

# 新疆渭干河—库车河绿洲生态安全及演变趋势评价

刘 勤, 王宏卫, 贡 璐

(新疆大学 资源与环境科学学院, 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

**摘 要:**以新疆渭干河—库车河绿洲(以下简称渭库绿洲)为研究靶区,从自然生态系统、经济生态系统、社会生态系统三个方面建立评价指标体系,运用主成分分析法定量评价 1995—2011 年 17 a 间渭库绿洲生态安全的相关指标及动态趋势,提取出社会经济发展水平因子、农业发展潜力因子、社会发展潜力因子、水资源因子,得到该流域的生态安全综合评价得分后进行初步探讨。结果表明:1995—2011 年间渭库绿洲生态安全由不安全向安全过渡,1995—2001 年处于不安全水平;2002—2003 年处于临界安全水平;2004—2007 年处于较安全水平;2008—2011 年处于安全水平。运用 BP 神经网络预测 2012—2016 年内该绿洲的生态安全综合评价值分别为:1.477 1, 1.519 3, 1.604 4, 1.657 3, 1.692 9。表明在未来 5 a 内,渭库绿洲生态安全均处于安全状态且保持平稳发展。通过生态安全综合评价和预测以期为确保生态安全、协调区域经济发展与绿洲生态环境的保护提供参考。

**关键词:**生态安全; 评价; 预测; 新疆渭干河—库车河绿洲

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)02-0179-05

## Analysis on Ecological Security and Evolution Tendency of the Ugan-Kuqa River Delta Oasis in Xinjiang

LIU Qin, WANG Hong-wei, GONG Lu

(Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education,

College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** Taking Ugan-Kuqa River Delta Oasis as the research site, basing on the theory of ecological security assessment, the system with 32 ecological safety evaluation indexes from natural ecosystems, economic systems and social ecosystems was established, and by using the principal component analysis quantitative method in evaluating the trend of oasis ecological security in 17 years (from 1995 to 2011), economic development level factors, agricultural development potential factor, social development potential factor and water resources factor had been extracted. Results of the study have shown that the oasis developed from insecurity to security between 1995 and 2011. From 1995 to 2001, the system was in unsafety level, from 2002 to 2003, the system was criticality safe, from 2004 to 2007, the system was relatively safe, after 2008, the system was safety. The BP neural network was used to predict the oasis in the years from 2012 to 2016, the integrated evaluation of ecological security was 1.477 1, 1.519 3, 1.604 4, 1.657 3, 1.692 9, respectively. Ecological security evaluation and prediction can be used to ensure that oasis ecological security, coordinate regional economic development and ecological environment.

**Key words:** ecological security; assessment; forecast; the Ugan-Kuqa River Delta Oasis in Xinjiang

生态安全作为国家安全的重要组成部分和基础平台,日益成为经济社会发展的制约性因素。当前,生态环境和资源退化引发的生态安全研究已成为可持续发展的前沿领域<sup>[1-3]</sup>。开展生态安全评价成为促进社会、经济、环境协调发展,实现生态系统优化的一

项重要任务。对生态安全的研究起源于 20 世纪 90 年代,国内外学者以城市、土地、绿洲、草原、湿地等生态系统为对象对生态安全进行了深入研究<sup>[4-8]</sup>。我国学者<sup>[9-12]</sup>对生态安全的概念、内涵、意义及相关理论和方法开展了综合研究,并提出通过协调需要和限制

收稿日期: 2013-09-10

修回日期: 2013-10-28

资助项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2012211A020)资助

作者简介: 刘勤(1990—),女,新疆玛纳斯人,硕士研究生,主要从事干旱区绿洲人地关系与生态安全研究。E-mail: liuqin\_924@126.com

通信作者: 王宏卫(1967—),男,新疆石河子人,副教授,主要从事干旱区绿洲人文影响与生态响应研究。E-mail: wanghw\_777@163.com

之间的矛盾以实现区域经济与生态环境协调发展的目标,为区域环境管理、决策提供科学的依据。新疆渭库河绿洲是塔里木盆地中北部典型的扇形平原绿洲,特殊的地理环境决定了该绿洲生态系统的脆弱性。强烈的人类扰动加之原本脆弱的生态环境引起了绿洲生态系统内部的强烈响应,草场退化、土地沙化、土壤盐渍化、植被破坏和生物多样性锐减等问题日益严重<sup>[13]</sup>。近年来,该绿洲的社会经济发展水平大幅提高,进一步研究并协调社会经济发展与生态环境之间的关系,促进绿洲生态安全良性发展显得尤为必要。

