

# 基于径向基函数神经网络(RBFN)的内蒙古土壤风蚀危险度评价

师华定<sup>1</sup>, 高庆先<sup>1</sup>, 庄大方<sup>2</sup>, 胡云锋<sup>2</sup>

1. 中国环境科学研究院, 北京 100012

2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101

**摘要:** 土壤风蚀是北方干旱和半干旱地区土地沙化和沙尘暴灾害的首要环节和主要动力过程之一。选取影响内蒙古自治区土壤风蚀演化的相关指标, 运用GIS技术提取各指标数据, 构建径向基函数神经网络(Radial Basis Function Network, RBFN); 根据不同风蚀危险程度标准, 选取12个市、县(旗)相关数据进行训练, 确定网络模型参数, 进而对内蒙古自治区88个市、县(旗)的土壤风蚀危险度进行了评价。结果表明: 内蒙古自治区西部为土壤风蚀发生的极强危险区, 西北为强危险区, 中部为中度危险区, 而东部为轻度危险区; 利用其他研究对该评价结论进行对比验证, 结果较为理想。

**关键词:** 内蒙古自治区; 土壤风蚀; 径向基函数神经网络; 危险度评价

**中图分类号:** X82      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-6929(2008)05-0129-05

## Using RBFN Model and GIS Technique to Assess Wind Erosion Hazard in Inner Mongolia

SHI Hua-ding<sup>1</sup>, GAO Qing-xian<sup>1</sup>, ZHUANG Da-fang<sup>2</sup>, HU Yun-feng<sup>2</sup>

1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

2. Institute of Geographical Science and Natural Resource Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

**Abstract:** Soil wind erosion is the primary process and the main driving force for land desertification and sand-dust storms in arid and semi-arid areas of Northern China. Related indicators affecting the soil wind erosion of Inner Mongolia Autonomous Region were selected, the GIS technology was used to extract the spatial data, and the Radial Basis Function Network (RBFN) model was construct for assessment of wind erosion hazard. After training the sample data of the different levels of wind erosion hazard of 12 cities (counties), the parameters of the model were obtained, and then the wind erosion hazard assessed for 88 cities (counties) in Inner Mongolia. The result shows that in the western parts of Inner Mongolia wind erosion hazard are very severe, counties in the middle regions of Inner Mongolia vary from moderate to severe, and in eastern are slight. The comparison of the result with other researches shows that the result is in conformity with actual conditions, proving the reasonability and applicability of the RBFN model.

**Key words:** Inner Mongolia Autonomous Region; soil wind erosion; Radial Basis Function Network (RBFN); hazard assessment

内蒙古自治区属温带大陆型气候, 全区由东向西呈现湿润、半湿润、半干旱的分布规律, 地貌、土壤和植被类型丰富多样, 是我国生态系统的一条重要过渡地带和生态安全屏障; 但由于其所处的独特地理位置、气候背景以及人为扰动, 区域因风力侵蚀引

起的土地退化、荒漠化非常严重<sup>[1-2]</sup>。风力侵蚀不仅引发土地荒漠化和土壤贫瘠化等土地退化过程, 造成农田与草地生态系统生产力下降, 破坏人类赖以生存、发展的生态环境; 而且风力侵蚀土地还是沙尘暴灾害最主要的沙尘源<sup>[3]</sup>。

国内已对内蒙古自治区土壤风蚀开展大量研究。研究内容涵盖风蚀机制<sup>[4]</sup>、区域风蚀分布<sup>[1-2, 5]</sup>、生态环境效应<sup>[6]</sup>、风蚀来源<sup>[7-8]</sup>等方面, 但是对其土壤风蚀危险性评价尚不多见。土壤风蚀危险性评价是根据土壤风蚀演变发展的相关要素和区域生态背景要素, 对特定区域未来土壤风蚀等级程度进行的评价。其意义在于反映一个地区土壤风蚀发展程

收稿日期: 2008-04-16      修订日期: 2008-05-12

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(40571130, 40701150); 2007年度环保公益性行业科研专项项目(200709008); 中国环境科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务专项资助项目(2007KYYW42)

