水保监测与应用技术

BP 神经网络在森林健康预警中的应用

卞西陈, 陈丽华, 王 鹏, 王萍花
(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

摘 要: 以河北省北沟林场的森林生态系统健康预警为主线, 首先通过定量分析和定性分析相结合的方法对森林健康预警指标进行筛选, 确定了预警的指标体系; 进而基于 BP 神经网络的基本原理建立了森林生态系统健康预警模型, 对森林生态系统健康状况进行了预警。结果表明, 北沟林场森林生态系统整体处于绿色和蓝色警戒内, 健康状况良好。

关键词: 森林生态系统健康; BP 神经网络; 预警; 基值; 警兆
文献标识码: B 文章编号: 1000-288X(2011)04-0108-04 中图分类号: S718.55

Application of BP Neural Network on Health Warning of Forest Ecosystem

BIAN Xi-chen[1], CHEN Li-hua, WANG Peng, WANG Ping-hua
(*College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: Taking forest ecosystem health early warning in the North Ditch, Hebei Province as the main line, early warning indicators of forest health were firstly filtered by the method of quantitative analysis, then early warning indicator system was identified. Next, early health warning model of forest ecosystem based on the basic principles of BP neural network was established, and then it was used to make early warning on the health of forest ecosystems. The results showed that North Ditch forest ecosystem was in good health, in the whole, the North Ditch in the range of the green and blue alert.

Keywords: forest ecosystem health; BP neural network; early warning; base value; warning signs

所谓预警就是指对某一警素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, 以及提出防范措施。森林健康预警是指在生态系统或景观尺度上, 基于森林健康现状分析, 对未来趋势进行测度, 预报森林健康异常状况出现的时空范围和危害程度, 并提出相应的解决措施, 对于即将出现的问题给出防范措施的报警和调控, 保持健康森林的稳定性, 持续发挥森林的生态、经济和社会效益。

国外预警研究是多个领域的, 包括经济领域、气候气象的预测预报、粮食安全供给、饥荒预警、医疗、环境监测、工程地质及生态环境等。如美国的国际开发活动(international development activity)制作的网上饥荒预警系统(famine early warning system network)主要针对不同国家和地区的具体情况做出饥荒情况的预测预警; 美国环境保护基金及自然资源保护委员会的全球变暖预警系统(global warning: early warning sings)采用 WebGis 的形式, 用信号对全球气温正在逐渐升高地区做出标记, 提示可能产生的海水上升、冰川溶化、两极气温上升等现象, 并对可能产生疾病扩散、早春、干旱、火灾等灾害做出及时的预报。国内的生态安全预警研究随着生态安全问题研究的深入而日益受到学术界的重视, 许多学者在不同的领域进行预警研究。根据荒漠化防治防重于治的思想, 关文彬等[1]把荒漠化发生、发展的生态机制与预警原理结合建立了荒漠化危害预警指标体系框架; 结合水资源综合管理的实践, 朱平构建了区域水资源可持续利用预警指标体系, 并应用层次分析法确定各指标权重, 运用 BP 网络对预警指标进行预测, 利用效用函数综合评价模型对区域水资源可持续利用程度进行评价和预警, 同时制定了相应的排警措施。本研究将生态系统的基本原理和 BP 神经网络的基本原理[2-5]相结合, 建立 BP 神经网络模型, 对河北省北沟林场森林生态系统健康进行预警。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

北沟林场隶属于河北省孟滦国营林场管理局。

收稿日期: 2010-11-21 修回日期: 2010-12-13
资助项目: 国家林业局林业公益行业科技专项"华北土石山区典型森林生态系统健康维护机制研究"(200804022)
作者简介: 卞西陈(1987—), 女(汉族), 山东省济宁市人, 硕士研究生, 主要研究方向为水土保持。E-mail: lan1396@yahoo.cn。
通信作者: 陈丽华(1957—), 女(汉族), 北京市人, 博士, 教授, 主要研究方向为城镇规划和水土保持。E-mail: c_lihua@bjfu.edu.cn。