本文选取渭库绿洲为样区,构建生态安全评价指标体系和预测模型,结合自然、经济、社会三个方面的生态安全指标数据,根据主成分分析法计算出 1995—2011 年间渭库绿洲生态安全综合评价值,利用因子载荷矩阵对生态安全驱动机制进行阐释;运用 BP 人工神经网络模型,预测该绿洲 2012—2016 年间的生态安全综合评价值。通过计算分析,评价该绿洲生态安全状态及演变趋势,把握不同时期的主要影响因素并提出合理化建议。

# 1 研究区概况及数据来源

## 1.1 研究区概况

渭干河—库车河绿洲位于天山山脉南麓,塔里木盆地的北部,地理坐标为东经 81°28′30″—84°05′06″,北纬 39°29′51″—42°38′01″,海拔 1 500~2 000 m,行政区域包括库车、新和、沙雅三县,南北长约 322 km,东西长约 194 km,土地总面积 5.24 万 km<sup>2</sup>,其中,绿洲面积 0.560 4 万 km<sup>2</sup>,仅占总面积的 10.7%。该区域属于典型的大陆性暖温带气候,干旱少雨,蒸发强,温差大,年平均气温为 10.5~14.4℃,年均降水量 46.4~64.5 mm,年均蒸发量 2 000.7~2 092.0 mm。至 2011 年末,绿洲内共有人口 89.75 万,非农人口占 28.36%,实现国民生产总值 95.96 亿元,人均生产总值 17 492 元。绿洲内经济发展以农业为主,工业基础薄弱,是新疆的主要棉产区和阿克苏地区最大的灌溉区<sup>[13]</sup>,在我国西北干旱区绿洲中具有一定代表性。

## 1.2 数据来源

本研究中的数据来源于《新疆统计年鉴》、《新疆统计 50 年》及相关政府网站公布的国民经济和社会发展统计公报。根据数据的可收集性和分析过程的可操作性,适当整理指标体系数据后,遴选出渭库绿洲 1995—2011 年的 3 个层次共计 32 个生态安全指标及数据。

# 2 研究方法

## 2.1 评价指标体系的建立

生态安全指标体系的建立应充分体现生态安全的现状与水平,精确反映自然、经济、社会之间的关系。评价指标具有地域性和复杂性,依据科学性、完整性、实用性、可操作性原则<sup>[14]</sup>,从可持续发展的角度综合考虑影响渭库河绿洲生态安全的主要因素,构建生态安全评价指标体系。本文参考若干生态安全研究成果<sup>[5,15-18]</sup>,结合干旱区绿洲的实际特点及相关文献,最终确定基于自然生态系统、经济生态系统、社会生态系统三个一级指标的 32 个二级指标,以便进行生态环境综合评价的量化分析,详见表 1。

