

# 利用遥感技术建立干旱半干旱地区草地生态健康模型

陈正华<sup>1,2</sup>, 王 建<sup>2</sup>

(1. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院  
寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 由于全球气候变化以及人类活动对区域环境的破坏, 生态系统环境正在发生变化, 进而影响可持续发展。因此对生态系统健康与否的诊断变得非常必要。在中国西北地区, 随着沙漠化、水土流失、沙尘暴频发, 生态系统和生态环境非常脆弱。研究以甘肃省山丹县作为干旱半干旱典型研究区, 选择压力、活力、反弹力作为生态系统健康模型的3个诊断指标, 建立干旱半干旱地区生态系统健康模型。其中压力利用实际载畜量的计算得到; 活力由1.1 km分辨率年内最大化NDVI获得; 反弹力利用每个栅格的多年NDVI变化能力获得。结果表明: 山丹县草地近年来生态健康的状况总体显著下降, 1990年所有栅格的平均健康值为0.057 2, 而到了1999年下降为0.032 2, 下降幅度达到43.7%; 在山丹县内, 生态健康的值相对较高的是山丹军马场草场, 这里的植被是覆盖度高, 且大面积连成一片; 少量的最高值出现在最南部的高中覆盖度草地, 它的周围是灌木丛; 山丹县其它地方草地是生态健康值很小的, 分布在整个县的北部绝大部分。

**关键词:** 生态系统健康; 模型; 诊断指标; NDVI

**中图分类号:** TP 79    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1004-0323(2005)06-0558-05

## 1 引言

生态系统所提供的服务是人类生存和发展的基础, 而生态系统健康是保证生态系统服务功能正常发挥的前提。由于全球气候变化以及人类活动对区域环境的破坏, 很多地区的生态环境正在恶化, 从而导致人类生存状况变得很差。因此诊断区域的生态系统健康状况变得非常必要。中国西北地区沙漠化、水土流失严重, 沙尘暴近年来频发, 是生态环境极其脆弱地带。这里的任何变化更加值得科研人员关注。

生态系统提供气候调节、物种栖息地、休闲娱乐等多种服务, 提供对人类生存和发展起重要作用的福利<sup>[1]</sup>。随着人类物质生活水平的提高, 向自然索取和利用自然生产自身需求的能力越来越高, 地球的面貌就逐渐成为人类意志作用的表现。大量的科学研究成果和事实表明: 很多以人类为主导的生态系统, 包括在区域的和全球水平的多种生物物理系统,

已经处于极度压力和功能困难之下<sup>[2]</sup>。近半个世纪以来, 人类同时认识到生态保护和生态恢复的紧要性, 然而所有的生态重建都必须建立在生态系统健康诊断的基础之上。虽然已经形成很多关于生态系统的健康观念和理论方法, 但由于生态系统本身的复杂性, 寻找合适的生态指数来测量生态系统健康不是一件容易的事情<sup>[3]</sup>。很多研究人员提出生态健康的不同定义和不同的生态健康指数<sup>[4~11]</sup>。从80~90年代初期, 主要通过特殊物种或者组分所确定的指数测量来确定生态系统健康, 也就是说不同的指数只覆盖其侧重的部分。这之后出现综合的指数, 1992年, Costanza<sup>[7]</sup>等提出一个总体的生态系统健康指数  $HI = V \times O \times R$ , 其中  $V$  表示系统活力, 它是系统活力性的主要测量, 新陈代谢, 或者第一性生产力;  $O$  表示系统组织指数, 包括多样性和连通性;  $R$  表示反弹力。1995年 Jorgensen<sup>[10]</sup>提出发射能量、机构发射能量、生态缓冲能力作为指数来测量生态系

收稿日期: 2005-05-22; 修订日期: 2005-10-11

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)课题(2002AA133062), 中国科学院西部之光项目(2002407)。

作者简介: 陈正华(1980-), 女, 硕士研究生, 主要从事遥感和地理信息系统应用研究。

统健康,这三方面能够综合 Costanza 指数的定义和 3 个组分。

科学家们展开对各种生态系统的健康评价。Kay 和 Schneider<sup>[12]</sup>评估 Crystal River 的生态健康状况,采用的指标有输入、输出生物量,呼吸量,周期,联系,Finn 循环指数,优势性。Xu<sup>[13,14]</sup>运用多样性指数,营养状况指数,放射本能(Exergy),结构放射本能(Structural exergy),浮游植物缓冲能力作为指标评估中国的出现富营养现象的巢湖。陆凡<sup>[15]</sup>等利用 Costanza 提出的指标,修改为三者乘积的开方,评价沙坡头地区人工林生态系统健康。

本研究从宏观、空间的角度来探讨区域的生态健康问题,利用遥感资料、统计年鉴资料,采用遥感和地理信息系统技术建立基于空间格网的区域生态系统健康诊断模型,每个栅格的生态健康值由压力、活力、反弹力 3 个指标的乘积来确定。