地处围场县中南部, 分布在半截塔镇和下伙房乡境内, 位于七老图岭山西侧, 地势东北高, 西南低; 海拔 800~ 1600 m 之间, 色树梁东光顶是全林场最高峰, 海拔 1 600 m; 滦河支流——伊玛吐河由北向南从林区穿过, 流入隆化境内。全场总经营面积 5 428.8 hm^2, 其中天然林 1 485.4 hm^2, 以落叶松、油松、白桦、山杨、云杉为主要乔木树种; 人工林 1 180.5 hm^2, 油松、落叶松、山杨等树种; 混交林 1 560.9 hm^2, 混交类型为针阔混交。森林覆被率 85.6 %, 活立木蓄积 2.09×10^5 m^3, 年采伐蓄积限额约为 5 000 m^3, 年产商品材约 2 000 m^3。

1.2　研究方法

在林场森林中选出 32 700 m^2 的典型样地, 其中包括天然次生林和人工林。根据林地的不同类型把样地分为 175 个小班。其中天然次生林共 50 个小班, 每个小班的面积是 20 m × 20 m, 人工林共 125 个小班, 其中 124 个小班大小为 10 m × 10 m, 由于有一个小班与天然林紧挨, 林分结构有别于天然林和人工林, 故另设 1 小班, 大小为 15 m × 20 m。对每个小班乔灌草进行常规外业调查。其中包括胸径、树高、枝下高、优势度、干形质量、冠幅、病虫害状况及森林火险等。

2　预警指标体系的建立

2.1　预警指标的选择

通过定量分析和定性分析相结合的方法[6-7]对森林生态系统健康的指标进行筛选, 从而得出森林生态系统健康预警的指标体系。

具体指标包括 6 个基值指标和 2 个警兆[6-7]指标。其中基值指标包括群落层次结构、林分郁闭度、近自然度、土壤侵蚀程度、生物多样性和土壤厚度; 警兆指标包括病虫害程度和火险等级。选取预警指标后, 采用层次分析法推求各预警指标的权重。

首先确定各个指标的相对重要性, 然后计算出各个指标对最高目标层的相对重要性权值(表 1), 即总排序。层次总排序就是各个指标对于总目标的权重。

表 **1**　森林生态系统健康预警指标权重

指 标	群落层次结构	林分郁闭度	近自然度	土壤侵蚀程度	生物多样性	土壤厚度	病虫害程度	火险等级
指标权重	0.215 1	0.084 5	0.025 3	0.017 2	0.123 3	0.034 6	0.250 0	0.250 0

2.2　森林生态系统健康警度的划分

对于警限的划分关系到预报警度的准确性, 以及误警和漏警的预防。依据生态学基本原理以及国内外有关森林健康研究和实践的结果, 对森林健康预警指标的各单项指标的进行划分等级, 将各预警指标分为无警、轻警、中警、重警和巨警共 5 个警度[8-14](表 2)。

表 **2**　森林生态系统健康警度划分

健康等级	森林健康简述	警 度	信号显示
优质(Ⅰ级)	林分结构很复杂, 物种多样性高, 植被盖度高, 抗病虫害能力很强, 森林火险等级很低, 不存在警情。	无 警	绿色警戒
健康(Ⅱ级)	林分结构复杂, 物种多样性高, 植被盖度高, 抗病虫害能力强, 森林火险等级低, 不存在警情。	轻 警	蓝色警戒
亚健康(Ⅲ级)	林分结构比较简单, 物种多样性较低, 植被盖度较低, 抗病虫害的能力弱, 森林火险等级较低, 警情处于孕育阶段。	中 警	黄色警戒
不健康(Ⅳ级)	林分结构比较简单, 物种多样性低, 植被盖度低, 抗病虫害能力弱, 森林火险等级高, 警情处于发展阶段。	重 警	橙色警戒
疾病(Ⅴ级)	林分结构很简单, 物种多样性很低, 植被盖度很低, 抗病虫害能力很弱, 森林火险等级很高, 警情处于爆发阶段。	巨 警	红色警戒