表 1 生态安全综合评价指标体系

一级指标	二级指标	表示符号
自然生态系统	降水量(mm)	X <sub>1</sub>
	相对湿度(%)	X <sub>2</sub>
	平均气温(℃)	X <sub>3</sub>
	地下水平均矿化度(g/L)	X <sub>4</sub>
	地下水平均埋深(m)	X <sub>5</sub>
	林地面积比例(%)	X <sub>6</sub>
	草地面积比例(%)	X <sub>7</sub>
	水体面积比例(%)	X <sub>8</sub>
	盐渍地面积比例(%)	X <sub>9</sub>
	河流径流量(亿 m <sup>3</sup> )	X <sub>10</sub>
	耕地面积比例(%)	X <sub>11</sub>
经济生态系统	GDP 总值(万元)	X <sub>12</sub>
	第一产业产值(万元)	X <sub>13</sub>
	第二产业产值(万元)	X <sub>14</sub>
	人均生产总值(元)	X <sub>15</sub>
	农村居民人均纯收入(元)	X <sub>16</sub>
	地方财政收入(万元)	X <sub>17</sub>
	固定资产投资(万元)	X <sub>18</sub>
	粮食作物产量(万 t)	X <sub>19</sub>
	肉类产量(万 t)	X <sub>20</sub>
	化肥使用量(万 t)	X <sub>21</sub>
	农业机械总动力(万 kW)	X <sub>22</sub>
社会生态系统	总人口(万人)	X <sub>23</sub>
	非农人口比例(%)	X <sub>24</sub>
	人口密度(人/km <sup>2</sup> )	X <sub>25</sub>
	人均公园绿地面积(m <sup>2</sup> )	X <sub>26</sub>
	人均道路面积(m <sup>2</sup> )	X <sub>27</sub>
	人均生活用水量(t)	X <sub>28</sub>
	污水排放量(万 t)	X <sub>29</sub>
	高中以上人口比例(%)	X <sub>30</sub>
	邮电业务总量(万元)	X <sub>31</sub>
	城市燃气普及率(%)	X <sub>32</sub>

## 2.2 主成分分析法

采用主成分分析法确定生态安全评价指标权重。

主成分分析法是一种数学降维方法,可以将多个指标转化为少数几个相互无关的综合指标以代替原指标的绝大部分信息,克服了评价人主观赋权的影响,提高了评价的客观性,处理可信度高<sup>[19]</sup>。计算步骤为:

(1) 原始数据标准化。为消除变量指标性质不同的差异,对逆向指标采用倒数法作正向化处理后,对原始数据作标准化处理,计算公式为:

$$x_{ik}' = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{s_k} \quad (i=1,2,\cdots,n;k=1,2,\cdots,p)$$
  
式中: $\bar{x}_k$ ——第  $k$  个指标的平均值; $s_k$ ——标准差。

(2) 计算样本矩阵的相关系数矩阵。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & r_{pp} \end{bmatrix}$$

(3) 对应于相关系数矩阵  $R$ ,解求特征方程  $|R-\lambda I|=0$  的  $p$  个非负特征值  $\lambda_1>\lambda_2>\cdots\lambda_p\geq 0$ ,对应特征值  $\lambda_i$  的相应特征向量为  $C^{(i)}=(C_1^{(i)},C_2^{(i)},\cdots,C_p^{(i)}) (i=1,2,\cdots,p)$ ,并且满足

$$C^{(i)} C^{(j)} = \sum_{k=1}^p C_k^{(i)} C_k^{(j)} = \begin{cases} 1 & (i=j) \\ 0 & (i\neq j) \end{cases}。$$

(4) 选择特征值大于 1 的  $m(m<p)$  个主成分。选取前  $m$  个因子  $Z_1,Z_2,\cdots,Z_m$  为前  $1,2,\cdots,m$  个主成分。

2.3 BP 神经网络预测模型

BP 网络是对非线性可微分函数进行权值训练的多层前向网络。通过计算网络的实际输出与期望输出的误差,采用误差梯度下降的学习算法,对学习矩阵进行有导师的训练,实现预测值的最优逼近,在预测预报、分类及评价等方面最为适用<sup>[20]</sup>。本文在建立神经网络预报模型时,采用包括输入层、隐含层和输出层的 BP 神经网络模型拓扑结构模型,如图 1 所示。

