

基于 BP 神经网络的湖北省城市土地可持续利用评价

谭木魁, 游和远

(华中科技大学 公共管理学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 城市土地可持续利用是城市化进程中必须考虑的一个问题。在着手建立湖北省城市土地可持续利用支持体系之前, 有必要对湖北省城市土地可持续利用的现状进行评价。首先构建湖北省城市土地可持续利用评价指标体系, 再运用 BP 神经网络建立湖北省城市土地可持续利用评价模型, 然后运行该模型, 最终得出湖北省 12 个城市的土地可持续利用水平评价结果。

关键词: 城市土地; 可持续利用; BP 神经网络; 湖北省

中图分类号: F127.63

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2006)10-0147-04

0 前言

城市化是中国现阶段社会经济发展的重要标志与动力, 城市化进程同时伴随着一个土地利用的过程。土地利用的结果都将在土地上留下深深的烙印, 并通过各类土地的数量、质量、效益的变化发展, 显现出利用的可持续性。

到 2001 年, 湖北省城市化水平以实际居住人口计算, 已达到近 35%; 以非农业人口口径和“五普”口径计算分别为 28% 和 41%, 在中部省份中, 湖北省城市化水平居于上游^[1]。湖北省城市化的发展方针是: 充分发挥特大城市优势, 壮大完善大城市, 因地制宜发展中小城市, 择优发展小城镇^[1]。我们可以预见, 在未来一段时间内, 随着城市化进程的推进, 湖北省主要城市的发展会有一个大的飞跃。

城市的发展必然要求城市土地利用状态的改变, 这就要求湖北省主要城市在城市化进程中要对土地利用方向、力度、时间等因素进行决策, 因此湖北省城市土地可持续

利用现状将成为城市化决策过程中的重要依据。为此, 我们有必要对湖北省主要城市(武汉、黄石、十堰、宜昌、襄樊、鄂州、荆门、孝感、荆州、黄冈、咸宁、随州)进行城市土地可持续利用评价。

1 湖北省城市土地可持续利用评价指标体系的构建

湖北省城市土地可持续利用评价指标体系由 3 个层次构成, 即目标层、因子层和指标层。目标层反映的是湖北省城市土地可持续利用的总体目标, 在实际评价中为数据给定的某一时间点上湖北省城市土地的可持续利用水平。因子层分类反映目标层的状态。指标层具体描述因子层的影响指标。

基于城市土地可持续利用评价的复杂性与实践性, 对于指标层的选定, 应执行下面 3 个标准: 指标的客观性。所选定的指标应该因地制宜, 能够最大可能地反映影响或者标志该地区土地可持续利用水平的因素。指标的可获取性。易获取的指标是不

间断地跟踪评价土地可持续利用水平的前提条件, 一旦某一指标在过去、现在和将来出现数据断裂, 那么城市土地可持续利用评价结果就可能发生偏差。指标的可量化。基于数学定量分析的城市土地可持续利用评价, 可信度与可执行度都大大高于一般的定性评价, 而指标层所选指标的可量化, 将会在很大程度上方便对城市土地可持续利用评价的数学定量分析。

基于以上考虑, 在借鉴谭永忠、吴次芳^[2]提出的城市土地可持续利用评价指标体系的基础上, 根据湖北省具体实际, 以能够反映城市土地可持续利用现状和趋势的用地面积、用地效益、用地结构和用地管理等方面的指标为基础, 以城市土地可持续利用度为评价目标, 构建出湖北省城市土地可持续利用评价指标体系(见表 1)。

2 湖北省城市土地可持续利用评价模型的建立

神经网络是一个并行和分布式的信息

收稿日期: 2005-11-25

基金项目: 湖北省科技攻关项目(2005AA404B06)

作者简介: 谭木魁(1965-), 男, 湖北巴东人, 土家族, 华中科技大学公共管理学院土地管理系教授, 博士生导师, 研究方向为土地资源管理、房地产管理; 游和远(1983-), 男, 浙江温州人, 华中科技大学公共管理学院土地资源管理硕士, 研究方向为城市土地资产经营与管理。