3　BP 神经网络模型的构建及分析

3.1　BP 神经网络的基本原理

BP(back propagation)网络是 1986 年由 Rumelhart 和 McCelland 为首的科学家小组提出, 是一种按误差逆传播算法训练的多层前馈网络, 是目前应用最广泛的神经网络模型之一。BP 网络能学习和存贮大量的输入—输出模式映射关系, 而无需事前揭示描述这种映射关系的数学方程。它的学习规则是使用最速下降法, 通过反向传播来不断调整网络的权值和阈值, 使网络的误差平方和最小。BP 神经网络模型拓扑结构包括输入层(input)、隐含层(hide layer)和输

出层(output layer)。因此,BP 神经网络比较适合用来表述森林健康预警体系。其中输入层神经元个数由输入指标决定,输出层神经元个数由输出类别决定,而隐藏层神经元个数一般为经验值。这样的网络结构与一般的指标预警系统十分相似,输入量对应警兆指标,隐藏层节点对应警情指标,输出值则为警度[2-5]。

3.2 神经网络基本参数

(1) 隐含层神经元结点数应同时满足条件:

$$\begin{cases} 2^m > n \\ m = \sqrt{w+n} + R(10) \end{cases}$$

式中: m ——隐含层神经元数; n ——输入层神经元数; w ——输出层神经元数; $R(10)$ 为 0~10 之间的任意数。

本研究的森林生态系统预警指标预测中,输入层由 3 个神经元组成,输出层由 1 个神经元组成,因此隐含层神经元节点数为 2~12。

(2) 训练函数。在应用模型之前应对模型进行训练。采用 trainlm 函数对模型进行训练,其中主要的训练参数是:训练步长(show)、最大训练次数(epochs)、目标误差(goal)和学习速率(lr),其值分别为 50, 10 000, 0.02, 0.01。

3.3 模拟结果精度检验

为了检验两种结果的拟合程度,应用 SPSS 16.0 软件中的 Analyze/Regression/Linear 过程对森林生态系统健康预警实测值与预测值进行线性回归(表 3—4)。

表 3 模型 1 方差分析结果实测值

项目	平方和	自由度	均方	F 值	显著性水平
回归	25.643	2	25.643 4	158.635	0.005[a]
残差	5.015	31	0.147		
合计	30.558	33			

表 4 模型 1 回归分析系数预测值

项目	非标准回归系数		标准回归系数	T 值	显著水平	95% 的置信区间	
	数值	标准误差	Beta			下限	上限
常数项	0.191	0.231	—	0.776	0.441	-0.295	0.681
预测值	0.947	0.075	0.909	13.016	0.005	0.799	1.103

由表 3 可知,实测值与预测值之间存在直线关系。由表 4 可知,回归系数有显著意义,直线回归方程为: $y = 0.947x + 0.191$,可以认为实测值与预测值的两种结果可很好地拟合。

4 结果与分析

4.1 森林健康预警基值判定模型

以小班为单位,应用以下数学模型对北沟林场的森林生态系统进行森林健康预警基值判定[4-7]。森林健康预警基值的判定统计结果见表 5。

$$F_i = \sum_{j=1}^{6} P_{ij} \times R_j$$

式中: F_i ——第 i 号小班森林健康基值得分; P_{ij} ——第 i 号小班第 j 个指标森林健康等级得分; R_j ——第 j 个指标的权重; i ——小班号; j ——森林健康预警基值指标。

由表 5 可知,选择的 175 个森林小班中,处于Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级、Ⅴ级的森林小班个数分别为 43, 98, 25, 9, 0 个;占地面积分别为 9 800, 18 500, 3 200, 1 200, 0 m^2;占样地总面积的百分比为 29.97%, 56.57%, 9.79%, 3.67%, 0。总体上看,北沟林场森林健康等级整体处于Ⅰ级和Ⅱ级,健康状况良好。

表 5 北沟林场森林健康预警基值判定结果

健康等级	小班数量/个	小班数百分比/%	面积/m^2	面积百分比/%
Ⅰ级	43	24.57	9 800	29.97
Ⅱ级	98	56.00	18 500	56.57
Ⅲ级	25	14.29	3 200	9.79
Ⅳ级	9	5.14	1 200	3.67
Ⅴ级	0	0	0	0