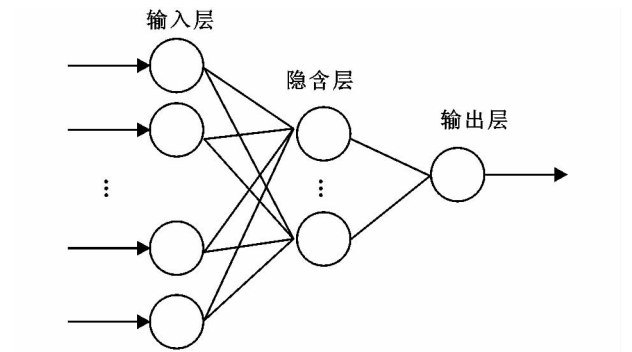


图 1 三层 BP 神经网络拓扑结构

其主要步骤概括为:(1) 选取初始值  $W$ ,指定网络只有一个输出  $y$ ,任意节点  $i$  的输出为  $O_i$ ,并有  $N$

个样本  $(x_k,y_k) (k=1,2,3,\cdots,N)$ ,对某一输入  $x_k$ ,网络输出  $y_k$  节点  $i$  的输出为  $O_{ik}$ ,节点  $j$  的输入为  $net_{jk} = \sum_{i=1} W_{ij} O_{ik}$ 。(2) 设有  $M$  层,且  $M$  层仅为输出节点,正向计算  $k$  样本的输出  $O_{ik}$ ,节点输入  $net_{jk}$  和网络实际输出  $\hat{y}_k$ 。(3) 对各层从  $M$  到 2 反向计算。(4) 对同一节点  $j\in M$  利用网络期望输出和实际输出,计算误差函数对输出层的各神经元的偏导数,直至收敛;

(5) 修正权重  $W_{ij} = W_{ij} - \mu \frac{\partial E}{\partial W_{ij}}, \mu > 0$ ,其中  $\frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial W_{ij}}$

3 结果与分析

3.1 主成分分析下的生态安全驱动机制

利用标准化后的数据得出变量之间的相关系数矩阵,经统计,矩阵中绝对值大于 0.3 的元素占 81.05%,表明各变量间相关性较大,适合主成分分析。通过 SPSS 17.0 软件进行分析,得到特征值及贡献率、主成分得分系数和旋转后的主成分载荷矩阵。计算结果表明,前五个主成分的特征值均大于 1,包含原有 32 个指标的 90.427% 的信息。因此,提取前 5 个主成分代表影响生态安全评价价值的大部分信息。

表 2 主成分特征值及方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%
1	19.597	61.241	61.241
2	4.487	14.021	75.262
3	2.190	6.842	82.104
4	1.632	5.102	87.206
5	1.031	3.221	90.427

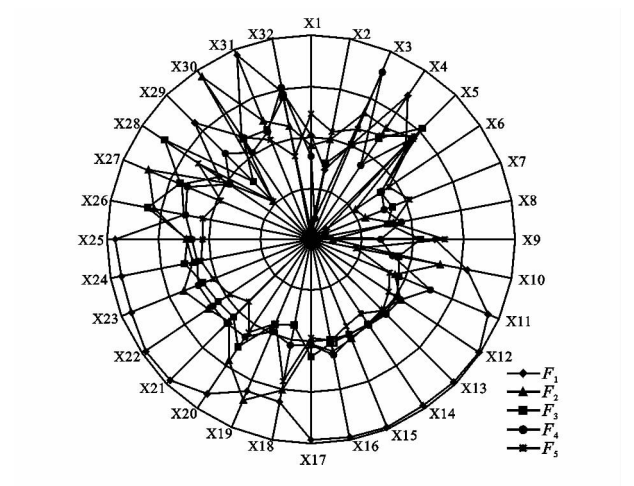


图 2 旋转后的各主成分载荷

由图 2 可以看出,林地面积比例、草地面积比例、水体面积比例、耕地面积比例、GDP 总值、一二产业产值、人均 GDP、农民人均纯收入、地方财政收入、全社会固定资产投资、总人口、非农人口比重、人口密度、农

业机械总动力、邮电业务总量等指标是第一主成分中的主要因子,可归纳为社会经济发展水平因子;盐渍化面积比例、粮食产量、高中以上人口比例等是第二主成分中的主要因子,可以归纳为农业发展潜力因子;人均公园绿地面积、人均生活用水量、人均道路面积等是第三主成分中的关键因子,可以归纳为社会发展潜力因子;湿度、地下水深度等是第四主成分中的关键因子,河流径流、污水排放量等是第五主成分中的关键因子,二者综合归纳为水资源因子。