表1 湖北省城市土地可持续利用评价指标体系

目标层	因子层	指标层
城市土地可持续利用度	用地面积	人均居住用地面积
		人均工业用地面积
		人均道路广场用地面积
		人均绿地面积
	用地经济效益	单位土地面积的国内生产总值
		单位工业用地面积的工业总产值
	用地环境效益	工业固体废物综合利用率
		工业废水排放达标率
		生活垃圾无害处理率 生活污水处理率
	用地结构	居住用地比重
工业用地比重		
道路广场用地比重		
绿地比重		
用地管理	划拨出让比重 有偿供地面积中招拍挂比重	

处理网络结构, 它由许多个神经元组成, 每个神经元只有一个输出, 它可以连接到很多其它神经元, 每个神经元输入有多个连接通道, 每个连接通道对应于一个连接权值。从网络的结构而言, 神经网络可分为前馈神经网络和反馈神经网络。BP神经网络是当前研究得最为成熟且应用最广的一种前馈型网络, BP神经网络采用的是BP(Back Propagation)算法, 即所处理的信息逐层向前流动, 而当学习权值时, 却是根据期望输出与实际输出的误差, 由前向后逐层修改权值。BP神经网络具有良好的鲁棒性和容错性, 对于一个大规模的网络来说, 个别节点和连接的损坏不会影响整体的结果; 它具有很强的学习能力, 网络可在学习过程中不断完善自己; 它的结构简单明了, 训练方法物理概念清楚, 通用性较强。湖北省城市土地可持续利用评价BP神经网络模型是以BP神经网络为平台, 以湖北省城市土地可持续利用评价指标体系为核心的城市土地可持续利用评价模型。建立湖北省城市土地可持续利用评价模型包括评价模型网络结构的确定, 评价模型激励函数与学习速率的选择, 原始数据的归一化以及归一化后数据的分等量化4个步骤。

2.1 评价模型网络结构的确定

一个BP神经网络包括输入层、输出层和隐含层。网络结构的确定主要指输入层神经元个数、输出层神经元个数、隐含层神经元个数的确定。对于较复杂的BP神经网络还包括隐含层数目的确定。

湖北省城市土地可持续利用评价BP神经网络模型的输入层神经元个数由湖北省城市土地可持续利用评价指标体系指标层规定的指标个数确定, 输入层神经元个数本质上就是反映湖北省城市土地可持续利用水平的因子个数, 因而评价模型确定的输入层神经元个数为16。评价模型的输出层神经元个数则由输出目标决定, 模型期望的输出是湖北省12个城市的城市土地可持续利用度, 那么就规定输出层神经元个数为1。评价模型的隐含层神经元个数的确定主要目的是提高网络的学习精度, 其与增加隐含层数提高学习精度相

比, 增加隐含层数在结构实现上要简单得多。一般而言, BP神经网络隐含层神经元个数越多, 学习精度就越高, 但是该网络推广(即将网络应用于未经学习的输入量)的能力也会越差。所以如果确定的隐含层神经元个数过多, 就会影响学习速度与推广能力。对于三层网络, 隐含层神经元个数可由以下公式确定:

$$j = \sqrt{m+n} + 1 \quad (1)$$

式中j是隐含层神经元个数, m是输出层神经元个数, n是输出层神经元个数, 是1~10的常数。经过多次模拟学习训练, 发现本模型的隐含层神经元个数选择7时比较合适。

综上, 湖北省城市土地可持续利用评价BP神经网络模型的拓扑结构如图1所示。

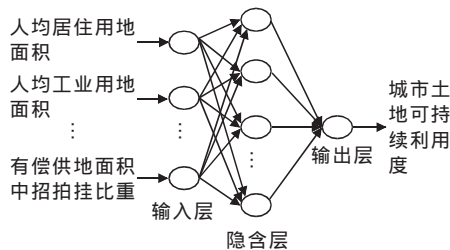


图1 湖北省城市土地可持续利用评价BP神经网络模型拓扑结构

2.2 评价模型激活函数与学习速率的选择

BP神经网络所采用的是Sigmoid激活函数。Sigmoid函数的数学表达为:

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-x}) \quad (2)$$

Sigmoid函数光滑, 单调递增, 上下有界(饱和性)。它可以把输入从负无穷大到正无

穷大的信号, 变为0~1的输出, 对于较大输入信号, 放大系数较小; 而对较小的输入信号, 放大系数则较大。

学习速率是建立模型时要考虑的重要因素。在BP神经网络采用的梯度下降算法中, 学习速率如果太小, 则收敛速度很慢; 如果太大, 又会引起迭代解的激烈振荡。关于如何科学合理确定模型中的学习速率有很多方法, 不同的方法实现的难度与效果都不一样。现在采用比较多的是固定速率法和自适应规则法。固定速率法实现比较简单, 在选择时倾向于选取较小的学习速率以保证系统的稳定性, 学习速率的选取范围在0.01~0.8之间。当固定速率法的效果不理想时, 可以改进学习速率确定算法, 采用自适应规则法。自适应规则是在每一步或若干步权值迭代更新后, 给当前的学习速率 θ 一个改变量 $\Delta\theta$:

$$\Delta\theta = \begin{cases} a\theta & \Delta E < 0 \\ -b\theta & \Delta E > 0 \end{cases} \quad (3)$$

ΔE 是网络误差E的改变量, a, b是适当的正常数。

经过多次模拟学习训练发现, 湖北省城市土地可持续利用评价BP神经网络模型选用固定速率法选定固定学习速率0.1时, 效果比较理想, 因此给定本模型的学习速率为0.1。

2.3 原始数据的归一化

从Sigmoid激励函数的数学表达式容易看出, Sigmoid激励函数f(x)随着|x|的增大, |dy/dx|减少并趋向于0, 不利于权值的调整, 因此希望通过对样本数据的处理使|x|作用在较小的区间。湖北省城市土地可持续利用评价BP神经模型, 通过归一化处理将原始数据都归一化到[0, 1]区间内。归一化公式如下:

$$P_n = (p - \min_p) / (\max_p - \min_p) \quad (4)$$

式中p是指标标准值(某一指标评价的规定值)与12个城市指标值的数据集合, max_p、min_p分别是这组数据集的最大值和最小值, P_n是归一化后的输出值。

2.4 数据的分等量化

2.4.1 湖北省城市土地可持续利用度分等量化

湖北省城市土地可持续利用评价BP神经网络模型最终输出12个城市的城市土地可持续利用度, 对于输出的定量数据, 模型选择某一定量数据所落入的区间为标准来

分等评价。湖北省城市土地可持续利用评价 BP 神经网络模型将湖北省城市土地可持续利用度分为 6 等,同时规定城市土地可持续利用度一等区间为 [0.850,1],然后运用分等函数确定下面 5 个等级区间的上下限。分等函数如下:

$$Q_1=0.875 \quad (5)$$

$$Q_i=Q_{i-1}-i \times Q_{i-1} \times (1-Q_{i-1}) / (i+1), 2 \leq i \leq 5 \quad (6)$$

运算后,得到湖北省城市土地可持续利用度等级区间(见表 2)。

表 2 湖北省城市土地可持续利用度等级区间

区间	区间
一等 [0.850,1]	二等 [0.765,0.850]
三等 [0.630,0.765]	四等 [0.444,0.630]
五等 [0.238,0.444]	六等 [0,0.238]

2.4.2 指标标准值的分等量化

经湖北省城市土地可持续利用评价 BP 神经网络模型归一化处理的指标标准值在作为学习样本输入时也要进行分等,这样才能与湖北省城市土地可持续利用度等级区间配伍,被 BP 神经网络所接受。指标标准值分等量化按指标标准值区间的特点分为下面几种情况进行:

(1) 当指标标准值区间为 [M,1], M ≠ 0 时,

$$A_i=M \quad (7)$$

$$A_i=A_{i-1}-i \times A_{i-1} \times (1-A_{i-1}) / (i+1), 2 \leq i \leq 5 \text{ 且 } M \neq 1 \quad (8)$$

$$A_i=1-i \times 0.5, 2 \leq i \leq 5 \text{ 且 } M=1 \quad (9)$$

(2) 当指标标准值区间为 [0,N], N ≠ 1 时,

$$A_i=N \quad (10)$$

$$A_i=A_{i-1}+i \times 0.2 \times (1-A_{i-1}) / (i+1), 2 \leq i \leq 5 \text{ 且 } N \neq 0 \quad (11)$$

$$A_i=0+i \times 0.5, 2 \leq i \leq 5 \text{ 且 } N=0 \quad (12)$$

(3) 当指标标准值区间为 [M,N], M ≠ 0, N ≠ 1 时

$$A_i=N \quad (13)$$

$$A_i=A_{i-1}+i \times 0.2 \times (1-A_{i-1}) / (i+1), 2 \leq i \leq 5 \quad (14)$$

