤特性的影响	薛 立, 陈红跃, 杨振意, 等 (6824)
江苏省太湖流域产业结构的水环境污染效应	王 磊, 张 磊, 段学军, 等 (6832)
高温对两种卡帕藻的酶活性、色素含量与叶绿素荧光的影响	赵素芬, 何培民 (6845)
江苏省典型干旱过程特征	包云轩, 孟翠丽, 申双和, 等 (6853)
黄土高原半干旱草地地表能量通量及闭合率	岳 平, 张 强, 杨金虎, 等 (6866)
光质对烟叶光合特性、类胡萝卜素和表面提取物含量的影响	陈 伟, 蒋 卫, 邱雪柏, 等 (6877)
铜陵铜尾矿废弃地生物土壤结皮中的蓝藻多样性	刘 梅, 赵秀侠, 詹 婧, 等 (6886)
圈养马麝刻板行为表达频次及影响因素	孟秀祥, 贡保草, 薛达元, 等 (6896)
田湾核电站海域浮游动物生态特征	吴建新, 阎斌伦, 冯志华, 等 (6902)
马鞍列岛多种生境中鱼类群聚的昼夜变化	汪振华, 王 凯, 章守宇 (6912)
基于认知水平的非使用价值支付动机研究	钟满秀, 许丽忠, 杨 净 (6926)
综述	
植物盐胁迫应答蛋白质组学分析	张 恒, 郑宝江, 宋保华, 等 (6936)
沉积物氮形态与测定方法研究进展	刘 波, 周 锋, 王国祥, 等 (6947)
野生鸟类传染性疾病预防研究进展	刘冬平, 肖文发, 陆 军, 等 (6959)
鱼类通过鱼道内水流速度障碍能力的评估方法	石小涛, 陈求稳, 黄应平, 等 (6967)
专论	
IPBES 的建立、前景及应对策略	吴 军, 徐海根, 丁 晖 (6973)
研究简报	
柠条人工林幼林与成林细根动态比较研究	陈建文, 王孟本, 史建伟 (6978)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-11



封面图说: 滩涂芦苇及野鸭群——中国的海岸湿地, 尤其是长江入海口以北的海岸线, 多为泥质性海滩, 地势宽阔低洼, 动植物资源丰富, 生态类型独特, 为迁徙的鸟提供了丰富的食物和休息、庇护的良好环境, 成为东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬、繁殖地。一到迁徙季节, 成千上万的各种鸟类飞临这里, 尤其是雁鸭类数量庞大, 十分壮观。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

全玉华, 周洪亮, 黄浙丰, 张宏建. 一种自优化 RBF 神经网络的叶绿素 a 浓度时序预测模型. 生态学报, 2011, 31(22): 6788-6795.

Tong Y H, Zhou H L, Huang Z F, Zhang H J. Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(22): 6788-6795.

一种自优化 RBF 神经网络的叶绿素 a 浓度时序预测模型

全玉华, 周洪亮*, 黄浙丰, 张宏建

(浙江大学控制科学与工程学系, 杭州 310027)

摘要:藻类水华发生过程具有复杂性、非线性、时变等特点,其准确预测一直是一个国际性难题。以天津市于桥水库为研究对象,根据 2000 年 1 月至 2003 年 12 月常规监测的水生生态数据(采样周期为 10 d),提出了一种结合时序方法的自优化 RBF 神经网络智能预测模型,对判断藻类水华的重要指标叶绿素 a 浓度进行预测。研究了训练样本量及 RBF 神经网络扩展速度 SPREAD 值的自优化性能,以及该模型用于于桥水库叶绿素 a 浓度的短期变化趋势预测的可行性。结果表明,预测性能指标随 SPREAD 值及样本量不同发生变化,该预测模型能自动寻到最优 SPREAD 值,并发现至少需要约两年的训练样本量才能达到较好预测效果。当样本量为 105, SPREAD 值为 10 时,预测效果最好,精度较高,预测值与实测值的相关系数 R 达到 0.982。该方法对水库的藻类水华预警有一定的参考价值。

关键词: RBF 神经网络; 时间序列; 叶绿素 a; 于桥水库

Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing

TONG Yuhua, ZHOU Hongliang*, HUANG Zhefeng, ZHANG Hongjian

Department of Control Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

Abstract: Algal bloom development is a complex, nonlinear and time-variant process for which accurate prediction remains a problem worldwide. At present, the prediction of algal bloom is mainly based on two aspects: the ecological model of the mechanism and the artificial intelligence model. A large amount of research has verified that the algal standing crop and the physical, chemical, biological characteristics and most quality of water can be characterized by chlorophyll-a concentration. In this study, a time series prediction model of chlorophyll-a concentration was developed, based on routinely monitored aquatic ecological data (sampled at 10-day intervals between January 2000 and December 2003) from Yuqiao reservoir, which is the only source of water supply in Tianjin. The model used a radial-basis function (RBF) neural network with self-optimizing parameters. A RBF neural network consists of RBF neurons, and it is characterized by simple training and fast convergence, which could make up for the shortcomings of a back propagation (BP) network. Cubic spline interpolation with a small global error and good continuity was used to generate a sufficient number of training samples and make the time intervals of sampled data uniform. The importance of the input variables, chlorophyll-a concentration, total P, total N, dissolved O and water temperature was determined using principal component analysis and the input step of the time sequence was set as 3 after trial and error. The number of training samples and the extended speed value (SPREAD) of RBF neural networks could be self-optimizing in this predictive model. The SPREAD optimization algorithm automatically

