

武陵源风景区生态承载力预警

董成森¹ 陈端吕^{2,*} 董明辉² 邹冬生¹ 熊 鹰³

(1. 湖南农业大学生态研究所 ,长沙 410128 2. 湖南文理学院 ,常德 415000 3. 湖南大学环境科学与工程学院 ,长沙 410082)

摘要 随着人类面临的严重环境挑战 ,可持续发展模式作为全人类共同的选择变得越来越重要。生态承载力作为可持续发展的衡量指标 ,通过生态承载力水平与生态荷载状况表现出来。可持续承载力预警是以可持续发展为目标进行生态承载力调控。利用主成分分析法、层次分析法构建了武陵源风景区的生态承载力评价指标体系 ,作为模型的输入层预警指标 ,并利用状态空间法求算的生态承载指数进行警度区间的划分 ,通过样本训练、建立 BP 神经网络模型 ,进行生态承载预警。从风景区的资源承载、环境承载、生态弹性和生态承压等方面来考虑 ,析出 17 个资源类、环境类、社会经济类指标作为评价指标体系。对于武陵源风景区的承载状态 ,从时间上看 ,2000 年曾出现超载状态 ,主要是风景区的核心区范围内出现城市化现象所致 ;从空间上看 ,协和乡出现超载状态 ,其主要原因在于资源的开发利用上。基于 BP 网络模型实现的生态承载力预警 ,用于预测预报未来的可持续发展的状态 ,可以及时反映可持续状态的调控效果 ,为区域系统的可持续发展提供科学依据。

关键词 生态承载力 ;预警 ;人工神经网络 ;可持续发展 ;武陵源风景区

文章编号 :1000-0933 (2007)11-4766-11 中图分类号 :Q149 文献标识码 :A

Forecasting system for ecological carrying capacity of Wulingyuan Scenic Spot based on ANN

DONG Cheng-Sen¹ , CHEN Duan-Lu^{2,*} , DONG Ming-Hui² , ZOU Dong-Sheng¹ , XIONG Ying³

1 Institute of Ecology , Hunan Agricultural University , Changsha 410128 , China
2 Hunan University of Arts and Science , Changde 415000 , China
3 College of Environmental Science and Engineering , Hunan University , Changsha 410082 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (11) 4766 ~ 4776.

Abstract : Humans are currently facing serious environmental challenges at global and local levels. Sustainable development has become equally important with national security in recent years. The sustainable ecological carrying capacity of an ecosystem is best indicated by the relation between ecological carrying capacity and ecological load. The present research aimed to develop a forecasting system for measuring sustainability of ecosystem in Wulingyuan Scenic Spot using an early warning of ecological carrying capacity. For this , the evaluation indices system of ecological carrying capacity in Wulingyuan Scenic Spot was established using principal components analysis (PCA) and analytic hierarchy process (AHP). On this basis , 17 indices including the resources , environment and social-economy , which were separated from

基金项目 湖南省社会科学基金资助项目 (05YB127 ,06ZC74) ;湖南省教育厅重点资助项目 (04A035) ;湖南省自然科学基金资助项目 (06JJ065) ;
收稿日期 2007-03-21 ;修订日期 2007-10-17
作者简介 董成森 (1959 ~) 男 ,湖南桃源人 ,博士生 ,研究员 ,主要从事生态经济、农业生态与农村发展研究。E-mail :snbkjc@163.com
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail :duanluchen@126.com

Foundation item :The project was financially supported by Social Science Foundation of Hunan Province (No. 05YB127 ,06ZC74) ;Educational Bureau of Hunan Province (No. 04A035) ,the project was financially supported by Natural Science Foundation of Hunan Province (No. 06JJ065)

Received date 2007-03-21 ;**Accepted date** 2007-10-17

Biography :DONG Cheng-Sen , Ph. D. candidate , Professor mainly engaged in ecological economic , agricultural ecology and rural development. E-mail :snbkjc@163.com

the resource carrying capacity , environment carrying capacity , ecological elasticity and ecological pressure-bearing , were chosen as the early-warning indices inputs. Afterwards , the whole Wulingyuan Scenic Spot was divided into several early warning districts with different sustainability of ecosystems according to the ecological load-bearing index calculated by the State Space Approach (SSA). Finally , based on the samples tests , the BP neural network model (BPNNM) was established , and the forecasting system for ecological carrying capacity in Wulingyuan Scenic Spot was developed. The results showed that the whole Wulingyuan Scenic Spot was over the carrying capacity in 2000 , which was mainly due to the urbanization of core areas in it. The results further revealed that Xiehe Village was ever over the carrying capacity because of the unreasonable exploitation and utilities of the local resources. The forecasting system of ecological carrying capacity , carried out by the BPNNM , might be useful in forecasting sustainability of ecosystems. Therefore , it can promptly reflect the regulation consequences of ecosystems sustainability and serve as scientific basis for the regional sustainable development.

Key Words : ecological carrying capacity ; forecasting system ; artificial neural network (ANN) ; sustainable development ; Wulingyuan Scenic Spot

可持续发展 (Sustainable development)作为一种人类共同追求的发展理念和模式 ,已普遍为世界各国所接受 ,更是诊断国家健康运行的标准^[1]。对它的定量测度 ,研究者提出的方法^[2-3] ,各不相同 ,但出发点都是为了表达人类对自然的利用是否处于自然系统的生态承载力 (ecological capacity)范围之内^[4]。研究表明 ,人类社会必须生存于生态系统的承载力范围内^[5-7] ,即人类的可持续发展必须建立在生态系统完整、资源持续供给和环境长期有容纳量基础之上。生态承载力的本质是生态系统的可持续承载^[8] ,它存在上下两个阈值 ,即可持续区间 ,如果超出了区间 ,就不能正常发挥其功能 ,以至于偏离可持续发展轨道^[9]。

可持续承载预警 ,是以生态承载力为指标 ,用来衡量区域系统运行与发展过程中是否偏离可持续发展轨道而出现危机。该系统涵盖了从发现警情、分析与辨识警兆、判断警度以及排警决策全过程^[10]。武陵源风景区属于世界自然遗产中的风光遗产 ,但由于注重旅游资源开发的经济效益而忽视了其生态效益 ,使旅游资源遭到了严重的破坏。尽管开展了一系列措施 ,但由于旅游地本身的生命周期和生态承载力决定了旅游区旅游容量的大小。因此 ,基于可持续预警进行生态承载力调控 ,可及时反映可持续状态的调控效果 ,为武陵源区域可持续发展提供科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