4.2 森林生态系统健康预警

以小班为单位,应用 Matlab 7.0 软件中的人工神经网络工具箱[4-8]对北沟林场的森林生态系统进行健康预警,预警统计结果见表 6。

从表 6 得出,在选择的 175 个森林小班中,处于绿色警戒、蓝色警戒、黄色警戒、橙色警戒和红色警戒的小班数分别为 44, 96, 26, 8, 0 个;占地面积分别为 9 900, 18 300, 3 300, 1 200, 0 m^2;占样地总面积的百分比分别为 30.28%, 55.96%, 10.09%, 3.67%, 0。

在森林生态系统 175 个典型小班中,处于绿色和蓝色警戒范围内森林小班为 140 个,面积为 28 200 m^2,占样地总面积的 86.24%。由此得出,林场的森林生态系统整体处于绿色和蓝色警戒内,整体生长状况良好,但仍需对林场采取必要的健康经营[12-16]的方法,尤其是对处于蓝色和橙色警戒内的林区,具体措施如

确定合理的林分密度, 加强林分的抚育管理, 制定合理的森林管理制度, 预防森林火灾和病虫害的发生等, 以确保森林的可持续利用。

表 **6**　北沟林场森林生态系统健康预警结果

预警等级	小班数量/个	小班数百分比/%	面积/m^2	面积百分比/%
绿色警戒	44	25.14	9 900	30.28
蓝色警戒	96	54.86	18 300	55.96
黄色警戒	26	14.86	3 300	10.09
橙色警戒	8	4.57	1 200	3.67
红色警戒	0	0	0	0

5　结 语

本研究采用 BP 神经网络结构法, 构建了一套森林生态系统健康预警的模型, 并在河北省北沟林场示范点进行实例研究, 结果表明该模型能够反映森林健康预警结果, 具有一定的科学性、可操作性和灵敏性。该预测预警体系对森林生态系统的健康经营具有一定的参考价值。对于克服目前森林经营中只注重面积(数量), 不注重质量和效益而带来的问题, 具有一定的积极作用。

[参 考 文 献]

[1] 关文彬, 谢春华, 孙保平, 等. 荒漠化危害预警指标体系框架研究[J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(1): 44-47.

[2] 阎平凡, 张长水. 人工神经网络与模拟进化计算[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.

[3] 高志亮. 北京典型区域森林生态系统健康评价与预警研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.

[4] 黄家荣, 高光芹, 孟宪宇, 等. 基于人工神经网络的林分直径分布预测[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(3): 21-26.

[5] 鲁绍伟, 刘凤芹, 余新晓, 等. 北京市八达岭林场森林生态系统健康性评价[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 79-81, 105.

[6] O' Laughlin J, Cook P S. Inventory-based forest health indicators: Implications for national forest management [J]. Journal of Forestry, 2003, 101(2): 11-17.

[7] 陈治谏, 陈国阶. 环境影响评价的预警系统研究[J]. 环境科学, 1992, 13(4): 20-26.

[8] 王兵, 郭浩, 王燕, 等. 森林生态系统健康评估研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(3): 114-120.

[9] Paul A M. Managing for forest health[J]. Journal of Forestry, 2002, 100(7): 24-27.

[10] Hubert H, Dieter M, Martin W. Estimating tree mortality of Norway spruce stands with neural networks [J]. Advances in Environmental Research, 2001, 5(4): 405-414.

[11] 陆元昌. 森林健康状态监测技术体系综述[J]. 世界林业研究, 2003, 16(1): 20-25.

[12] 肖风劲, 欧阳华, 傅伯杰, 等. 森林生态系统健康评价指标及其在中国的应用[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 803-809.

[13] Bharadwaj S P, Subramanian S, Manda S, et al. Bamboo livelihood development planning, monitoring and analysis through GIS and remote sensing[J]. Journal of Bamboo and Rattan, 2003, 2(4): 453-461.

[14] USDA Forest Service. Healthy Forests Report[R/OL]. (2005-12-02)[20060719]. USDA Forest Service.

[15] O' Laughlin J, Cook P S. Inventory-based forest health indicators: Implications for national forest management[J]. Journal of Forestry, 2003, 101(2): 11-17.

[16] 鲁绍伟, 陈吉虎, 余新晓, 等. 北京市八达岭林场森林健康经营研究[J]. 水土保持通报, 2007, 27(3): 127-131.