在5个主成分中,第一主成分贡献率高达61.241%,是第二主成分的4.37倍,分别是第三、第四、第五主成分的8.95倍、12.00倍、19.01倍,反映出该地区的生态安全的变化趋势主要依靠第一主成分。在第一主成分中,52.631%的指标为经济生态系统指标,各指标载荷均较大,由此可见,经济发展对地区生态安全起主导作用。经济水平的不断发展,一方面为该地区的生态环境带来压力,同时经济的发展也带动了先进的生产力和科学技术,促进了绿洲的发展,而该绿洲的经济发展带来的综合效益在很大程度上体现为经济效益。第二主成分贡献率为14.021%,盐渍化面积比例、粮食产量载荷系数最高,分别为-0.784和0.705。渭库绿洲盐渍化问题严重,盐渍土面积已达50%以上,其中严重盐渍化面积已达30%<sup>[21]</sup>,盐渍化的科学防治和管理对改善地区土地生产力和产业结构有重要意义。第三主成分贡献率为6.842%,主要反映社会发展潜力因子。绿洲的发展和进步,要不断完善城市和乡镇公共服务体系建设,在加大对城乡基础设施建设投入的同时,注重城镇居民园林、休憩场所和设施的建设;加强城乡道路建设和居民生活用水供给,以提高人居环境质量和社会服务能力,推动绿洲的发展。第四主成分的贡献率为5.102%,第五主成分的贡献率为3.221%,二者反映了绿洲发展对水的强烈依存关系。研究区地处西北干旱区绿洲,水资源是绿洲发展的命脉所在,合理高效地利用水资源为该地区农牧业发展和经济社会发展提供了可持续性。

### 3.2 主成分分析下的生态安全综合指数评价

根据输出的主成分得分系数矩阵,可以建立各主成分的得分函数:

$$F_1 = 0.0456X_1 + 0.0204X_2 - 0.0469X_3 + \dots + 0.0559X_{31} - 0.0100X_{32}$$

$$F_2 = 0.0337X_1 + 0.1029X_2 - 0.0156X_3 + \dots - 0.0005X_{31} - 0.0477X_{32}$$

$$F_3 = -0.4554X_1 + 0.0269X_2 - 0.1790X_3 + \dots + 0.0033X_{31} + 0.1182X_{32}$$

$$F_4 = 0.0878X_1 - 0.4256X_2 - 0.4647X_3 + \dots - 0.0079X_{31} + 0.1925X_{32}$$

$$F_5 = 0.3243X_1 + 0.0066X_2 + 0.1756X_3 + \dots + 0.0406X_{31} + 0.1449X_{32}$$

对1995—2011的生态安全状况进行综合评价,采用因子加权总分的方法,将5个主成分的方差贡献率作为其权重系数,得到该绿洲生态安全综合评价指数(F)模型为: $F = 0.6124F_1 + 0.1402F_2 + 0.0684F_3 + 0.0510F_4 + 0.0322F_5$ ,计算1995—2011年生态安全综合评价指数和各主成分得分,反映研究区域生态安全的状况。

由图3可以看出,渭库绿洲1995—2011年生态安全综合评价值在微小的波动中总体呈现增长趋势。从1995年的-0.6780上升为2011年的1.3535,年平均增长0.1270。1995—1998年综合得分变化不大,在-0.5~-0.7之间浮动,1999年和2000年综合得分分别下降0.0793和0.0199。第一主成分得分与综合评价值的变化趋势最为接近,1995—1998年第一主成分的分值变化不大,在-0.6~-0.7之间浮动,2006年以后,第一主成分得分大于0,年平均增长0.4522。2011年第一主成分得分最高,为2.3611。第二主成分得分在1995—2000年间不断增长,2005—2011年间呈现下降趋势。其中,1995年得分最低,为-1.6202,2002年得分最高,为1.4211。第三主成分得分波动比较大,2007年得分最高,为1.7814,2010年的分最低,为-1.8717。第四主成分得分2003—2009年呈现上升趋势,并于2009年达到最大,为1.6357,2002年达到最高值2.5111,2003年以后得分呈下降趋势,在2007年降至-0.910。第五主成分得分在1995—2002年间呈下降趋势,2002—2004年明显上升,并于2004年达到最大,为2.2000。2005年以后得分减少,年均减少0.2711。