武陵源风景名胜位于湖南省西北部 ,总面积 369km² ,以神奇峻峭的砂岩峰林地貌被誉为 “世界绝景 ”、“天下第一奇山 ”等。该区属中亚热带山原型季风性湿润气候 ,四季分明 ,雨量充沛 ,无霜期长 ,严寒期短。由于受地形的影响 ,气候复杂多变 ,且垂直气候差异明显 ,山高林密 ,雨丰湿重 ,形成特有的森林小气候 ,平均气温 16℃ ,年降雨量 1400mm ,降雨量在时空分布上有明显的不均。该区属亚热带常绿阔叶林区 ,地形、地貌复杂多样 ,形成明显的垂直差异 ,构成各种不同的山地小气候环境 ,为众多物种的生存、发展提供了有利的条件。植物资源中高等植物有 3000 余种 ,珍贵经济用材有 10 余种 ,药用植物 1000 多种 ,木本油料植物 70 多种 ,芳香植物近百种 ,可供观赏的野生花卉达 450 余种。其区域森林覆盖率 85% ,脊椎动物 50 种 ,被誉为亚热带罕见的物种基因库。该区为国家级风景名胜区 ,1992 年被列入 《世界自然遗产名录》 ,成为全人类的无价之宝。目前 ,武陵源风景区已形成锣鼓塔、水绕四门、军地坪、天子山、袁家界、中湖等 6 个旅游服务接待生活区 ,有各类宾馆、酒店 400 多家 ,床位总数 4 万多张 ,其中星级酒店 50 余家 ,旅游从业人员已达 2 万人 ,旅行社 50 多家 ,日接待能力在 4 万人左右。自 1991 年起 ,张家界市先后举办了八届 “中国国际森林保护节 ” ,在国内外产生了较大影响 ,同时加强国内旅游交流与合作 ,知名度日益提高 ,旅游人数成倍增长 ,在全国生态旅游业中名列前茅。2000 年接待旅游者达 514 万人次 ,旅游收入 191.5 亿元。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源和预处理

对于资源类、环境类、经济类数据主要为二类资源清查数据、环境公报等现有资料进行收集和整理。对于图面资料采用 GIS 分析与网络方法。利用 GIS 软件建立图斑文件,借助 GIS 的统计功能来获取要素斑块的面积和周长,并计算每种景观要素、各区域的斑块数目、总面积、斑块平均面积和总周长。并根据图面处理数据计算景观丰富度指数(公式为 $R_i = \frac{n_i}{N} \times 100\%$,式中 R_i 表示第 i 区域旅游景观丰富度, n_i 表示第 i 区域旅游景观类型数, N 表示整个研究区域旅游景观类型总数)、景观多样性指数 ($H = - \sum_{k=1}^n P_k \ln(P_k)$),式中 H 是多样性指数, P_k 是景观类型 k 在景观中出现的概率, n 是景观类型总数)、景观均匀度指数(公式为 $E = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{- \sum_{k=1}^n P_k \ln(P_k)}{\ln(n)}$,式中 H 是多样性指数, H_{\max} 是其最大值。显然,当 E 趋于 1 时,景观分布的均匀程度亦趋于最大)^[11,12]。

1.2.2 预警模型

人工神经网络(ANN)是一种模拟人的神经系统而建立起来的非线性动力学模型,整个网络的信息处理是通过神经元之间的相互作用来完成的,具有强大的非线性映射能力、学习能力、容错能力等特性,对解决非线性问题有着独特的先进性。适宜处理知识背景不清楚、推理规则不明确等复杂类型模式识别且难以建模的问题。BP 神经网络模型,即误差反向传播神经网络,是目前应用最广泛的一种神经网络模型。它是对神经系统的数学抽象和粗略的逼近和模仿,由输入层、隐含层、输出层组成。神经元是其基本处理单元,神经元之间有连线,知识由各神经元之间的连接强度表达,网络的记忆存储行为表现为各单元之间连接权重的动态演化过程,网络学习的目的就是寻找一组合适的连接强度^[13-14]。因此,本文采用 BP 神经网络模型进行生态承载力预警研究。神经网络模型结构如图 1 所示。

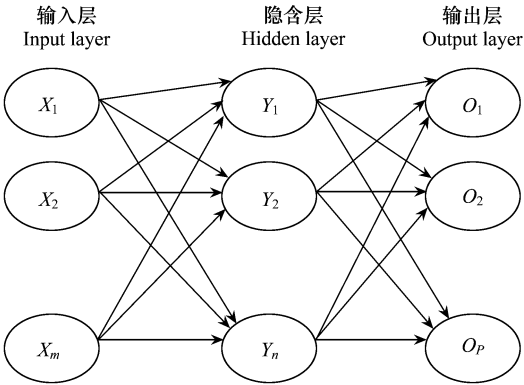


图 1 三层 BP 人工神经网络模型结构图
Fig. 1 3-layers structure of BP-ANN model

BP 神经网络隐含层和输出层上的某神经元 j 的输出 O_j 由下式确定:

$$O_j = f_j(Net_j) = f_j(\sum w_{ij}x_i + \theta_j)$$

式中 f_j 表示神经元 j 对应的激发函数,主要采用 Sigmoid 函数 $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$, θ_j 表示神经元 j 的阈值, x_i 表示对神经元 j 的各个输入, w_{ij} 表示对应输入和该神经元的连接权值^[15]。

1.2.3 可持续承载预警方法

预警是对一个系统的现状和未来进行测度,预报不正常状态的时空范围和危害程度,对于已有问题提出解决措施,对于即将出现的问题给出防范措施的报警和调控。大致分为警源分析、警兆辨识、警情动态监测、警度预报、控制决策等几个部分。可持续承载预警,是针对一个由众多因素构成的复杂系统中的承载状态,由于超载而偏离可持续发展轨道或出现危机或发生经济社会发展与资源环境保护严重冲突而建立的报警和排警。该系统通过发现警情、分析与辨识警兆、寻找警源、判断警度以及排警决策的全过程来揭示并预报区域运行与发展的信号^[10]。