同时对该指标下的 12 个城市归一化后的指标值作如下处理:

$$\text{若 } X \geq M, \text{ 则 } Y=X \quad (15)$$

$$\text{若 } X < M, \text{ 则 } Y=(M-X+N)/(M+N) \quad (16)$$

式中 X 为 12 个城市归一化后的指标值, Y 为处理后的输出结果。

3 实证分析

运用建立的湖北省城市土地可持续利

用评价 BP 神经网络

模型来评价湖北省 12 个城市的土地可持续利用水平。

3.1 评价模型学习

在学习前,首先将作为学习样本的指标标准值(见表 3)进行归一化与分等量化,生成输入湖北省城市土地可持续利用评价 BP 神经网络模型的学习样本(见表 4)。

将学习样本输入湖北省城市土地可持续利用评价 BP 神经网络模型进行

学习。定义实际输出与期望输出的误差为网络误差 E。湖北省城市土地可持续利用评价

表 3 湖北省城市土地可持续利用评价模型指标标准值

评价指标	标准值
人均居住用地面积(m ² /人)	[18.0,28.0]
人均工业用地面积(m ² /人)	[10.0,25.0]
人均道路广场用地面积(m ² /人)	[7.0,15.0]
人均绿地面积(m ² /人)	≥9
单位土地面积的国内生产总值(10 ⁴ 元/km ²)	≥5 293.3
单位工业用地面积的工业总产值(10 ⁴ 元/km ²)	≥233 774.9
工业固体废物综合利用率(%)	≥85
工业废水排放达标率(%)	≥95
生活垃圾无害处理率(%)	≥80
生活污水处理率(%)	≥45
居住用地比重	[0.2,0.32]
工业用地比重	[0.15,0.25]
道路广场用地比重	[0.08,0.15]
绿地比重	[0.08,0.15]
划拨出让比重(%)	≤60
有偿供地面积中招拍挂比重(%)	≥40

资料来源:《城市用地分类与规划建设用地标准》、《国家环境保护模范城市考核指标实施细则(调整方案)》、《2003 年环境统计年报》、《浙江省可持续发展规划纲要》、《中国城市统计(2004)》、《2005 中国市场经济发展报告》。

说明:单位土地面积的国内生产总值与单位工业用地面积的工业总产值以南宁、成都、贵阳、兰州、乌鲁木齐、西宁、杭州、哈尔滨、长春、石家庄、南昌、济南、武汉、长沙 15 个省会城市的平均值作为标准值。

表 4 湖北省城市土地可持续利用评价模型学习样本

	一二等界	二三等界	三四等界	四五等界	五六等界
人均居住用地面积	0.905	0.918	0.932	0.947	0.963
人均工业用地面积	0.896	0.910	0.925	0.942	0.959
人均道路广场用地面积	0.690	0.547	0.361	0.177	0.055
人均绿地面积	0.638	0.484	0.297	0.130	0.036
单位土地面积的国内生产总值	0.904	0.846	0.749	0.598	0.398
单位工业用地面积的工业总产值	1.000	0.900	0.750	0.550	0.300
工业固体废物综合利用率	0.850	0.765	0.630	0.444	0.238
工业废水排放达标率	0.950	0.918	0.862	0.767	0.618
生活垃圾无害处理率	0.800	0.693	0.534	0.335	0.149
生活污水处理率	0.450	0.285	0.132	0.040	0.008
居住用地比重	0.320	0.411	0.513	0.621	0.735
工业用地比重	0.250	0.350	0.463	0.583	0.708
道路广场用地比重	0.150	0.263	0.391	0.527	0.669
绿地比重	0.150	0.263	0.391	0.527	0.669
划拨出让比重	0.600	0.653	0.713	0.777	0.844
有偿供地面积中招拍挂比重	0.400	0.240	0.103	0.029	0.006
城市土地可持续利用度	0.850	0.765	0.630	0.444	0.238

BP 神经网络模型设定,如果 E<0.1,则学习精度达到模型要求。在经过 BP 神经网络 1 000 次的学习后,E 已经下降到 0.00081,满足了模型精度要求,可以认定模型能够运用于模拟仿真计算阶段,计算 12 个城市的城市土地可持续利用度。在经过 1 000 次学习,对应的城市土地可持续利用度实际输出值为 0.870、0.762、0.610、0.431、0.258,实际输出值与期望值相当接近。