**作者简介:** 师华定(1979-), 男, 山西临汾人, 助理研究员, 博士, 主要从事气候变化、土地退化与生态遥感研究, shihd@craes.org.cn.

度,为科学、有的放矢地进行各种防沙治沙决策和工程实施提供有力支持。

笔者以内蒙古自治区为例,在前人研究基础上,选取影响土壤风蚀演化的相关指标,运用 GIS 技术提取各指标数据,建立 RBF 神经网络;通过对已有的、较为公认的 12 个不同土壤风蚀危险程度市、县(旗)相关数据的训练,确定网络模型各参数;进而对内蒙古自治区 88 个市、县(旗)的土壤风蚀危险度进行评价。

## 1 研究区域

内蒙古自治区地处蒙古高原东南部,介于东经  $97^{\circ}10' \sim 126^{\circ}29'$ ,北纬  $37^{\circ}30' \sim 53^{\circ}20'$ 。全区总面积  $118.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占全国土地面积的 12.3%。内蒙古自治区处于中纬度地区,气候属典型的温带大陆性季风气候,降水量少而不均,寒暑变化剧烈。土壤种类较多,其性质和生产性能也各不相同,但其共同特点是土壤形成过程中钙积化强烈,有机质积累较多。土壤带基本呈东北—西南向排列,最东为黑土地带,向西依次为暗棕壤、黑钙土、栗钙土、棕壤土、黑垆土、灰钙土、风沙土和灰棕漠土等地带。内蒙古自治区地貌以蒙古高原为主体,具有复杂多样的形态。除东南部外,基本是高原,其面积占总土地面积的 50% 左右,由呼伦贝尔、锡林郭勒、阿拉善及鄂尔多斯等高原组成,平均海拔 1 000 m 左右,海拔最高点贺兰山主峰为 3 556 m。高原四周分布着大兴安岭、阴山和贺兰山等山脉,构成内蒙古高原地貌的脊梁。内蒙古高原西端分布有巴丹吉林、腾格里、乌兰布和、库布其和毛乌素等沙漠,总面积  $15 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

## 2 研究方法

### 2.1 RBF 神经网络原理

人工神经网络是由大量、简单的神经元广泛连接而成,用以模拟人脑思维方式的复杂网络系统,是解决复杂性和非线性问题十分有效的工具。其具有较强的自组织、自适应及学习、联想、容错和抗干扰能力。径向基函数(Radial Basis Function, RBF)神经网络是近年来被广泛应用于函数近似插值、分类研究的人工神经网络模型之一<sup>[9-10]</sup>。它是由输入层、隐含层和输出层组成的 3 层前向式网络,各层有多个神经元,相邻两层单元之间单方向连接,通过径向基算法来获得隐层权值。通常用高斯函数作为径向基函数,确定最终输出值(见图 1)。

由图 1 可知,  $x_k$  为输入层的输入( $k = 1, 2, \dots, N$ );  $v_j$  为隐含层的输入( $j = 1, 2, \dots, L$ );  $o_i$  为输出层

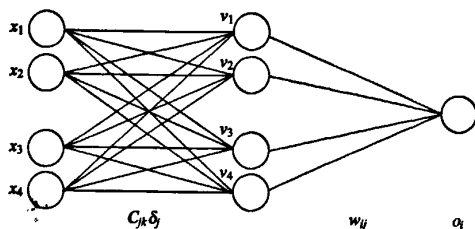


图 1 径向基函数网络模型结构

Fig. 1 The structure of RBFN layers

的输出;  $C_{jk} = (c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jN})^T$  和  $\delta_j$  分别为隐含层单元基函数的中心和宽度;  $w_{ij}$  为隐含层单元与输出层单元之间的连接权重;  $N, M$  和  $L$  分别为输入单元、输出单元和隐含单元的数量。  $N$  和  $M$  同实际问题的输入维数和输出维数相一致;而  $L$  的选择,一般采用构造人工神经网络结构或对网络结构进行修改,使之与具体问题相适应的方法来确定。径向基函数神经网络的训练通常采用  $K$  均值法确定隐含层单元中心 ( $C_{jk}$ ),用试凑法或估计法确定宽度 ( $\delta_j$ ),用 LMS 法或最小二乘法来确定连接权  $w_{ij}$ 。具体算法见文献[11]。

BP 神经网络虽然是用途最广泛的一种网络,但其学习算法存在训练速度慢、易陷入局部极小值和全局搜索能力差等缺点。与 BP 神经网络相比, RBF 神经网络不仅训练速度快,而且也不存在局部极小的问题,它的逼近能力、分类能力和学习速度等方面均优于前者;但也必须确定合理的隐含层节点数。鉴于此,笔者应用 RBF 神经网络进行土壤风蚀的危险度评价研究。