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07420-004)

收稿日期: 2010-12-31; 修订日期: 2011-09-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zjuzhl@zju.edu.cn

selects the optimum SPREAD value, which has traditionally been difficult to determine. This model should thus improve prediction accuracy. The feasibility of this model for prediction of short-term trends in chlorophyll-a concentration was investigated.

The results indicated that the model that combined the time series and RBF neural networks, after identifying the optimum SPREAD value and confirming the minimum number of training samples required, allowed for increased precision in predictions. Nevertheless, prediction performance (assessed using an evaluation index) changed with the size of the training sample. Analyses indicated that at least 2 years of data collection was required to accurately determine the fluctuation rules of chlorophyll-a. In this study, the most accurate prediction with a correlation coefficient between predicted and observed value up to 0.982 was obtained with a sample size of 105 and SPREAD value of 10. The quality of these predictions would be sufficient to be used as an early warning system for algal blooms in the reservoir. The model therefore has both potential research and practical applications.

Key Words: RBF neural network; time series; chlorophyll-a; Yuqiao reservoir

随着经济的快速发展和人口的急剧膨胀,湖泊、水库的藻类水华问题日益突出。目前,国内外对水华预测的研究主要围绕基于机理的生态模型、基于智能的建模两个方面,其中后者具有独特的信息处理和解算能力,尤其适用于机理不明确的高维非线性系统,近年来在水华预测中得到广泛应用。神经网络由于具有强大的自学习、自组织、并行处理信息和非线性容错能力,是目前国内外研究的热点^[1-4]。应用广泛的 BP 网络存在局部极小、收敛时间过长从而泛化能力差的问题,而 RBF 网络包含径向基神经元,训练简洁且收敛速度快,能够弥补 BP 网络存在的不足。

叶绿素 a 浓度不仅可以表征藻类现存量^[5-6],也是水体理化和生物指标的综合表现,因此,可以通过预测叶绿素 a 的浓度,来判断湖泊、水库水华的发生。本文以天津于桥水库为研究对象,利用一种参数自优化的 RBF 神经网络,建立叶绿素 a 浓度的时间序列预测模型,为判断藻类水华的发生提供依据。

1 研究材料与方法

1.1 研究材料

于桥水库(又名翠屏湖)位于天津市蓟县城东,是天津市唯一的供水系统,水体属富营养型,冬季稍好,夏季处于营养化初级阶段,主要超标物是被污染河流带入的大量氮、磷。2000 年至 2005 年,流域内年均温为 10.4—11.5℃,最热月均温为 25.4℃(7 月)、极端最高温度为 41.2℃,最冷月均温为-6.88℃(1 月)、极端最低温为-28.6℃,无霜期 170—195 d,温度昼夜差别及地区分布差异较大,总的状况是温度从北向南递升。近年来,由于人口增长和经济发展,水库上游及周边地区的污染剧增,导致水库水质恶化、水体富营养化加剧。与 20 世纪 80 年代相比,水库水体中营养盐含量明显增加(总磷增加 2 倍多),浮游植物增长也达 1.25 倍。水库富营养化程度的急剧增长,对天津市饮用水源地的安全构成了严重威胁。

本文所用数据为于桥水库库内监测点 2000 年至 2003 年的监测数据^[7],期间监测指标为:叶绿素 a(Chl-a),总磷(TP),总氮(TN),溶解氧(DO),温度(T)。2000 年 1 月至 2002 年 8 月是每隔 10 d 一组数据,2002 年 9 月至 2003 年 12 月是每月 1 组数据,共 112 组数据。

1.2 研究方法

RBF 神经网络即径向基神经网络,是一种单隐层前向型网络,由输入层、隐含层和输出层组成。输入层负责接收输入信号并将其传递到隐含层;隐含层采用径向基函数作为激励函数,该径向基函数一般为高斯函数;输出层实现对隐含层神经元输出的加权求和,其连接权值可调,从而得到输出结果。RBF 神经网络结构图如图 1 所示。

$$\text{输出} \quad y = \sum_i^m w_i \times R_i(x) \quad (1)$$

式中, x 为 n 维输入向量; w_i 为网络的连接权值; m 为隐含层神经元个数。

$R_i(x)$ 为径向基函数, 本文选用高斯函数, 即:

$$R_i(x) = \exp\left(-\frac{\|x - c_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (i=1, 2, 3, \dots, m) \quad (2)$$