3.2 湖北省城市土地可持续利用评价

通过湖北省城市土地可持续利用评价 BP 神经网络模型的原始数据归一化以及在分等量化阶段必要的数据处理,12 个城市的指标值数据都已经转化为模型可以接受的运算数据。将所有转化后的数据输入学习阶段培养的模型,测定各个城市的城市土地可持续利用度,具体运算数据和最终运算结果见表 5。为直观地表示,采用了柱形图描述湖北省 12 个城市的土地可持续利用度(见图 2)。

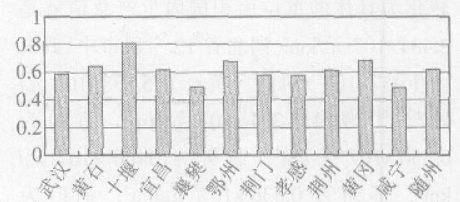


图 2 湖北省城市土地可持续利用度
从湖北省城市土地可持续利用评价 BP

评价与预测
中国科学院评价研究中心合办

表5 湖北省12个城市土地可持续利用度

	武汉	黄石	十堰	宜昌	襄樊	鄂州	荆门	孝感	荆州	黄冈	咸宁	随州
人均居住用地面积	1.000	0.733	1.000	0.750	0.980	0.994	0.727	0.890	0.878	0.674	0.827	0.755
人均工业用地面积	0.981	0.862	1.000	0.901	0.960	0.269	0.582	0.973	0.323	0.174	1.000	0.991
人均道路广场用地面积	0.043	0.347	0.611	0.251	0.000	0.139	0.118	0.313	0.177	0.581	0.417	0.097
人均绿地面积	0.000	0.798	1.000	0.263	0.097	0.445	0.871	0.439	0.260	0.342	0.437	0.211
单位土地面积的国内生产总值	0.316	1.000	0.184	0.068	0.087	0.119	0.092	0.075	0.093	0.142	0.018	0.000
单位工业用地面积工业总产值	0.990	0.273	0.967	0.481	0.544	0.408	0.328	0.084	0.407	0.000	0.149	0.565
工业固体废物综合利用率	0.940	0.350	0.790	0.720	0.790	0.910	0.950	0.910	0.810	0.960	0.950	0.950
工业废水排放达标率	0.904	0.834	0.999	0.789	0.826	1.000	0.910	0.870	0.645	0.669	0.601	0.720
生活垃圾无害处理率	0.210	0.390	0.340	0.570	0.040	0.450	0.030	0.070	0.320	0.450	0.100	0.400
生活污水处理率	0.850	0.690	0.650	0.700	1.000	0.910	1.000	0.200	0.220	0.710	0.200	0.580
居住用地比重	0.269	0.211	0.285	0.320	0.281	0.215	0.254	0.245	0.245	0.336	0.258	0.373
工业用地比重	0.229	0.315	0.257	0.183	0.237	0.301	0.288	0.156	0.271	0.153	0.669	0.170
道路广场用地比重	0.082	0.085	0.095	0.108	0.722	0.095	0.757	0.127	0.088	0.140	0.142	0.080
绿地比重	0.766	0.140	0.125	0.096	0.086	0.165	0.179	0.139	0.094	0.082	0.127	0.099
划拨出让比重	0.184	0.021	0.073	0.197	0.060	0.028	0.588	0.169	0.132	0.184	0.149	0.373
有偿供地面积中招拍挂比重	0.163	0.107	0.660	0.181	0.294	0.570	0.066	0.192	0.145	0.308	0.257	0.344
城市土地可持续利用度	0.581	0.691	0.813	0.662	0.511	0.707	0.565	0.560	0.616	0.683	0.516	0.633
城市土地可持续利用度等级	4	3	2	3	4	3	4	4	4	3	4	3

资料来源:《湖北统计年鉴2004》、《中国城市统计(2004)》、《中国国土资源年鉴2004》、《中国城市建设统计年鉴2003》。说明:评价模型评价所用到的数据是12个城市2003年的数据。对于用地管理指标与用地效益下面的用地环境指标,考虑到土地管理的地域性与环境影响的宏观性,采用了全市的指标值。