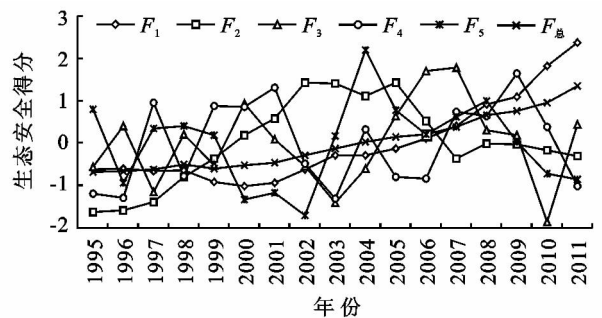


图3 各主成分得分和生态安全综合得分

### 3.3 生态安全评价标准的确定

生态安全综合评价指数的确定是一个复杂的过程,不同的处理方法得到的结果不同。对生态安全评价结果的分等需要因地制宜,不能一概而论,目前国

内没有统一的划分标准。本文参考国内相关研究,同时结合渭库河绿洲自然、经济、社会现状,依据该绿洲 17 a 的生态安全综合评价值建立渭库绿洲生态安全综合评价标准(表 3)。

表 3 渭库河绿洲生态安全评判标准		
安全值区间	状态	等级
>0.4	安全	1
0~0.4	较安全	2
-0.4~0	临界安全	3
<-0.4	不安全	4

由以上评判标准可以得出 1995—2011 年渭库绿洲生态安全水平:1995—2001 年为四级,处于不安全水平;2002—2003 年为三级,处于临界安全水平;2004—2007 年为二级,处于较安全水平;2008—2011 年为一级,处于安全水平。1995—2011 年间生态安全水平由不安全向安全逐渐上升。在 2000 年之前,生态安全水平较低,变化幅度较小,处于较不安全的稳定期。2008 年后,生态安全达到安全状态。

3.4 基于 BP 神经网络的生态安全综合评价值预测

基于 BP 神经网络的原理,构造三层 BP 网络(即含一个隐藏层)。为了保证所建立并已经收敛的 BP 网络符合研究要求,经反复试验和比较分析,最终确定 8-4-1 的网络结构为预测网络模型结构,对网络进行训练。其中,训练参数的设定为:误差 0.000 01,隐含层神经元数 4 个,最小训练速率 0.9,动态参数 0.85, Sigmoid 参数 0.9,最大迭代次数 1 000 次。第 187 次训练后,网络收敛,样本拟合误差为 3.3439E-5(表 4)。

表 4 基于 BP 神经网络的生态安全训练样本预测结果				
年份	实际值	预测值	绝对误差	相对误差
2003	-0.1327	-0.1119	0.0208	-0.1567
2004	0.0221	0.0163	-0.0058	0.2624
2005	0.1501	0.1521	0.0002	0.0133
2006	0.2136	0.2140	0.0004	0.0019
2007	0.3760	0.3749	-0.0011	0.0029
2008	0.6477	0.6479	0.0002	0.0003
2009	0.7572	0.7571	0.0001	0.0001
2010	0.9610	0.9619	0.00209	0.0009
2011	1.3535	1.3397	-0.0138	0.0102

以训练样点的实际测量值为横坐标,BP 神经网络得到的预测值为纵坐标做出散点图(图 4)。从图中可以看出,图中各散点在 45°方向上接近一条直线,预测值接近实际测量值,拟合程度为 0.999 8。