式中, c_i 为第 i 个基函数的中心, 与 x 具有相同维数的向量; σ_i 为基函数方差, 决定了此基函数围绕中心点的宽度。

在本文中, 输出 y 为叶绿素 a 浓度, x 为影响 y 变化的因子组成的输入向量。

时间序列是指存在于自然科学或社会科学中的某一变量或指标的数值或观测值, 按照其出现时间的先后次序, 以相同的或不同的间隔时间排列的一组数值^[8]。时间序列预测就是通过对预测对象自身时间序列的分析和处理, 根据其反映出来的特征和规律, 进行类推或延伸, 以此研究其未来一段时间内的变化趋势。对于时间序列 $\{X_i(t)\}$, 其中 i 为变量序号, t 为时间序号, 其预测模型为:

$$\{X_i(t+j)\} = F(\{X_i(t-k)\}) \quad (j=1, \dots, n; k=1, \dots, m) \quad (3)$$

式中, m 和 n 分别为输入和输出时间步长, F 为输入输出关系的映射函数。

叶绿素 a 浓度的变化具有时变性、非线性等特点, 其单一时间序列预测中, 映射函数 F 难以确定, 有一定的缺陷; Hecht-Nielsen 从数学理论上证明了, 只要隐含层神经元数足够多, RBF 神经网络能以任意精度逼近任何复杂函数。由于 RBF 神经网络建模的灵活性, 既可以构筑时间序列预测的直接模型, 也可以通过单步预测器的迭代操作进行多步预测^[9], 因此, RBF 神经网络适合用于非线性时间序列预测。本文将时间序列预测与 RBF 神经网络相结合, 建立时序混合预测模型, 对叶绿素 a 浓度进行预测, 以改变传统方法的不足。

2 自优化 RBF 神经网络时序预测模型

2.1 数据预处理

由于现有数据量(共 112 组)有限, 且数据分布不均匀, 为便于建模, 采用内插和外推的方法估计出需要的数据。三次多项式样条插值具有较小的全局误差和良好的连续特性^[10], 本文采用此插值方法, 使得数据间隔为 10 d, 由此共获得 142 组数据。仿真结束时, 剔除插入值, 避免插入值对预测结果的影响。

由于原始数据各因子的量纲和数量级不同, 为了减小数值差异, 保证所建神经网络对于样本有足够的输入灵敏性和良好的拟合性, 在网络训练前要先对变量进行归一化处理。本文采用如下公式:

$$X' = 0.8 \times (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) + 0.1 \quad (4)$$

将样本数据统一到 $[0.1, 0.9]$ 。式中, X' 为 X 标准化后的值, $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别为原始数据的最大值和最小值。通过以上处理, 可加快网络训练速度, 有利于网络训练。预测结束, 按照其逆函数进行反归一化处理。

2.2 网络变量的选择

模型参数的选取十分重要, 不全面或有所重复都会影响网络的输出。

本文采用可以表征藻类现存量的叶绿素 a 作为网络的输出。输入变量随输出变量而定。目前, 有学者研究表明, 叶绿素 a 与水温及水质因子等因素有关^[11-14]。本文欲建立叶绿素 a 的预测模型, 首先需确定输入变量。以下一时刻的叶绿素 a (NextChl-a), 此刻的叶绿素 a (Chl-a)、总磷 (TP)、总氮 (TN)、溶解氧 (DO)、温度 (T) 为变量, 利用软件 SPSS 18.0 进行主成分分析, 分析结果如表 1。

从表 1 两两变量的 Pearson 相关系数知, NextChl-a 与 Chl-a、TP、TN、DO 和 T 之间的线性关系较好, 说明叶绿素 a 的变化与其历史值及水温、水质因子关系明显; 从主成分贡献看, 第一主成分贡献率达到 57.6%, 各成分的主成分系数均较大。第二和第三主成分均由 TN 起重要作用, 第四主成分由 TP 起重要作用。