### 2.2 评价指标的选取与量化

土壤风蚀过程非常复杂,受多种自然因素和人为因素的综合影响。笔者参照水利部 1997 年公布的《土壤侵蚀分类分级标准》中的“土壤侵蚀潜在危险度评价标准”和前人研究成果<sup>[2,12]</sup>,同时遵循指标选取的系统性、代表性、简明性和可获得性原则,选取 6 个指标进行评价。

#### 2.2.1 植被覆盖率

植被是土壤风蚀侵蚀动力的主要抑制因子。植物茎、叶、主干对提高地表的粗糙度、降低地表风速有重要作用,其原地的残余物、根及土壤有机体含量对土壤可蚀性的影响也非常重要;同时植被通过改变土壤水分状况,促使表层土壤稳固性结构体的形成而增加土壤抗蚀力,最终达到减轻风蚀灾害的目的。采用中分辨率成像光谱仪(MODIS)的植被指数

产品,统计2000年春季归一化植被指数(NDVI)最大值的平均值的空间分布。NDVI值愈大显示地表植被生长愈旺,植被覆盖率愈高。

### 2.2.2 土壤类型

不同粒度的土壤颗粒具有不同的抗剪切力。黏质土壤含有大量粉砂颗粒,易形成团粒结构,抗剪切能力增强;相同条件下,壤质土壤则由于含有较多的细砂颗粒,所以其起沙风速小于砂质土壤<sup>[13-14]</sup>;砾质结构的土壤和戈壁土壤则由于含有的粗砂颗粒相对较多,所以其风蚀速率小于沙地土壤。有研究表明<sup>[15]</sup>,不同质地的土壤可蚀性与土壤的颗粒粒度比例具有相关关系,粒度小的粉砂具有较大的团聚度和抗风蚀性,而粒度较大的粗砂不易被风吹走,土壤细砂含量可在一定程度上反映土壤的可蚀性大小。笔者以土壤细砂含量为指标来表示土壤可蚀性的空间分布。

### 2.2.3 沙地面积所占比例

土地利用方式及其强度是影响风蚀灾害的重要因子。沙地区域地表裸露、土层松散以及植被盖度低,所以区域沙地面积直接影响土壤风蚀发生的面积和强度。沙地面积所占比例越大,土壤风蚀的危险性就越大。

### 2.2.4 地形起伏度

土壤风蚀与地形也有较强联系。地形平坦地区,土壤风蚀多为中度、强度,且呈片状分布;而在地形崎岖破碎的区域,侵蚀强度小。这是因为地形起伏巨大,一定程度上使得土壤粗糙度增大,而土壤可蚀性随着土壤粗糙度的增大降低;加上山体本身的垂直地带性特征,使高大且陡峭地区的风力侵蚀程度整体变弱。地形与土壤风蚀的分布关系用地形起伏度来表示。笔者基于全国1:250 000数字高程模型(DEM),在ARCGIS的GRID模块支持下,提取土壤风蚀地形起伏度。

### 2.2.5 土壤干燥度

地表土壤含水量的变化是影响风力侵蚀对土壤颗粒搬运的重要因素。降水量少、气温偏高,土壤变得干燥,风就容易将粉尘带入空中。土壤干燥度是表征地区土壤干湿程度的指标,一般以地区的水分收支与热量平衡的比值来表示。土壤干燥度的计算采用修正后的谢良尼诺夫模型:

$$D = 0.16 \cdot \sum (T/P)$$

式中, $D$ 为土壤干燥度, $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ ;  $P$ 为年降水量, $\text{mm}$ 。 $T$ 为年大于 $10^{\circ}\text{C}$ 积温。

### 2.2.6 风场强度

风场强度是影响风对土壤颗粒搬运的重要因素。中国北方地区冬、春季受强大的季风所控制。风场强度的计算采用美国农业部拟定的土壤风力侵蚀方程(Revised Wind Erosion Equation, RWEQ)中的方法:

$$W = \frac{n}{500} \cdot \sum_{i=1}^n U_i \cdot (U_i - U_c)^2$$

式中, $W$ 为风能强度因子, $\text{m}^3/\text{s}^3$ ;  $U_i$ 和 $U_c$ 分别为距地面2 m处的风速和临界风速, $\text{m/s}$ ,  $U_c$ 一般取 $5 \text{ m/s}$ 。