以最佳参数完成研究区各年份生态安全综合指数的预测后,得到对训练样点的预测值,2012—2016 年渭库绿洲生态安全综合评价值分别为 1.477 1,

1.519 3,1.604 4,1.657 3,1.692 9,呈增长态势,平均每年增长 0.054 0。

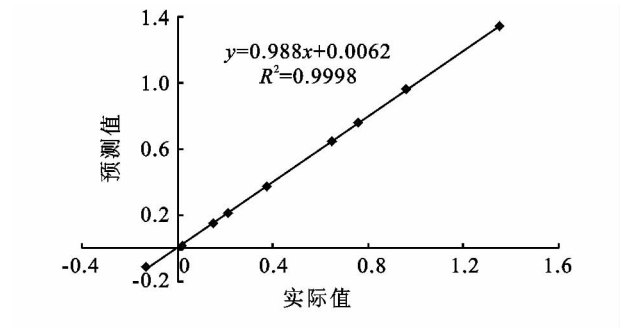


图 4 训练样本的实际测量值与 BP 网络预测值

4 结论

(1) 渭库绿洲是我国典型的西北干旱区绿洲,对该绿洲生态安全的综合评价表明整个绿洲生态向着良好方向发展,1995—2011 年绿洲生态安全水平逐步提高,社会经济有了巨大发展,各产业生产总值、固定资产投资总额、政府财政收入等均有了大幅度增加,但是在发展社会经济的同时,也应注重提高农业科技水平,优化农牧业生产体系,高效合理地利用资源,加强对林地、草地和水域的保护,优化农牧产业结构,提高农业综合生产能力和劳动生产率,以达到人与自然的和谐相处。

(2) 通过 BP 神经网络对该流域 2012—2016 年的生态安全综合评价值作出预测,表明该流域在未来五年内生态安全依然处于安全状态。近年来,该地区的发展引起了一系列土地盐碱化、沙漠化、肥力下降等问题。在发展中应把握好人与自然的微妙关系,寻找人类不断增长的需求与干旱区绿洲脆弱的生态环境之间的平衡点,以达到该流域长期持续的发展。

(3) 生态安全是一个宏观的概念,现有的 32 个指标显然无法全面反映整个绿洲社会—经济—自然复合生态系统的生态安全,对于指标的选取以及数据上的缺陷,计算及预测结果会受到一定的限制。在主成分分析中,因子结构尚需进一步完善,因子的驱动作用与机制尚需结合当地开发政策与新疆发展战略做进一步分析。评价结果的评判标准受主观影响较大;BP 网络的训练样本有限,虽然预测计算拟合度高、精度好,但是否会对预测值的准确程度产生影响,还需要今后对照实际情况进行验证。

参考文献:

[1] 万本太,吴军,徐海根.国家生态安全综合评价研究[J].环境科学研究,2008,21(4):57-62.  
[2] 曲格平.关注生态安全之一:生态环境问题已经成为国家安全的热门话题[J].环境保护,2002(1):3-5.

- [12] 沈彦. 基于系统协调度的长株潭城市群城市土地集约利用评价研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 202-206.
- [13] 范辉, 周晋. 河南省城市土地集约利用水平的时空演变[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 198-202.
- [14] 杨磊, 张永福, 王伯超. 乌鲁木齐市土地集约利用潜力评价研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(6): 35-39.
- [15] 韩会庆, 蔡广鹏, 张凤太, 等. 喀斯特地区县域土地集约利用评价: 贵州省绥阳县为例[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 243-246.
- [16] 宋吉涛, 方创琳, 宋吉强, 等. 大都市边缘区乡镇土地集约利用与增长方式转变评价指标体系研究[J]. 资源科学, 2007, 29(4): 170-178.
- [17] 吴郁玲, 曲福田. 江苏省开发区土地集约利用评价[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(6): 703-707.
- [18] 彭浩, 曾刚. 上海市开发区土地集约利用评价[J]. 经济地理, 2009, 29(7): 1177-1181.
- [19] 翟文侠, 黄贤金, 张强, 等. 开发区土地集约利用研究: 以江苏省为例[J]. 地域研究与开发, 2006, 25(1): 101-105.
- [20] 王伟华. 基于主成分分析法的城市土地利用集约度研究[J]. 内蒙古农业大学学报: 社会科学版, 2006, 7(4): 448-450.
- [21] 崔娟敏, 季文光. 基于 AHP 的土地集约利用水平模糊综合评价[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4): 122-125.
- [22] 冯科, 郑娟尔. GIS 和 PSR 框架下城市土地集约利用空间差异的实证研究: 以浙江省为例[J]. 经济地理, 2007, 27(5): 811-815.
- [23] 尹君, 谢俊奇, 王力, 等. 基于 RS 的城市土地集约利用评价方法研究[J]. 自然资源学报, 2007, 22(5): 775-782.
- [24] 朱一中, 曹裕. 基于 PSR 模型的广东省城市土地集约利用空间差异分析[J]. 经济地理, 2011, 31(8): 1376-1381.
- [25] 李进涛, 谭术魁, 汪文雄. 基于 DPSIR 模型的城市土地集约利用时空差异的实证研究: 以湖北省为例[J]. 中国土地科学, 2009, 23(3): 49-55.
- [26] 常青, 王仰麟, 吴健生, 等. 城市土地集约利用程度的人工神经网络判定: 以深圳市为例[J]. 中国土地科学, 2007, 21(4): 26-31.
- [27] Gabriel S A, Faria J A, Moglen G E. A multiobjective optimization approach to smart growth in land development[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2006, 40(3): 212-248.
- [28] 周璐红, 洪增林, 薛旭平, 等. 西安市大兴新区旧城改造土地集约利用潜力评价[J]. 中国土地科学, 2009, 23(2): 49-52.
- [29] 姜仁荣, 李满春. 区域土地资源集约利用及其评价指标体系构建研究[J]. 地域研究与开发, 2006, 25(4): 117-119, 124.