分析可知, Chl-a、TP、TN、DO 和 T 对 NextChl-a 的作用均不可忽略, 因此选择 5 个因子均作为输入变量。

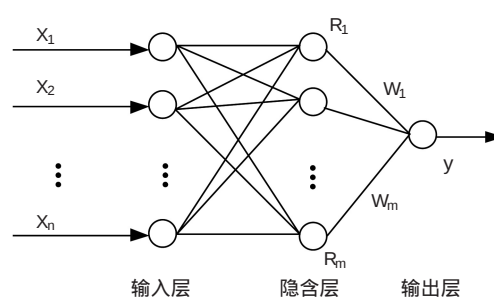


图 1 RBF 神经元结构图

Fig. 1 The structure of RBF neural network

表 1 主成分分析结果

Table 1 Principal component analysis

相关系数 Correlation coefficients								
	NextChl-a	Chl-a	TP	TN	DO	<i>T</i>		
NextChl-a	1							
Chl-a	0.864	1						
TP	0.432	0.498	1					
TN	-0.358	-0.422	-0.193	1				
DO	-0.392	-0.402	-0.471	0.285	1			
<i>T</i>	0.646	0.629	0.597	-0.318	-0.640	1		
各主成分贡献 Contribution of various principal components								
主成分 Component number	主成分系数 Principal components coefficients						特征值 Eigenvalue	累计贡献率/% Cumulative Percentage
	NextChl-a	Chl-a	TP	TN	DO	<i>T</i>		
第一 First	0.842	0.864	0.707	-0.519	-0.697	0.863	3.457	57.6
第二 Second	-0.241	-0.257	-0.422	0.633	-0.382	0.220	0.897	72.6
第三 Third	0.383	0.322	0.220	0.540	0.443	-0.032	0.739	84.9
第四 Fourth	-0.153	-0.230	-0.559	-0.190	-0.345	-0.122	0.506	93.3

2.3 自优化 RBF 神经网络时序预测模型的建立

2.3.1 时间序列的步长设定

本文所建模型为短时预测,输出为下一时刻叶绿素 a 浓度。时间序列不同,其前后数据关联程度也不同,在本文中,有 5 个输入变量,时间序列相对复杂。输入步长不同会导致预测结果的不同,过大将引入冗余无关的历史数据,太小则不能很好的反映变化趋势。本文通过查阅文献^[15]和多次试凑,取步长为 3,即根据之前 3 个时刻的叶绿素 a 浓度历史数据预测下一时刻的浓度。取 2000 年至 2002 年的数据(共 108 组)作为训练集,2003 年的数据(共 34 组)作为测试集,并在仿真结束后剔除插入值,只针对 2003 年的 12 组数据分析。

采用预测值与实测值的相关系数(R)、均方根误差($RMSE$)和平均绝对相对误差($AARE$)指标对预测结果进行评价。

2.3.2 RBF 神经网络

本文利用 Matlab7.11.0 中的 newrbe 函数建立 RBF 神经网络。newrbe 创建一个精确的神经网络,该函数在创建 RBF 网络时,自动选择隐单元个数,使得误差为 0。基本原理是从 0 个神经元开始训练,通过检查输出误差使网络自动增加神经元。每次循环使用,使网络产生的最大误差所对应的输入向量作为权值向量,产生一个新的隐含层神经元,然后检查新网络的误差,重复此过程直到达到误差要求或最大隐单元个数为止。这里最大隐单元个数为样本量。由此可见,RBF 神经网络具有自适应确定、输出与初始权值无关等特点。在 RBF 网络运算过程中,通过改变其扩展速度 SPREAD 值来调整整个网络的拟合度,因此 RBF 神经网络建模的关键是参数 SPREAD 值的确定。

2.3.3 扩展速度 SPREAD 的自优化

径向基函数的扩展速度 SPREAD 的大小影响网络的预测精度,当网络的输入和输出变量都确定后,SPREAD 值就成了模型设计的关键。一般需用不同的值反复尝试^[16-17],操作往往带有一定的盲目性,既费时又不能找到真正的最优值,效率很低。

本文从水质预警课题实际应用背景和建模的可行性及可操作性出发,结合 RBF 神经网络建模的难点,研究关键参数 SPREAD 最优值自动筛选的优化算法。程序设计流程图如图 2 所示。

在图中, n 表示原始数据时间序列长度(即总样本的长度),对应前文所述,这里的 n 为 142;参数 $steps$ 表示输入时间步长,在这里 $steps$ 为 3;参数 $ilen$ 表示建模数据长度,采用递推更新的方法,在时间序列轴上始终