结合 BP 神经网络模型进行预警形成 BP 预警模型 (图 2)。输入层节点数由警兆指标数确定,输出层节点数由警度划分的等级数确定 (如警度分为五级:无警、轻警、中警、重警、巨警)输出。在 BP 神经网络模型中,对于预警指标的构建,在收集的资源、环境、社会经济指标中,采用主成分分析法筛选出主导因子作为预警输入指标^[16,17]。

可持续承载警度,先对预警指标采用层次分析方法进行赋权^[18],构建指标体系框架,再采用状态空间法求算可持续承载指标,通过可持续承载状态进行警度区间的划分。状态空间是欧氏几何空间用于定量描述系统状态的一种有效方法。通常由表示系统各要素状态向量的三维状态空间轴组成。利用状态空间法中的承载状态点,可表示一定时间尺度内区域的不同承载状况。利用状态空间中的原点同系统状态点所构成的矢量模数表示区域承载力的大小。状态空间法的数学表达式为:

$$RCC^{sus} = RCC - M = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2} - \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i RCS_i^*)^2}$$

式中, $RCC = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i RCC_i^*)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2}$, $M = \sqrt{\sum_{i=1}^N (w_i RCS_i^*)^2}$, RCC 为区域承载力的大小, M 值的大小即定量地代表现状区域发展状况, RCC_i 为区域系统指项标的时段理想值^[19-20]。

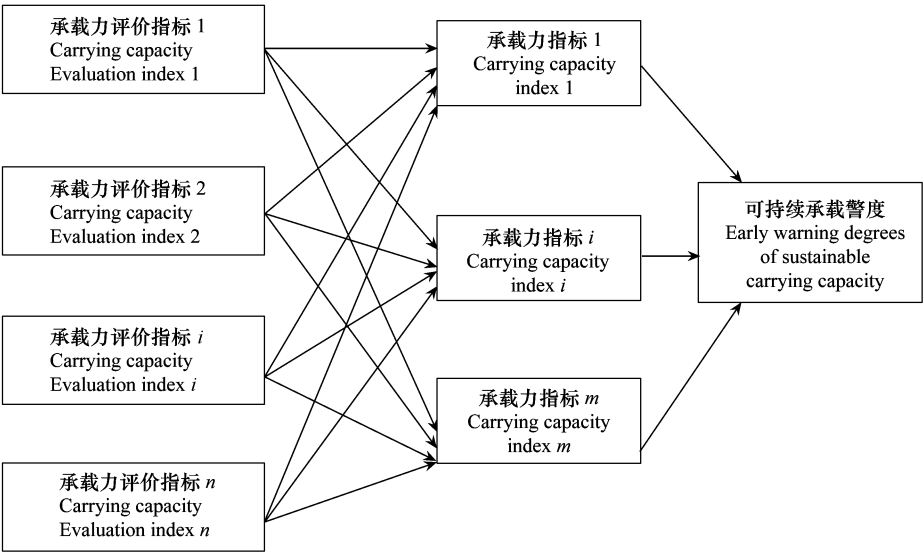


图2 基于BP模型的可持续预警框架

Fig. 2 Topology structure of sustainable early warning based on BP-ANN

2 结果与分析

2.1 预警指标分析

2.1.1 预警指标选取

可持续承载预警,主要是正确反映区域系统的生态承载状态,指标选取必须满足层次性、完备性、简明性和动态性的特点,应该包含资源类、环境类、社会经济类指标,即从资源承载、环境承载、生态弹性和生态承压等方面来考虑。在资源承载力方面,综合考虑(1)生态系统中资源的丰富度;(2)人类对资源的需求(数量、质量);(3)人类对资源的利用方式。环境承载力包括环境容量(可容纳的污染物数量,反映在环境方面为相应的环境容量)和人类的生产生活方式^[21]。

结合区域特点,根据影响生态承载力的基本要素,选取的资源类指标有:景区面积 x_{01} 、景观种类 x_{02} 、景观优势度指数 x_{03} 、植被覆盖率 x_{04} 、生物多样性 x_{05} (动植物种类、珍稀濒危动植物所占百分比)、二级以上景点所占百分比 x_{06} 、古树名木数量 x_{07} 、径流量 x_{08} 、山体景观质量 x_{09} 、水体景观质量 x_{10} 、旅游资源等级 x_{11} 、旅游资源

规模 x_{12} 、旅游资源聚集度及组合条件 x_{13} 、可达性 x_{14} 、观赏游憩价值 x_{15} 、科研教育价值 x_{16} 、历史文化价值 x_{17} 、娱乐保健价值 x_{18} 、生态保护价值 x_{19} ;平均斑块分维数 x_{20} 、平均斑块形状指数 x_{21} 、景观破碎度 x_{22} 、景观分离度 x_{23} 、景观多样性指数 x_{24} ;环境类指标有 :大气空气质量 y_{01} (二氧化硫含量、二氧化氮含量、可吸入颗粒物含量)、地表水质量 y_{02} (高锰酸钾指数、溶解氧、饱和度、总磷)、各区域面积占总面积的百分比 y_{03} 、土壤环境质量 y_{04} ;社会经济类指标有 游览设施 z_{01} 、人均 GDP z_{02} 、旅游收入占国内生产总值的百分比 z_{03} 、人均旅游收入 z_{04} 、旅游者满意度 z_{05} 、旅游地拥挤度 z_{06} 、社会文化习俗 z_{07} 、社区居民心理 z_{08} 、管理人员比率 z_{09} 、科技人员比率 z_{10} 、社区参与情况 z_{11} 。生态弹性力指标从 3 个方面考虑 : (1) 生态系统各主要构成因子均具有较高的分值 ; (2) 生态系统各构成因子间有较强的调节和互补能力 ; (3) 生态系统组成与结构配置合理。为此 ,采用高吉喜^[21]的气候、地物覆盖、土壤、地形地貌、水文 5 类指标 ,但地形地貌不参与分析。