## 3 研究数据来源与处理

### 3.1 数据来源

1:250 000 DEM数据、土壤类型数据和沙地数据均由中国科学院资源环境数据中心提供;NDVI数据由MODIS网站(<http://modis.gsfc.nasa.gov>)下载;计算风场强度和土壤干燥度所需的气象观测数据采用国家气象局公开发布的数据。

### 3.2 数据处理

GIS数据在统一投影、坐标和分辨率后,进行相关要素数据的提取。获取原始数据后,为避免量纲影响,对全体指标进行了同一化处理,计算公式为:

$$x_i' = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (1)$$

标准化后的数据空间分布如图2所示。

### 3.3 训练数据

根据相关研究资料<sup>[2,4]</sup>,内蒙古自治区土壤风蚀危险度在空间上“东弱西强”,而且危险度分区区域性较强,据此确定了土壤风蚀危险度的等级。选择了12个特征市县(旗)作为神经网络训练样本(见表1)。设置的停止训练误差为 $10^{-3}$ ,当训练次数达到11次时,误差即小于 $10^{-6}$ ,训练停止。

### 3.4 计算工具

GIS数据提取软件为美国ESRI公司出品的ARCGIS Desktop 8.3版本,RBFN模型运行软件为美国MathWorks公司出品的Matlab 6.5版本。

## 4 评价结果与讨论

根据构建的RBF神经网络模型对内蒙古自治区88个市、县(旗)进行评价,其中土壤风蚀极强危险的有13个,强度危险的有23个,中度危险的有19个,轻度危险的有33个(见表2,图3)。

内蒙古自治区的土壤风蚀危险度格局大致呈现“西高东低、中间过渡”的特点,这与该地区的气候和地理分布相吻合。西部地区分布着巴丹吉林、腾格里及乌兰布和等沙漠,地表干燥,植被覆盖率低,加上风场强度指数高,使得西部的阿拉善高原及其周

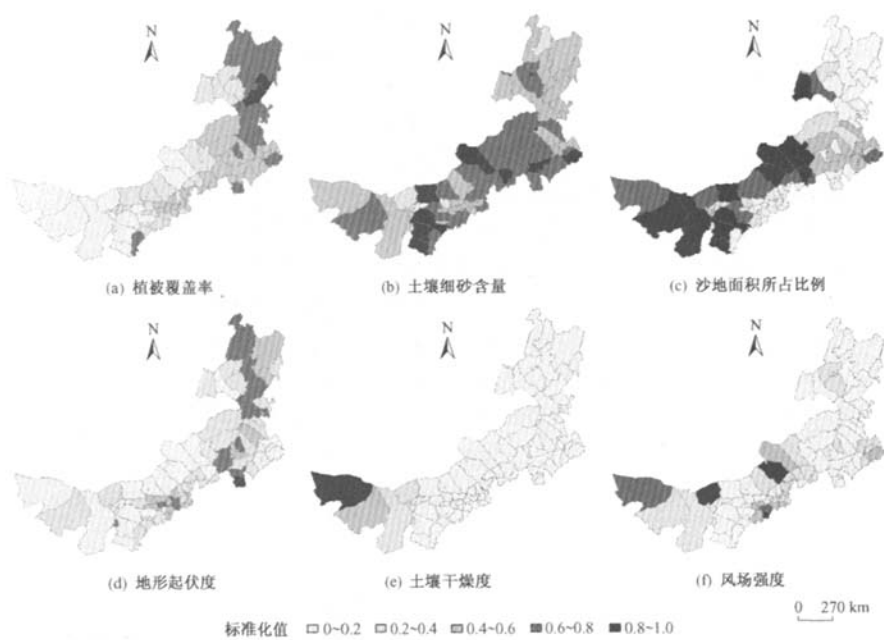


图 2 内蒙古自治区土壤风蚀评价指标标准化值空间分布

Fig.2 Spatial distribution of standard assessment value of soil wind erosion in Inner Mongolia Autonomous Region

表 1 网络训练样本的指标标准化值与风蚀危险度分级

Table 1 Sampling indices of network training and classification standard of hazard