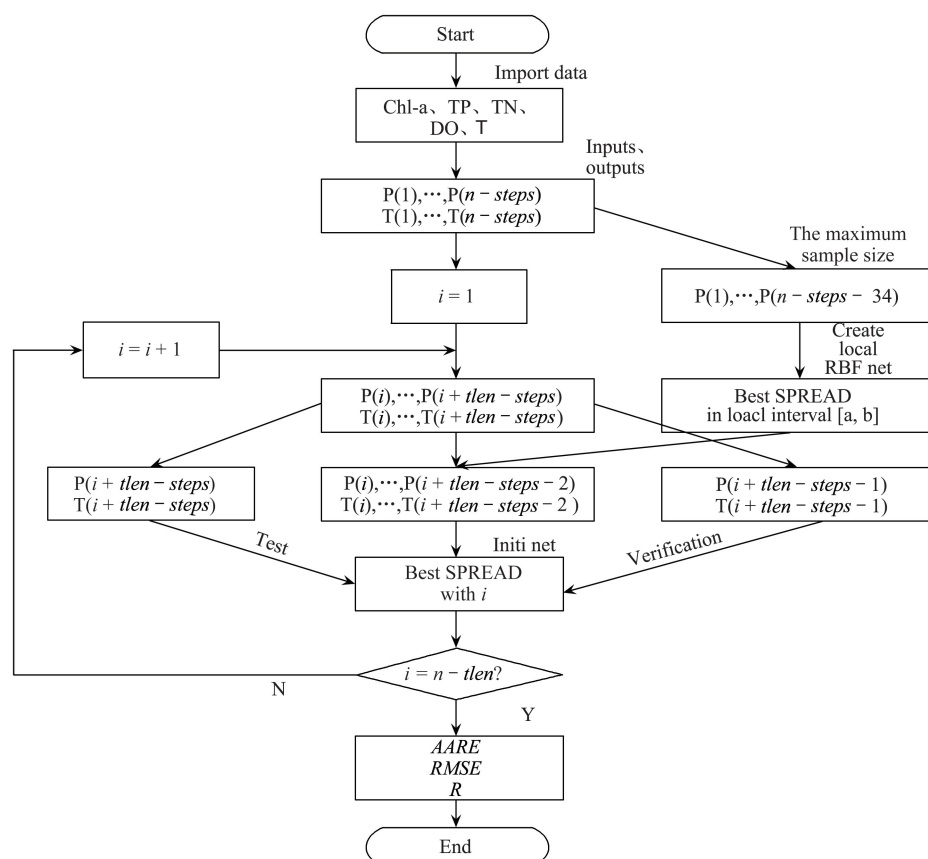


图2 程序流程图

Fig. 2 The program flow chart

利用前 $tlen$ 个原始数据建立 RBF 网络,并以此网络来预测第 $(tlen+1)$ 个数据值。首先,对原始数据时间序列进行加工处理生成了 $n-steps=139$ 组样本,其中前 $n-steps-34=105$ 组为训练样本,后 34 组为测试样本。利用所有已知样本(即 105 组)建立 RBF 神经网络,通过反复尝试得到其最优 SPREAD 值为 10,在此局部最优值上下一定范围内,可以设定一个合适的最优值区间 $[a, b]$,即对所有建模数据长度为 $tlen$ (≤ 108) 的局部 RBF 网络都可以根据一定的评价准则找到其 SPREAD 最优值。

对于给定 $tlen$,其第 i 个分段时间序列组为 $P(i) \sim P(i+tlen-steps)/T(i) \sim T(i+tlen-steps)$ 。考虑到实际应用中,最后一个值是未知待测的数据,故利用前 $(tlen-steps-1)$ 组样本,从 a 至 b 依次递增来获取 SPREAD 值,建立局部 RBF 神经网络,第 $(tlen-steps)$ 组样本作为验证,比较各输出值与实测值的误差,选取误差最小的 SPREAD 值为该分段的最优值,相应的 RBF 神经网络也是局部最佳的,利用该网络可以对最后一个数值进行预测。不断递增 i 值,可以实现对整个时间序列的预测。可以看出,此 RBF 网络对 SPREAD 具有自优化功能。

3 结果

3.1 仿真结果 1

改变 $tlen$ 值从 36 逐一增加到 108,以 2003 年 12 个月的叶绿素 a 浓度的预测值评价指标为研究对象,得到不同 $tlen$ 值对应的评价指标。评价指标随 $tlen$ 值变化曲线如图 3 所示。

从图 3 可以看出,随着 $tlen$ 值的增加,整体上看各评价指标不断提高,但也存在波动。 $tlen$ 大于 70 后开始趋于稳定,说明要能够比较准确、稳定的跟踪到叶绿素 a 浓度的变化规律,至少需要大约两年的数据。当 $tlen$ 值为 105 时,各预测性能评价指标达到最佳, R 达到最大值 0.982, $RMSE$ 达到最小值 0.002, $AARE$ 达到最小值 22.6%。由此可知,样本的选取要合适,既要多还要具有代表性。样本合适时,可以达到较好的预测效果。