所有状态变量由于存在着相关性 ,本文以 1996 年、1998 年、2000 年、2004 年的原始数据 ,采用主成分分析法对可持续承载评价指标变量进行主要因子提取。对于各年度所变换的原始资料阵 ,组成主成分分析矩阵 ,进行 R 分析 ,计算各主成分的贡献率及前 K 个主成分的累计贡献率 (表 1)。根据设置的主成分累计贡献率 (95%) ,剔除了 26 个因子 ,确定区域可持续承载评价指标体系由 13 个指标因子组成。

2.1.2 预警指标赋权

根据上述建立的评价指标 ,采用层次分析法 (AHP 法) ,建立 AHP 评价模型 ,评价各个生态承载力评价指标进行重要性分析 ,评定生态承载力评价指标在指标体系中的权重分配。从资源类指标、环境类指标、社会经济类指标与生态弹性力指标 4 个方面构建区域可持续发展评价指标体系框架 (表 2)。

表 1 可持续承载评价指标主成分分析表

Table 1 PCA for assessment of sustainable carrying capacity			
评价因子 Evaluation Factors	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contributions rate	累计贡献率 Total contribution rate
X_{01}	13.32	0.625	0.625
X_{04}	4.65	0.085	0.71
X_{05}	2.46	0.048	0.758
X_{15}	1.85	0.039	0.797
X_{19}	1.53	0.038	0.835
Y_{01}	1.21	0.023	0.858
Y_{02}	1.02	0.023	0.881
Y_{04}	0.89	0.017	0.898
Z_{02}	0.80	0.012	0.91
Z_{12}	0.73	0.013	0.923
Z_{21}	0.68	0.013	0.936
Z_{31}	0.5	0.011	0.947
Z_{33}	0.44	0.008	0.955

表 2 生态承载力评价指标体系框架

Table2 Evaluation indicators of the ecological carrying capacity			
评价目标 Evaluation objectives	评价项目 Evaluation item	评价指标层 Evaluation index	
		名称 Name	权重 Weight
警源 (可持续承载力) 指标 Warning sources (Sustainable carrying Capacity) index	资源类指标 Resources index	景区面积 (X_{01})scenic area (X_{01})	0.05
		植被覆盖率 (X_{04})Vegetation coverage (X_{04})	0.07
		生物多样性 (X_{05})Biodiversity (X_{05})	0.07
		观赏游憩价值 (X_{15})	0.08
		生态保护价值 (X_{19})Ecological conservation value (X_{19})	0.10
		资源利用方式 (景观破碎度) (X_{22})Landscape fragmentation	0.05
	环境类指标 Environment index	大气环境质量 Y_{01} Air Quality	0.09
		水环境质量 Y_{02} Water Quality	0.07
		土壤环境质量 Y_{04} Soil Environmental Quality	0.07
	社会经济类指标 Socio-economic index	人均 GDP Z_{01} GDP Per capita	0.05
		人口密度 Z_{09} Population density	0.07
		第三产业比重 Z_{03} Proportion of the tertiary industry	0.05
		旅游地拥挤度 (旅游人数、通达性) (Z_{06})Tourism Congestion	0.05
	生态弹性 Ecological flexibility	气候 a_{01} Climate	0.04
		地物覆盖 a_{02} Land Cover	0.03
		土壤 a_{03} Soil	0.03
		水文 a_{04} Hydrological	0.03

2.1.3 预警指标关系分析

由于生态承载力既包含了资源与环境的支持力部分,还包含了社会经济的发展力部分,是生态、经济、社会、人口与资源几个子系统之间相互作用的反映,子系统之间均具有显著的相互作用、相互影响甚至相互制约的关系。在这个复杂巨系统中,几个子系统相互耦合,各子系统的支持作用和消耗作用的合力来量化生态承载力。

通过指标选取,13 个指标分别隶属于资源、环境、生态、社会、经济、人口等,其中资源类有景区面积、植被覆盖率、生物多样性、观赏游憩价值、生态保护价值、资源利用方式(景观破碎度),环境类有大气环境质量、水环境质量、土壤环境质量,生态类有气候、地物覆盖、土壤、水文,社会经济类有人均 GDP、第三产业比重,人口类有人口密度。这些指标能综合反映区域的资源储备量、环境容纳量、生态恢复能力,人口适度容纳规模、经济与社会的宽松环境。资源储备量是资源总量(+)与资源消耗(-)的差量,环境容纳量是环境处理(+)与环境污染(-)的抵消,生态恢复能力是生态系统干扰(-)与恢复(+)的相互平衡,人口适度容纳规模是人口现状规模(-)小于人口最大规模(+)的结果,经济与社会的宽松环境是提高质量(+)与影响质量(-)两种因素的作用。这些指标的正向作用(+)表达区域生态系统生态承载力的承压状态,负向作用(-)表达生态系统生态承载力的压力状态,见图 3。

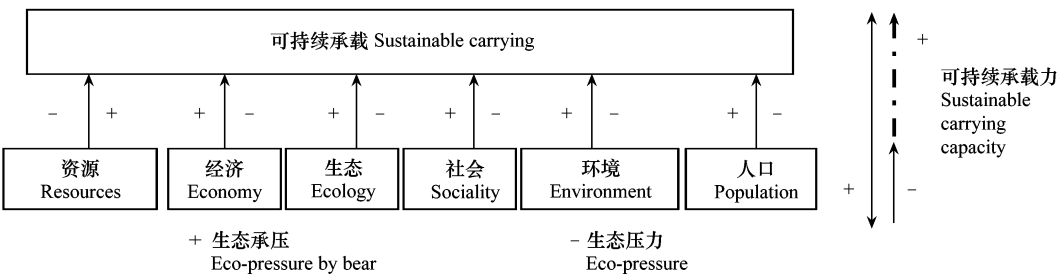


图 3 可持续承载力与子系统相互关系
Fig.3 Correlation between the ecological carrying capacity and subsystem