市、县(旗)	土壤 细砂含量	沙地面积 所占比例	地形 起伏度	风场 强度	2—5月 NDVI 平均值	土壤干燥度	风蚀 危险度
额尔古纳市	0.41	0.00	0.75	0.07	0.67	0.01	轻度
牙克石市	0.41	0.00	0.62	0.14	0.67	0.01	轻度
科尔沁右翼前旗	0.52	0.00	0.66	0.12	0.75	0.02	轻度
东乌珠穆沁旗	0.68	0.3	0.22	0.12	0.41	0.04	中度
科尔沁左翼中旗	0.5	0.51	0.01	0.28	0.55	0.04	中度
巴林右旗	0.69	0.52	0.57	0.12	0.54	0.04	中度
鄂托克旗	0.80	0.96	0.15	0.05	0.17	0.10	强度
苏尼特右旗	0.72	0.93	0.11	0.87	0.18	0.11	强度
乌拉特中旗	0.63	0.69	0.22	0.19	0.12	0.11	强度
阿拉善右旗	0.62	0.91	0.29	0.29	0.05	0.44	极强
额济纳旗	0.47	0.79	0.13	0.71	0.00	1.00	极强
阿拉善左旗	0.49	0.86	0.18	0.23	0.07	0.25	极强

边地区土壤风蚀危险度极强;而东部地区降水较多,植物生长良好,风场强度指数和干燥度也较低,地表土壤以固定及半固定沙地为主,流沙零星分布于植被遭破坏的地方,所以属于风蚀轻度危险区;中部地区从东到西相对应于气候和立地条件的变化,土壤风蚀危险度也呈现从中度到强度危险的变化,以及北部区域土壤风蚀危险度高于南部的规律.而由于科尔沁、浑善达克以及呼伦贝尔等沙地的分布,在中

部以及东部也零星分布着土壤风蚀强度危险和极强危险的地区.

由于尚未发现定量分析内蒙古自治区土壤风蚀危险度的研究,该研究与其他关于土壤风蚀强度、风力侵蚀指数以及沙尘源区的研究<sup>[2,4,7]</sup>比较,尽管角度不同,但关于内蒙古自治区风力侵蚀的总体格局基本一致,从而证明了RBFN模型评价土壤风蚀危险性具有较高的准确性.

表 2 内蒙古自治区土壤风蚀危险度分区  
Table 2 Zoning of soil wind erosion hazardous assessment in Inner Mongolia Autonomous Region

风蚀危险度	市、县(旗)
轻度	阿荣旗、巴林左旗、察哈尔右翼前旗、额尔古纳市、鄂伦春自治旗、丰镇市、根河市、固阳县、和林格尔县、呼和浩特市、化德县、集宁市、喀喇沁旗、科尔沁右翼前旗、凉城县、林西县、莫力达瓦达斡尔族自治县、宁城县、清水河县、商都县、太仆寺旗、土默特右旗、土默特左旗、乌海市、乌拉特前旗、乌兰浩特市、武川县、兴和县、牙克石市、扎赉特旗、扎兰屯市、准格尔旗和卓资县
中度	敖汉旗、巴林右旗、察哈尔右翼后旗、察哈尔右翼中旗、陈巴尔虎旗、赤峰市、东乌珠穆沁旗、鄂温克族自治旗、海拉尔市、霍林郭勒市、科尔沁区、科尔沁右翼中旗、克什克腾旗、库伦旗、满洲里市、突泉县、翁牛特旗、西乌珠穆沁旗、扎鲁特旗
强度	阿巴嘎旗、阿鲁科尔沁旗、达尔罕茂明安联合旗、达拉特旗、磴口县、东胜区、鄂托克旗、鄂托克前旗、二连浩特市、杭锦旗、开鲁县、科尔沁左翼中旗、临河市、四子王旗、苏尼特右旗、苏尼特左旗、托克托县、乌拉特中旗、乌审旗、锡林浩特市、新巴尔虎右旗、新巴尔虎左旗和金旗
极强	阿拉善右旗、阿拉善左旗、包头市、多伦县、额济纳旗、杭锦后旗、科尔沁左翼后旗、奈曼旗、乌拉特后旗、五原县、镶黄旗、正蓝旗和正镶白旗