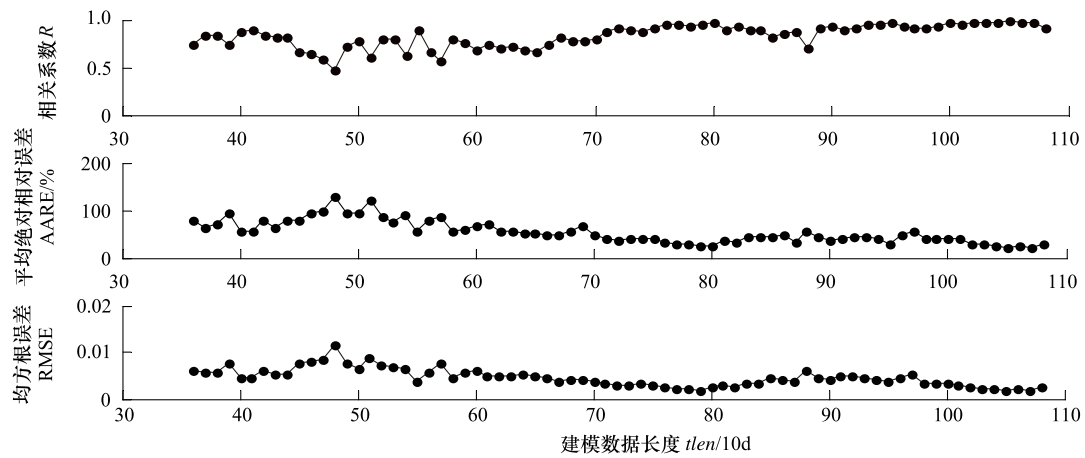


图3 评价指标随 $tlen$ 值变化曲线

Fig.3 The fluctuations of evaluation index with $tlen$

3.2 仿真结果2

当 $tlen$ 分别取 36(1a)、72(2a)、105、108(3a) 时,模型预测性能评价指标如表 2,预测值和实测值的曲线对比如图 4 所示。

表 2 不同 $tlen$ 值对应的预测性能评价指标

Table 2 Evaluation index with different $tlen$

建模数据长度 $tlen$	相关系数 R	均方根误差 $RMSE$	平均绝对相对误差 $AARE/\%$	最优 SPREAD 值 Best SPREAD
36	0.747	0.006	79.3	12.2
72	0.916	0.003	35.6	21
105	0.982	0.002	22.6	10
108	0.912	0.003	30.4	10

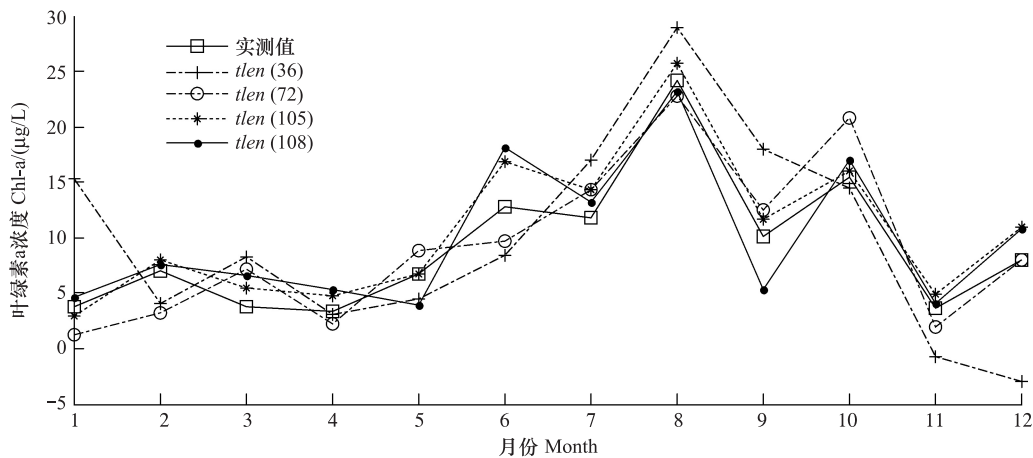


图4 预测值和实测值的曲线对比

Fig.4 Comparison of predicted and observed curve of Chl-a

由图 4 可以发现,样本量较少($tlen=36$)时,预测效果很差;合适的训练样本量($tlen=105$),以及最优的 SPREAD 值时,预测值能够很好的跟踪到实测值的变化趋势,表明 RBF 神经网络具有较好的预测性能。总体来看时间序列 RBF 神经网络对叶绿素 a 浓度的预测有比较满意的结果,基本反映了其未来的发展趋势,特别

在藻类水华易发期 5—10 月,能够准确预测峰值的出现时间,有利于藻类水华的预警,为有关部门提早采取相关措施提供技术支撑。

4 结论

本文以桥水库为研究对象,提出了一种训练样本数及 SPREAD 值可自优化的时间序列 RBF 神经网络预测模型,对表征藻类水华的重要指标叶绿素 a 浓度进行预测。通过优化算法自动筛选 SPREAD 最优值,解决了 SPREAD 最优值难以确定的问题,提高了预测精度。

结果表明,要比较精确的跟踪到叶绿素 a 浓度的变化规律,至少需要大约 2a 的数据;当样本量及 SPREAD 值合适时,该模型能准确的预测出叶绿素 a 浓度的变化趋势,预测精度也较满意,对于课题研究及工程实际应用有一定的借鉴意义。

叶绿素 a 浓度的变化是一个渐变的过程,其值的大小在时间序列上与最近数值有密切的联系。本文中的数据采样周期长达 10d 之久,并且监测值只有水质因子的一部分,水动力条件、气象因子的作用完全没有考虑^[18-21]。10d 的时间会导致叶绿素 a 本身、水质因子和气象因子等很多信息的丢失。因此,若工程实际应用中监测指标更全面一些、监测周期更短一些,模型的预测性能将有更大的提高。