在 13 个指标中,景区面积、植被覆盖率、生物多样性、观赏游憩价值、生态保护价值、大气环境质量、水环境质量、土壤环境质量,气候、地物覆盖、土壤、水文为反向指标,即数值越大,说明该指标体现出的生态压力越小,采用的标准化公式为理想状态数据与现状之比,人均 GDP、第三产业比重,人口密度、资源利用方式(景观破碎度)为正向指标,即数值越大,说明该指标体现出的生态压力越大,采用的标准化公式为现状与理想状态数据之比。对于理想状态,按照毛汉英提出^[22],衡量某个区域人地关系是否处于和谐状态,区域 PRED 间关系协调与否,主要看是否满足以下 4 个标准:(1)自然系统是否合理;(2)经济系统是否高效;(3)社会系统在总体上是否健康协调发展;(4)生态环境系统是否向良性循环发展。根据这 4 个标准,参考全国和东部沿海地区的实际情况,确定武陵源区域生态系统的理想值。从图 4 中可以看出,对于理想状态标准值为 1 时,各个指标大于 1 的都说说明该指标处于一种超载状态。

2.2 警限确定与警区划分

对于区域的可持续承载预警,关键是判断生态承力的

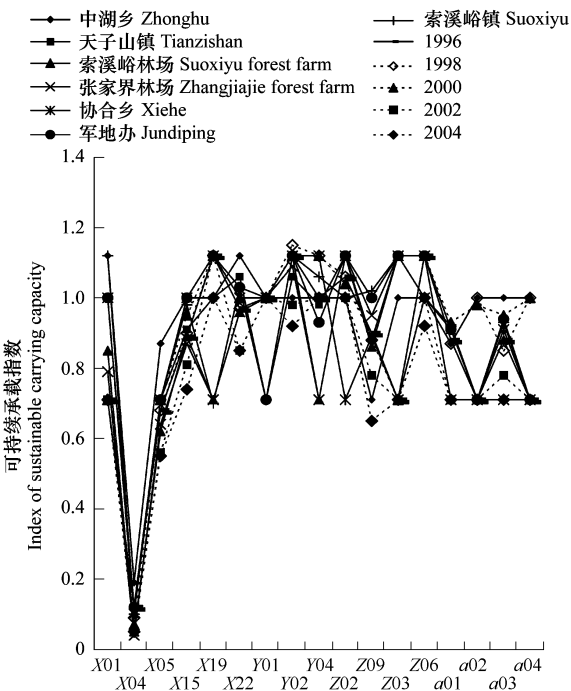


图 4 武陵源风景区的各个单项指标的可持续承载指数
Fig.4 Index of the sustainable carrying capacity of every index in Wulingyuan scenic spot

承载状态 ,通过承载状态进行警限的确定和警度区间的划分。首先依据设计的承载状况计算步骤 ,利用状态空间法计算可持续承载指数 ,根据可持续承载指数来判断是否超载 ,其中大于 0 说明处于不超载状态 ,小于 0 为超载状态 ,即以可持续承载指数为 0 作为预警的警限。在衡量区域生态系统是否处于可持续承载状态时 ,按照高吉喜^[21]的观点 ,需要考虑生态系统的自我维持、自我调节及其扶抗各种压力与扰动的能力大小 ,即生态弹性力。在上述可持续承载指数计算时 ,是从资源、环境承载力和生态弹性力来考虑的 ,对于资源、环境承载力满载 (=0)的情况下 ,可持续承载指数还不为负数 ,但生态弹性力可以说已失去其支持条件 ,因此 ,在这种情况下是一种不超载的不可持续状态。通过计算生态弹性指数为 0.0095 ,根据可持续承载指数进行警度区间的划分 (表 3) ,并计算出武陵源区各区域及各年度的生态承载力的可持续承载现状 (图 5、图 6)。

表 3 警度区间及灯区划分

Table 3 The grade on factor of early warning system

警度区间 Interval of warning degrees	载荷状态 Bearing State	可持续状态 Sustainable State	警度等级 Grades of warning degrees	类似信号灯 Similar Signal Lights
$RCC_{sus} \leq 0$	超载 Over carrying capacity	不可持续 Unsustainable	重警 Serious	红灯 Red signal light
$0 < RCC_{sus} \leq 0.0095$	不超载 Under carrying capacity	不可持续 Unsustainable	中警 Middle	黄灯 Yellow signal light
$RCC_{sus} > 0.0095$	不超载 Under carrying capacity	可持续 Sustainable	轻警 Light	绿灯 Green signal light

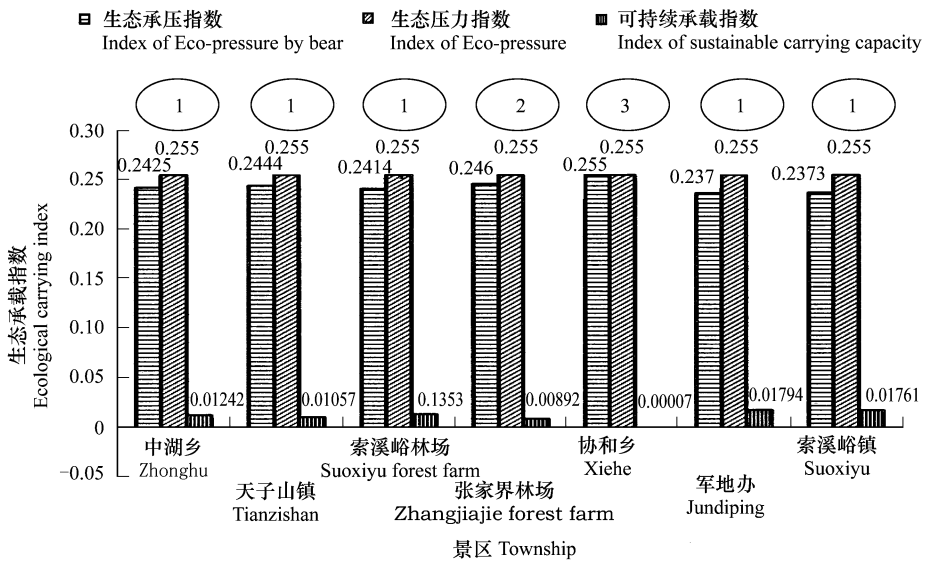


图 5 武陵源风景区各景区生态承载指数及承载状态

Fig. 5 Ecological carrying index and carrying status in ZhangJiaJie scenic spot

1 绿灯 Green signal light 2 黄灯 Yellow signal light 3 红灯 Red signal light

2.3 可持续承载预警的 BP 模型实现

首先配置网络模型 ,由于预警指标为 17 个 ,即初始节点为 17 ,输出节点数为 1 ,在确定隐含节点为 10 时 ,BP 网络模型结构为 17 × 10 × 1。以武陵源风景区 1996、1998、2002、2004 年及各景区 2004 年指标数据作为可持续承载的评价指标为神经网络模型的输入变量的训练样本 ,基于 BP 网络结构 ,选取动态参数为 0.7 ,Sigmoid 参数为 0.95 ,模型输入层与隐层之间的连接权值矩阵为 :