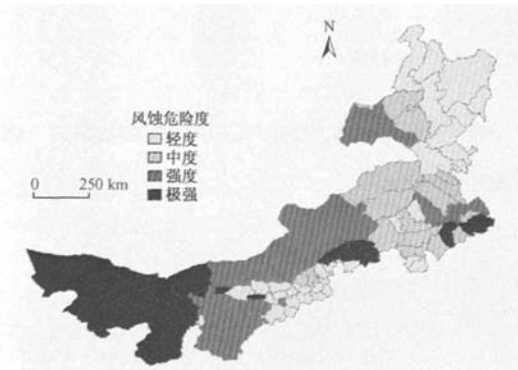


图 3 内蒙古自治区土壤风蚀危险度评价  
Fig.3 Soil wind erosion hazardous assessment in Inner Mongolia Autonomous Region

5 结论

a. 依据建立的 RBF 神经网络模型,对内蒙古自治区 88 个市、县(旗)进行了土壤风蚀危险度评价。内蒙古自治区的土壤风蚀危险度格局大致呈现“西高东低、中间过渡”的特点:西部地区为土壤风蚀极强危险区;东部地区属于风蚀轻度危险区;中部地区从东到西土壤风蚀危险度呈现从中度危险到强度危险的变化,北部区域土壤风蚀危险度高于南部的规律。

b. GIS-RBF 集成技术可有效地解决土壤风蚀危险度评价过程中各数据的管理、挖掘、数字化和可视化等问题。实例研究表明,利用 GIS 的空间信息分析和信息提取功能,可从图中提取危险度评价的相关数据,输入训练好的 RBFN 模型,可得到较准确的土壤风蚀危险度评价结果。

参考文献(References):

[ 1 ] 陈渭南,董光荣,董治宝.中国北方土壤风蚀问题的研究进展和趋势[J].地球科学进展,1994,9(5): 6-12.

[ 2 ] 张国平,刘纪远,张增祥.1995—2000 年中国沙地空间格局变化的遥感研究[J].生态学报,2002,22(9): 1500-1506.

[ 3 ] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J].地理学报,2000,55(5): 513-520.

[ 4 ] 胡云锋,刘纪远,庄大方,等.土地利用动态与风力侵蚀动态对比研究:以内蒙古自治区为例[J].地理科学进展,2003,22(6): 541-550.

[ 5 ] 张志刚,陈万隆.影响北京沙尘源地的气候特征与北京沙尘天气分析[J].环境科学研究,2003,16(2): 6-9.

[ 6 ] 张志刚,高庆先,矫海燕,等.影响北京地区沙尘天气的源地和传输路径分析[J].环境科学研究,2007,20(4): 21-27.

[ 7 ] 王涛,赵哈林,肖洪浪.中国沙漠化研究的进展[J].中国沙漠,1999,19(4):299-311.

[ 8 ] 苏永中,赵哈林.农田沙漠化过程中土壤有机碳和氮的衰减及其机理研究[J].中国农业科学,2003,36(8):928-934.

[ 9 ] 延昊,王长耀,牛铮.东亚沙尘源地、沙尘输送路径的遥感研究[J].地理科学进展,2002,21(1): 90-93.

[ 10 ] 赵晓丽,张增祥,刘斌,等.基于遥感和 GIS 的全国土壤侵蚀动态监测方法研究.水土保持通报[J].2002,22(4): 29-32.

[ 11 ] Moody J, Darken C. Fast learning in networks of locally tuned processing units[J].Neural Computation,1989,4:740-747.

[ 12 ] Park J, Sandberg I W. Universal approximation using radial basis function network[J].Neural Computation,1991,3:246-257.

[ 13 ] 王洪元,史国栋.人工神经网络技术及其应用[M].北京:中国石化出版社,2003.

[ 14 ] Webb N P, Hamish Mcgowan H A, Phinn S R, et al. AUSLEM (Australian Land Erodibility Model): a tool for identifying wind erosion hazard in Australia[J].Geomorphology,2006,78:1-20.

[ 15 ] Chepil W S. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind:calcium carbonate and decomposed organicmaterial[J].Soil Sci,1954c,77:473-480.

[ 16 ] Chepil W S. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind:sand, silt and clay[J].Soil Sci,1955c,80:155-162.

[ 17 ] Zobeck T M, Parker N C, Haskell S, et al. Scaling up from field to region for wind erosion prediction using a field-scale wind erosion model and GIS[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2000, 82:247-259.

(责任编辑:孙彩萍)