本文作为一种探索性的研究,在插值方法的选用、时间序列输入步长的确定等方面,还有待进一步改进、完善。由于实际情况的限制,本文中没有考虑水动力条件、气象因子的作用。

References:

- [1] Wang X P, Sun J Y, Jin X. Prediction of water quality index in Qiantang River based on BP neural network model. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2007, 41(2): 361-364.
- [2] Yi Z Q. Review of research on eutrophication prediction in lakes and reservoirs with intelligent algorithm. *Water Resources and Power*, 2010, 28(8): 33-35.
- [3] Velo-Suárez L, Gutiérrez-Estrada J C. Artificial neural network approaches to one-step weekly prediction of *Dinophysis acuminata* blooms in Huelva (Western Andalucía, Spain). *Harmful Algae*, 2007, 6(3): 361-371.
- [4] Chau K W. A review on integration of artificial intelligence into water quality modeling. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, 52(7): 726-733.
- [5] Lorenzen C J. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 1967, 12(2): 343-346.
- [6] Lu Z J, Zhu L, Pei H P, Wang Y. The model of chlorophyll a concentration forecast in the West Lake based on wavelet analysis and BP neural networks. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4965-4973.
- [7] Liu T. Predictions on Water Quality Parameters and Advance Warning on Eutrophication in Reservoir [D]. Tianjing: Tianjing University, 2005: 63-65.
- [8] Wang H Y, Lu S. *Nonlinear Time Series Analysis and its Application*. Beijing: Science Press, 2006: 1-1.
- [9] Han M. *Prediction Theory and Method of Chaotic Time Series*. Beijing: China WaterPower Press, 2007: 191-191.
- [10] Xu Q J, Qin B Q, Chen W M, Chen Y W, Gao G. Ecological simulation of algae growth in Taihu Lake. *Journal of Lake Sciences*, 2001, 13(2): 149-157.
- [11] Huang Z F. The Research of Algal Bloom Predicting Model Based on Time Series Neural Network [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011: 39-40.
- [12] Wu E N, Zhu M J, Tang L, Zhu G, Wang Q, Zhang J P. Dynamics of chlorophyll-a and analysis of environmental factors In Lake Dianshan during summer and autumn. *Journal of Lake Sciences*, 2011, 23(1): 67-72.
- [13] Miao C, Li K, Yu G J. Analysis of phytoplankton chlorophyll-a concentration in summer and autumn in Chaohu Lake and the impact factors of cyanobacterial blooms. *Journal of Biology*, 2011, 28(2): 54-58.
- [14] Lü H C, Wang F E, Chen Y X, Yu Z M, Fang Z, Zhou G. Multianalysis between chlorophyll-a and environmental factors in Qiandao Lake water. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(8): 1347-1350.
- [15] Luo H J, Liu D F, Huang Y P. Genetic algorithm-support vector machine model for short-term prediction of chlorophyll a concentration nonlinear time series. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(1): 46-51.
- [16] Chen A W. A Forecasting Method for Data Based on BP and RBF Neural Network [D]. Changsha: Central South University, 2007: 24-25.
- [17] MATLAB Chinese Forum. Analysis of 30 Cases for MATLAB Neural Network. Beijing: Beijing Aeronautics and Astronautics Press, 2010: 72-72.

- [18] Wu X H, Li Q J. Reviews of influences from hydrodynamic conditions on algae. *Ecology and Environment*, 2010, 19(7): 1732-1738.
- [19] Wang L L, Dai H C, Cai Q H. Numerical predicting of velocity and chl-a in Xiangxi River and correlativity research. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2009, 17(5): 652-658.
- [20] Wang H, Pang Y. Numerical simulation on hydrodynamic character for alage growth. *Environmental Science*, 2008, 29(4): 884-889.
- [21] Gao Y X, Zhang Y C. Influences of hydrometeorologic factor on algae bloom. *Water Sciences and Engineering Technology*, 2006, (2): 10-12.