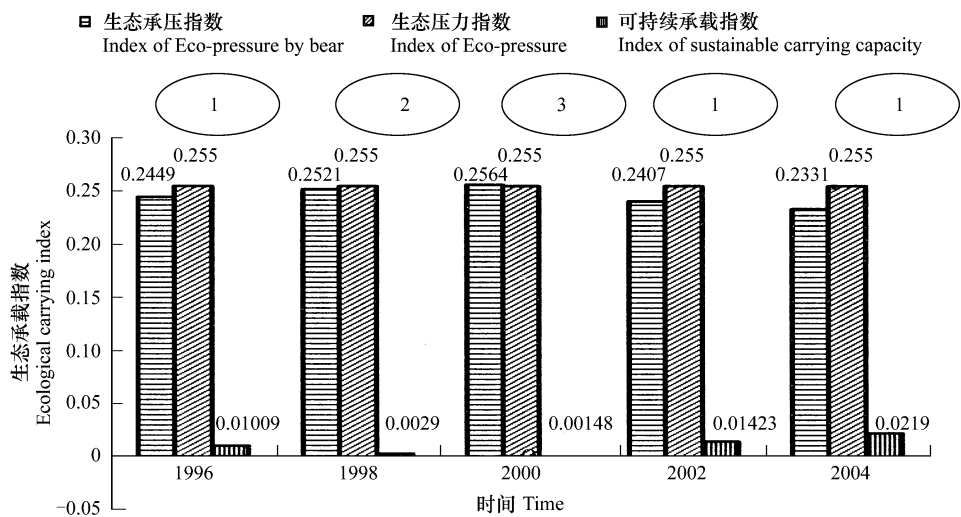


图 6 武陵源风景区 1996 ~ 2004 年生态承载指数及承载状态

Fig. 6 Ecological carrying index and carrying status in Zhangjiajie scenic spot in1996 – 2004

注 Note 1 绿灯 Green signal light 2 黄灯 Yellow signal light 3 红灯 Red signal light

-0.5597	-0.5532	-0.4335	0.8632	-0.2996	-0.2385	0.2181	0.6889	0.9113	-0.0913
-0.6593	-0.8734	-0.7773	2.5000	1.3047	0.6509	-2.4079	0.4300	0.6094	-1.9775
-0.0576	-0.3245	0.1131	0.8900	1.5705	-0.7703	-1.0769	0.3296	-0.8685	-0.5328
0.4557	0.5251	0.9957	-1.1332	-0.9454	-0.4059	0.5852	0.0913	0.5240	1.4870
-0.1209	-0.6466	0.0039	0.6045	-0.5440	-0.4395	0.5418	-0.9301	0.1494	-0.4494
-0.6724	-0.1491	-0.6968	-0.1030	0.1080	0.4088	0.6154	-0.8683	-0.3302	-0.2208
0.0408	0.6563	1.0175	-0.5190	-0.5030	0.6402	0.9770	-0.3025	-0.9121	1.4806
0.3032	0.3626	-0.1815	-0.4500	0.6625	-0.4003	-0.8409	-0.7451	-0.1326	0.1214
-0.1076	-0.1307	0.3495	0.9198	1.2196	0.4624	-1.4248	-0.6105	0.6153	0.1242
0.1494	0.5477	-0.7452	-0.3929	0.0738	-0.7738	1.1110	0.2650	-0.2766	-0.5157
0.0974	0.5418	0.0512	-1.7572	-1.4380	-0.8230	2.1628	0.3531	-0.9698	1.0818
0.2313	-0.5788	0.2843	-0.7955	-0.1881	-0.5840	1.9812	-0.6339	-0.2290	1.2607
0.3631	-0.2396	-0.8212	2.0102	1.3463	-0.4539	-1.6452	-0.4308	0.5577	-2.2500
0.0944	0.2829	-0.2821	-0.6007	-1.2438	0.4561	0.6749	0.2134	-0.1974	-0.1320
-0.3495	0.4654	0.2032	-0.1985	0.1967	-0.4384	-1.031	0.1932	0.1243	-0.0551
0.2840	-0.1125	-0.4117	-1.1910	-0.7454	0.3275	1.3324	-0.2427	-0.3091	0.3159
-0.7828	0.3437	0.1015	-0.1002	0.6983	0.2466	-1.1848	0.3366	0.7126	-0.6617

隐含层到输出层的权值矩阵为：

$W_{10 \times 1} = [0.859 \quad 0.3937 \quad 1.1923 \quad -3.2027 \quad -2.4223 \quad 0.2887 \quad 3.8327 \quad 0.229 \quad -1.2265 \quad 2.9452]$

2.4 承载力预警分析

2.4.1 系统预警与预测

利用所建模型计算结果与实际值一致 (表 4) ,说明了基于 BP 神经网络模型的可持续承载预警 ,用于预测预报未来的可持续发展的状态 ,对于模型的适用有一定的可靠性。从模型计算的结果来看 ,每一种景气状态都对应着一种可持续的发展状态 ,每一种不景气状态都对应着一种不持续的超载状态。同时引用 “十一五规划 ”和风景区总体规划中的各项指标进行预测 ,模型输出结果表明该年处于可持续承载状态。这一结果体现了区域规划中的经济发展速度合理 ,环境改善计划有效 ,资源利用程度适中 ,也说明了利用 BP 神经网络模型进行可持续承载预警是切实可行的 ,有一定的有效性。