神经网络模型的运算结果来看,湖北省城市土地可持续利用水平总体上处于中等水平。在12个城市中,只有十堰市的城市土地可持续利用度为二等,三等水平的有5个城市,四等水平的有6个城市,五等以下的没有。这表明湖北省的城市土地利用在土地制度改革与社会经济发展的进程中,总体上是可持续性的。比如从用地管理这个因子层来看,在中国城市土地市场逐渐完善的宏观背景下,湖北省12个城市的城市土地市场基本进入了正常的良性循环状态,在一定程度上已经可以发挥市场配置土地资源的基础性作用。同时从运算结果中也可看到湖北省城市土地可持续利用中仍然存在一些问题。以单位面积的国内生产总值为例,学习样本中规定如果低于0.398,就属于第六等,0.398转化为具体的单位面积国内生产总值就是 2.484×10^7 元/ km^2 。湖北省12个城市中,武汉为 1.957×10^7 元/ km^2 ,黄石为 5.838×10^7 元/ km^2 ,十堰为 1.204×10^7 元/ km^2 ,宜昌为 0.550×10^7 元/ km^2 ,襄樊为 0.657×10^7 元/ km^2 ,鄂州为 0.836×10^7 元/ km^2 ,荆门为 0.681×10^7 元/ km^2 ,孝感为 0.586×10^7 元/ km^2 ,荆州为 0.687×10^7 元/ km^2 ,黄冈为 0.964×10^7 元/ km^2 ,咸宁为 0.262×10^7 元/ km^2 ,随州为 0.161×10^7 元/ km^2 。12个城市就有11个城市的单位面积国内生产总值这个

指标值归属于六等,显然湖北省城市土地利用集约度不够,单位土地面积产出量很低。这就要求在未来城市化过程中要盘活城市存量土地,走节约、集约用地道路,而不是摊大饼,走粗放发展之路,这样做不仅与国家现行土地政策相吻合,而且可以在很大程度上提高城市土地的可持续利用水平。

4 两个值得探讨的问题

(1)关于湖北省城市土地可持续利用评价指标体系的问题。关于城市土地可持续利用评价体系的研究很多,但是具有普遍适用性的评价指标体系还没有形成,即使出现了普遍适用的评价体系,在实践中仍然也要考虑各地城市土地利用的特点,要对指标进行取舍与完善,甚至对同一个城市在选用不同的数学评价模型时,对评价指标的选择也有区别。湖北省城市土地可持续利用评价BP神经网络模型所构建的指标体系,显然还未达到尽善尽美,因此要在未来进一步分析湖北省城市土地利用的特点,优化指标体系,从而使模型运算后得出的结果与实际更加接近。

(2)关于位于等界边缘的城市土地可持续利用度定等问题。在湖北省城市土地可持续利用评价BP神经网络模型中,一些城市土地可持续利用度在等界徘徊,由于BP神

神经网络不
同学习过
程所建立
的非线性
映射关系
差异,当
把经不同
学习过程
培养得到
的BP神
经网络运
用于仿真
计算阶段
时,位于
等界边缘
的城市土
地可持续
利用度就
可能由于
微小误差
而落入到

不同的区间。如何解决这个问题是在未来模型完善的过程中需要进一步思考的。一种比较简单的方法是进行多轮学习与仿真计算,再把得到的城市土地可持续利用度取算术平均值,从而降低输出的城市土地可持续利用度的不稳定性,使定等更加精确。

参考文献:

- [1] 中共湖北省委政研室,省建设厅等.湖北省城市化发展研究报告[EB/OL]. <http://report.drc.gov.cn/drcnet/corpus.nsf/0/ee9c2f9bb1eae68148256d79000a7f97?OpenDocument#top>.
- [2] 谭永忠,吴次芳等.城市土地可持续利用评价指标与方法[J].中国软科学,2003,(3): 139-143.
- [3] 彭补拙,安旭东等.长江三角洲土地可持续利用研究[J].自然资源学报,2001,(4): 305-312.
- [4] 杨星,石伟等.东莞市土地可持续利用实证分析与预测[J].中国土地科学,2005,(4): 19-23.
- [5] 边学芳,吴群等.城市化与中国城市土地利用结构相关分析[J].资源科学,2005,(3): 73-78.
- [6] 刘伟,张巧龄等.湖北省土地资源可持续利用综合评价研究[J].科技进步与对策,2004,(10): 55-57.
- [7] 焦李成.神经网络系统理论[M].西安:西安电子科技大学出版社,1990.
- [8] 刘增良.模糊技术与神经网络技术选编[M].北京:航天航空大学出版社,2001.

(责任编辑:来扬)