参考文献:

- [1] 王晓萍, 孙继洋, 金鑫. 基于 BP 神经网络的钱塘江水质指标的预测. *浙江大学学报(工学版)*, 2007, 41(2): 361-364.
- [2] 易仲强. 智能算法在湖库富营养化预测中的应用研究综述. *水电能源科学*, 2010, 28(8): 33-35.
- [6] 卢志娟, 朱玲, 裴洪平, 汪勇. 基于小波分析与 BP 神经网络的西湖叶绿素 a 浓度预测模型. *生态学报*, 2008, 28(10): 4965-4973.
- [7] 刘涛. 水库水质参数预测和富营养化预警 [D]. 天津: 天津大学, 2005: 63-65.
- [8] 王海燕, 卢山. 非线性时间序列分析及其应用. 北京: 科学出版社, 2006: 1-1.
- [9] 韩敏. 混沌时间序列预测理论与方法. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 191-191.
- [10] 许秋瑾, 秦伯强, 陈伟民, 陈宇炜, 高光. 太湖藻类生长模型研究. *湖泊科学*, 2001, 13(2): 149-157.
- [11] 黄浙丰. 基于时序神经网络的藻类水华预测模型研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2011: 39-40.
- [12] 吴阿娜, 朱梦杰, 汤琳, 朱刚, 汪琴, 张锦平. 淀山湖蓝藻水华高发期叶绿素 a 动态及相关环境因子分析. *湖泊科学*, 2011, 23(1): 67-72.
- [13] 缪灿, 李堃, 余冠军. 巢湖夏、秋季浮游植物叶绿素 a 及蓝藻水华影响因素分析. *生态学杂志*, 2011, 28(2): 54-58.
- [14] 吕唤春, 王飞儿, 陈英旭, 虞左明, 方志, 周根. 千岛湖水体叶绿素 a 与相关环境因子的多元分析. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1347-1350.
- [15] 罗华军, 刘德富, 黄应平. 基于遗传算法—支持向量机的水库叶绿素 a 浓度短期预测非线性时序模型. *水力学报*, 2009, 40(1): 46-51.
- [16] 湛爱文. 基于 BP 和 RBF 神经网络的数据预测方法研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2007: 24-25.
- [17] MATLAB 中文论坛. MATLAB 神经网络 30 个案例分析. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010: 72-72.
- [18] 吴晓辉, 李其军. 水动力条件对藻类影响的研究进展. *生态环境科学*, 2010, 19(7): 1732-1738.
- [19] 王玲玲, 戴会超, 蔡庆华. 香溪河水动力因子与叶绿素 a 分布的数值预测及相关性研究. *应用基础与工程科学学报*, 2009, 17(5): 652-658.
- [20] 王华, 逢勇. 藻类生长的水动力学因素影响与数值仿真. *环境科学*, 2008, 29(4): 884-889.
- [21] 高月香, 张永春. 水文气象因子对藻华爆发的影响. *水科学与工程学报*, 2006, (2): 10-12.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 22 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Hyperspectral estimation models for plant community water content at both leaf and canopy levels in Wild Duck Lake wetland	6645
Potential distribution of rice in china and its climate characteristics	6659
Effects of seed soaking with soybean isoflavones on soybean seedlings under salt stress	6669
Ecophysiological responses and adaptation of <i>Tamarix ramosissima</i> to changes in groundwater depth in the Heihe river basin	6677
<i>Melica przewalskyi</i> population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland	6688
A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint	6696
Spatial-temporal variation of NPP and NDVI correlation in wetland of Yellow River Delta based on MODIS data	6708
Marshclassification mapping at a community scale using high-resolution imagery	6717
The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of <i>Arabidopsis thaliana</i> L. and the possible mechanisms	6727
Spatial and dynamic analysis of plantations in Xishuangbanna using network <i>K</i> -function	6734
Contrastive analysis and climatic response of tree-ring gray values and tree-ring densities	6743
Fractal structure of dominant tree species in north-facing slope of mountain of northern Hebei	6753
Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China	6766
Effects of seed-dressing agents on groundnut and rhizosphere microbes	6777
Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing	6788
A trend surface analysis of geographic variation in the traits of seeds and seedlings from different <i>Quercus acutissima</i> provenances	6796
Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin, Shaanxi Province, China	6805
An analysis on the water status in twigs and its relations to the drought resistance in Five woody plants living in arid zone	6815
The effect of fire on soil properties in a <i>Pinus massoniana</i> stand	6824
Water-environment effects of industry structure in Taihu Lake Basin in Jiangsu Province	6832
Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two <i>Kappaphycus</i> species	6845
Analysis on characteristics of a typical drought event in Jiangsu Province	6853
Surface heat flux and energy budget for semi-arid grassland on the Loess Plateau	6866
Effects of light quality on photosynthetic characteristics and on the carotenoid and cuticular extract content in tobacco leaves	6877
Cyanobacterial diversity in biological soil crusts on wastelands of copper mine tailings	6886
Stereotypic behavior frequency and the influencing factors in captive Alpine musk deer (<i>Moschus sifanicus</i>)	6896
Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station	6902
Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China	6912
A novel cognitive-based approach to motivation for non-use value	6926
Review	
Salt-responsive proteomics in plants	6936
Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments	6947
Review of research progress of infectious diseases in wild birds	6959
Review on the methods to quantify fish's ability to cross velocity barriers in fish passage	6967
Monograph	
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: foundation, prospect and response strategy	6973
Scientific Note	
A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature <i>Caragana korshinskii</i> plantations	6978

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 22 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 22 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元