2.4.1 系统预警与调控

通过模型计算 ,处于不可持续的超载的年度为 2000 年 ,该年度既为总体超载 ,也有生态保护价值、水环境质量、旅游拥挤度等单项指标超载 ,也正是由于那一阶段存在风景区性质不明 ,人工化、城市化、公园化现象严重 ,建设盲目无序 ,风景区的核心区范围内城市化现象严重 ,自然景观破坏严重、环境恶习化加剧等原因造成的。而处于不可持续的超载区域为协和乡 ,关键在于资源的开发利用上 ,由于景区面积较小 ,开发程度又不高 ,使该景区的承压容量小 ,也又有一定的生态承载的压力 ,导致了该区域的超载走向不可持续状态。

表 4 空间状态法的计算数据与 BP 模型拟合数据的对比
Table 4 The fitting comparison between SSM and BP-ANN

项目 Item	实际数 Actual data	拟合数 Fitting data	信号标志的一致性 Signal signs of consistency
中湖乡 Zhonghu	0.01242	0.0124	一致 Consistent
天子山镇 Tianzishan	0.01057	0.0106	一致 Consistent
索溪峪林场 Suoxiyu Forest Farm	0.01353	0.0135	一致 Consistent
张家界林场 Zhangjiajie Forest Farm	0.00892	0.0088	一致 Consistent
协合乡 Xiehe	-0.00007	-0.0001	一致 Consistent
军地办 Jundiping	0.01794	0.0178	一致 Consistent
索溪峪镇 Suoxiyu	0.01761	0.018	一致 Consistent
1996	0.01009	0.0097	一致 Consistent
1998	0.00290	0.0028	一致 Consistent
2000	-0.00143	-0.0006	一致 Consistent
2002	0.01423	0.0147	一致 Consistent
2004	0.02190	0.0206	一致 Consistent
2010		0.2440	一致 Consistent

从图 7 的单项指标超载情况来看 ,超载指数与总体超载并无相关关系 ,协和乡单项超载指标只有 3 个 ,但总体处于超载状态 ,因此 ,无法从各个单项指图 7 单项指标超载数与超载状况相关性标警戒线来判定 ,在无法对各项指标都限制在生态系统允许的承受范围内的前提下 ,必须以系统的观点来对整个生态系统来进行调控 ,以实现预警的参照功能、纠偏功能和超前调控功能。

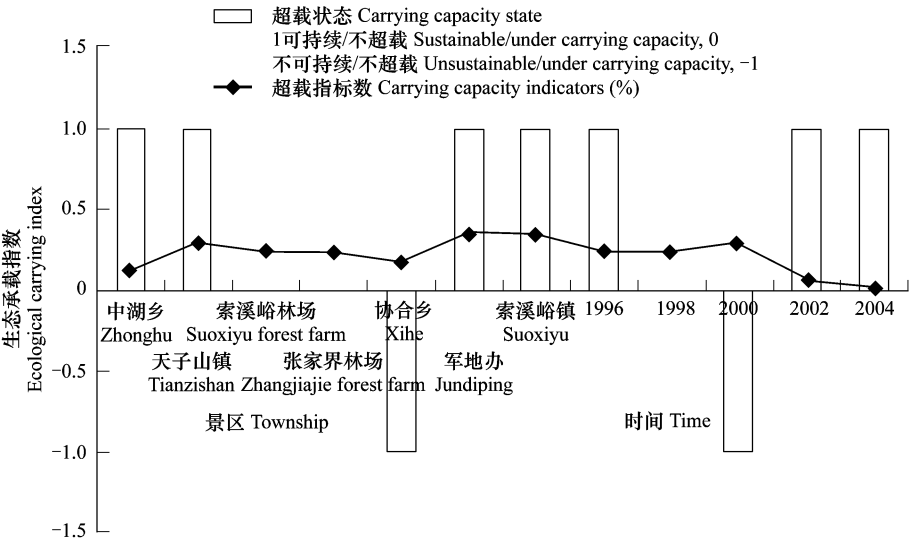


图 7 单项指标超载数与超载状况相关性

Fig . 7 Related analyses on single index of super-carrying and super-carrying status

3 小结与讨论

- 3.1 可持续预警即是以可持续发展为目标进行生态承载力调控。论文从生态承载力的视角出发,采用 BP 人工神经网络模型,对武陵源风景区进行可持续承载预警。从预测的结果看,模型的应用有一定的可靠性,可以科学地评价、预测预报和调控区域可持续发展的状态,为实现区域可持续发展提供依据。
- 3.2 区域生态系统是耗散结构的系统,可持续预警为系统预警。面向可持续发展,是生态承载力的整体提高,而不是片面追求某一单要素承载力的提高。科技进步虽可不断提高资源的承载能力,但这种提高必须限制在生态系统允许的承受范围内,否则虽提高了资源承载力,但却降低了生态系统的整体承载力,是一种不可持续承载。以往常将资源从生态系统中割裂出来,而不考虑生态系统的整体效应,从而造成了严重的环境污染和生态破坏,使环境承载力与生态弹性力降低。
- 3.3 生态系统的可持续承载通过生态承载力水平与生态荷载状况表现出来。论文利用生态承载力水平与生态荷载容量的正向与负向指标共同构成了可持续承载的评价指标体系,避免了利用各自指标体系所导致的繁杂性。但评价指标体系有待于进一步完善。
- 3.4 人工神经网络为复杂系统的可持续预警提供了一条崭新的科学途径,但模型的建立需要多次的学习训练,生态系统承载的状态需要借助其它有效的判断方法,在建模时存在一定的局限性。

Reference :

[1] Ye W H , Tang J W. Measurement of sustainable development and discussion of measurement index. In : Research center for sustainable development of china eds. sustainable development in china. Beijing :Peking University Press ,1994. 72 — 79.

[2] Fu B J , Chen L D , Ma C. The index system and method of land sustainable use evaluation. J Nut Resour ,1997 ,12 (2) :112 — 119.

[3] Guo Z G , Wu B L. Application of gray theory in prediction of stand volume. J Gansu Agric Univ ,1999 ,34 (2) :171 — 174.

[4] Zhang ZH Q , Sun CH Q , Cheng G D. Progresses and trends of sustainable development research. Advance in Earth Sciences ,1999 ,14 (6) :589 — 595.

[5] Costanza R , Daly H. Natural capital and sustainable development. Conservation Biology ,1992 ,6 (1) :37 — 38.