(上接第 183 页)

- [3] 周旭. 我国生态安全评价研究综述[J]. 西华师范大学学报: 自然科学版, 2007, 28(3): 200-206.
- [4] 张浩, 马蔚纯, HO Hon Hing. 基于 LUCC 的城市生态安全研究进展[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 2109-2117.
- [5] 孙奇奇, 宋戈, 齐美玲. 基于主成分分析的哈尔滨市土地生态安全评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 234-238.
- [6] 侯成成, 赵雪雁, 张丽, 等. 基于熵组合权重属性识别模型的草原生态安全评价: 以甘南黄河水源补给区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(8): 44-51.
- [7] 李春晖, 崔崑, 庞爱萍, 等. 流域生态健康评价理论与方法研究进展[J]. 地理科学进展, 2008, 27(1): 9-17.
- [8] 刘艳艳, 吴大放, 王朝晖. 湿地生态安全评价研究进展[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(8): 69-75.
- [9] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 355-358.
- [10] 方创琳. 西北干旱区生态安全系统结构与功能的监控思路初论[J]. 中国沙漠, 2000, 20(3): 31-33.
- [11] 王如松, 欧阳志云. 对我国生态安全的若干科学思考[J]. 科技与社会, 2007, 22(3): 223-229.
- [12] 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 等. 区域生态安全格局: 概念与理论基础[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 761-768.
- [13] 王雪梅. 干旱区典型绿洲土壤盐渍化及其生态效应研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2010.
- [14] 崔明哲, 杨凤海, 李佳. 基于组合赋权法的哈尔滨市耕地生态安全评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 184-187, 192.
- [15] 王耕, 王利, 吴伟. 区域生态安全概念及评价体系的再认识[J]. 生态学报, 2007, 17(4): 1627-1637.
- [16] 张青青, 徐海量, 樊自立, 等. 基于玛纳斯河流域生态问题的生态安全评价[J]. 干旱区地理, 2012, 35(5): 479-486.
- [17] 徐辉, 雷国平, 崔登攀, 等. 耕地生态安全评价研究: 以黑龙江省宁安市为例[J]. 水土保持研究, 2011, 18(6): 180-184, 189.
- [18] 王鹏, 况福民, 邓育武, 等. 湘南红壤丘陵区土地生态安全动态评价: 以衡阳市为例[J]. 水土保持研究, 2013, 20(3): 243-248.
- [19] 牛创民, 温学飞, 王峰. 基于因子分析法的盐池县粮食生产影响因素分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 278-282.
- [20] 许月卿, 李双成, 蔡运龙. 基于 GIS 和人工神经网络的区域贫困化空间模拟分析: 以贵州省猫跳河流域为例. 地理科学进展, 2006, 25(3): 79-86.
- [21] 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽. 渭干河—库车河三角洲绿洲盐渍化土壤特征研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 146-150.