[6] Macdonald D V , Hanley N , Moffatt I. Applying the concept of criticality to regional resource management. Ecological Economics ,1999 29 :73 — 76.

[7] Costanza R , Cumberland J , Daly H , et al. An introduction to ecological economics. Florida :St Lucie Press ,1997. 16 — 59.

[8] Mao H Y , Yu D L. A Study on the quantities research of regional carrying capacity. Advance in Earths sciences ,2001 , (8) :549 — 555.

[9] Schaeffer D J , Henricks E E , Kerster H W. Ecosystem health Ⅰ. Measuring ecosystem health. Environ. Man. 1988. 12 :445 — 455.

[10] Zhu Y , Ye M Q. A study on an early warning system to be used for ensuring sustainable development of a region. Journal of Huaqiao University (Philosophy & Social Science) ,2002 , (1) :32 — 38.

[11] Fu B J , Chen L D , Ma K M , et al. Landscape ecology theory and application. Beijing :Science Press ,2004. 202 — 237.

[12] Xiao D N , Zhong L S. Ecological principles of landscape classification and assessment. Chin J Appl Ecol ,1998 ,9 (2) :217 — 221.

[13] Ma F , Xu X F , Zhang X L , et al. Neural network of warning system and its application in insect pest forecasting. Entomological Knowledge ,2002 ,9 (2) :115 — 120.

[14] Wu Y X , Zhou G M , Guo R J. Early warning analysis on regional forest resources sustainable development. Journal of Zhejiang Forestry University ,1999.16 (1) :55 — 60.

[15] Yang SH E , Huang L. Financial crisis warning model based on BP neural network. Systems Engineering- Theory & Practice ,2005 , (1) :12 — 18 26.

[16] Ye Y G , Zhou L. A principle component analysis on synthetical strength for cities in the changjiang river delta. Resources and Environment in the Yangtze Basin ,2004 ,13 (3) :197 — 203.

[17] Wan H W. The limit conditions for forming of a system evaluating index by the PCA method. Systems Engineering Theory & Practice ,1996 , (9) :24 — 29.

[18] Wang H F , Dong Z CH. Application of analytic hierarchy process (AHP) method in regional water resources sustainable development evaluation. Water Power ,2002 7 :12 — 15.

[19] Deng B , Hong F Z , Long R J. Review of quantitatively analyzing regional ecological carrying capacity. Journal of Gansu Agricultural University ,2003 38 (3) :281 — 289.

[20] Chen D L ,Dong M H ,Peng B F. A summary of the research on ecological carrying capacity. Journal of Hunan University of Arts and Science (Social Science Edition) ,2005 ,30 (5) 70 — 73.

[21] Gao J X. The theory of exploring the sustainable development-The theory , method and application of ecological carrying capacity. Beijing : the Environmental and Scientific Press of China ,2001. 57 — 80.

[22] Yu D L ,Mao H Y ,Gao Q. Study on regional carrying capacity theory ,method and example —— take the Bohai-Rim area as example. Geographical Research 2003 22 (2) 201 — 210.

参考文献：

[1] 叶文虎 ,唐剑武.可持续发展的衡量方法及衡量指标初探. 见：叶文虎 ,唐剑武. 北京大学首次可持续发展科学讨论会文集—可持续发展之路. 北京：北京大学出版社 ,1994. 57 ~ 61.

[2] 傅伯杰 ,陈利顶 ,马诚. 土地可持续利用评价的指标体系与方法. 自然资源学报 ,1997 ,12 (2) :112 ~ 119.

[3] 郭正刚 ,吴秉礼. 灰色系统理论在林分蓄积量预测中的应用. 甘肃农业大学学报 ,1999 ,34 (2) ,171 ~ 174.

[4] 张志强 ,孙成权 ,程国栋 ,等. 可持续发展研究 进展与趋向. 地球科学进展 ,1999 ,14 (6) :589 ~ 595.

[8] 毛汉英 ,余丹林. 区域承载力定量研究方法探讨. 地球科学进展 ,2001 , (8) 549 ~ 555.

[10] 朱晔 ,叶民强. 区域可持续发展预警系统研究. 华侨大学学报 (哲学社会科学版) ,2002 , (1) 32 ~ 38.

[11] 傅伯杰 ,陈利顶 ,马克明 ,等. 景观生态学原理及应用. 北京：科学出版社 ,2004. 202 ~ 237.

[12] 肖笃宁 ,钟林生. 景观分类与评价的生态原则. 应用生态学报 ,1998 ,9 (2) 217 ~ 221.

[13] 马飞 ,许晓风 ,张夕林 ,等. 神经网络预警系统及其在害虫预测中的应用. 昆虫知识 ,2002 ,39 (2) :115 ~ 120.

[14] 吴延熊 ,周国模 ,郭仁鉴. 区域森林资源可持续发展的预警分析. 浙江林学院学报 ,1999 ,16 (1) 55 ~ 60.

[15] 杨淑娥 ,黄礼. 基于 BP 神经网络的上市公司财务预警模型. 系统工程理论与实践 ,2005 , (1) :12 ~ 18 26.

[16] 叶依广 ,周蕾. 长江三角洲各城市综合实力的主成分分析. 长江流域资源与环境 ,2004 ,13 (3) :197 ~ 203.

[17] 王惠文. 用主成分分析法建立系统评估指数的限制条件浅析. 系统工程理论与实践 ,1996 , (9) 24 ~ 29.

[18] 王好芳 ,董增川. 区域水资源可持续开发评价的层次分析法. 水力发电 ,2002 ,7 :12 ~ 15.

[19] 邓波 ,洪绂曾 ,龙瑞军. 区域生态承载力量化方法研究述评. 甘肃农业大学学报 ,2003 ,38 (3) 281 ~ 289.

[20] 陈端吕 ,董明辉 ,彭保发. 生态承载力综述. 湖南文理学院学报 (社会科学版) ,2005 ,30 (5) 70 ~ 73.

[21] 高吉喜. 可持续发展理论探索——生态承载力理论、方法与应用. 北京：中国环境科学出版社 ,2001. 57 ~ 58.

[22] 余丹林 ,毛汉英 ,高群. 状态空间衡量区域承载状况初探——以环渤海地区为例. 地理研究 ,2003 ,22 (2) 201 ~ 210.