2 研究方法

2.1 研究区概况

山丹县属于甘肃省张掖市,地处河西走廊中部,东邻永昌,南接青海祁连县、北靠内蒙古阿拉善右旗,100. 6°~101. 7°E, 37. 9°~39. 1°N,南北长 148 km,东西宽 89 km,总面积 5 402 km<sup>2</sup>。海拔 1 550~4 441 m,地势三面环山,东南高,西北低,是一个半农半牧县。年平均气温 5. 8℃,一月份平均气温为-11. 1℃,七月份平均为 20. 3℃,无霜期平均为 138 d,日照平均为 2 993 h,年降水量 197 mm,蒸发量为 2 246 mm。

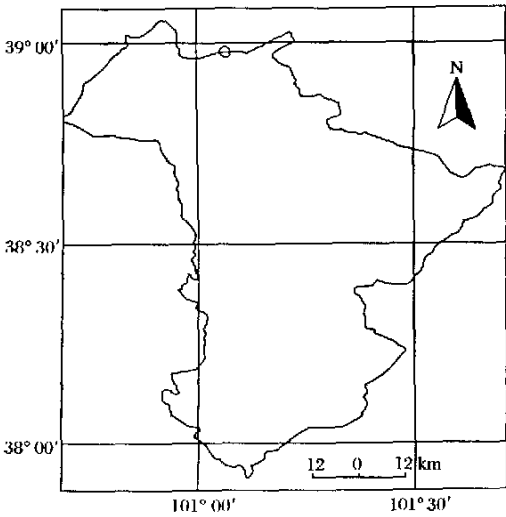


图 1 山丹县的地理位置示意图

2.2 数据源

甘肃省 1: 50 万草地类型分布图。山丹县 1: 10 万由 TM 影像人工解译的草地分布图。1: 10 万 1990 年和 2000 年两期的山丹县土地利用/覆盖图。通过查阅《甘肃年鉴》获取山丹县 1990~2003 年实际每年的载畜量,以及甘肃省草原总站发布的省内各种草地理论载蓄能力<sup>[16]</sup>。1990,1992,1994,1996,1999 年来源于 NOAA/AVHRR,每年 7 月份和 8 月份合成的最大化 NDVI,分辨率是 1. 1 km。

2.3 模型建立

在对以往研究成果的总结和分析之后,本研究部分借鉴 Costanza 所提出的活力和反弹力概念,并加入人类压力指标,利用遥感和地理信息系统技术,建立基于空间格网的干旱半干旱地区生态健康评估模型。压力是人类活动对自然状况所产生的不良影响;活力是指活跃性 新陈代谢或者初级生产力;反弹力指存在外界环境变化的情况下,草地生长状况能够随之变化的幅度范围。

$$HI_{(i,j)}=P\times V_{(i,j)}\times R_{(i,j)}\tag{1}$$

其中:HI<sub>(i,j)</sub>表示(i,j)栅格的生态健康数值,P 表示压力,V<sub>(i,j)</sub>表示栅格中植被的活力,R<sub>(i,j)</sub>表示反弹力。

2.3.1 压力计算

根据甘肃省草地类型图,利用 GIS 工具统计出山丹县所具有的草地类型及其面积,以及甘肃省草原总站发布的省内各种草地平均载蓄能力,计算出山丹县草地总共的理论载畜量,如表 1 所示。通过查阅《甘肃年鉴》,获取山丹县多年来的实际载畜量,如表 2 所示。近年来,牧民实际养羊数呈现逐年增加的趋势,在 1994 年之前实际载畜量没有超过理论载畜量,而之后超过理论载畜量,说明畜牧业对草场资源的利用已经超过草场的承受能力,对环境的压力越来越大。虽然该地区也在推行人工种植饲草,但是逐年增加的饲草需求量仍然使得草场资源不断退化和沙化<sup>[17]</sup>。

表 1 山丹县具有的草地类型和理论载蓄能力

草地类型	草地面积(hm <sup>2</sup> )	单位载蓄能力 (羊单位/hm <sup>2</sup> )	载畜量 (羊单位)
温性草原类	197 222. 9	0. 66	130 167
温性荒漠类	184 642. 2	0. 25	46 161
高寒草原类	3 207. 285	0. 42	1 347
高山草甸类	93 690. 9	1. 49	139 599
合计			317 274

表 2 山丹县多年实际载畜量

年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003
实际羊数 Gn(万只)	24.79	28.01	20.43	24.67	28.46	32.69	35.03	36.84	32.75	35.67	38.86	41.9	48.98

压力计算如式(2)所示:

$$P_n=1-\frac{G_n-20.43}{48.98-20.43}$$
 (2)

其中: $P_n$ 表示第  $n$  年土地所承受的压力, $G_n$ 表示第  $n$  年实际载畜量。

2.3.2 活力计算

活力是系统活力性能的主要测量,表示新陈代谢的能力或者初级生产力。植物反射光谱曲线在  $0.60\sim0.70\text{ }\mu\text{m}$  波谱段中,植物的反射光谱曲线因为叶绿素对这部分光的强烈吸收而呈波谷形态,之后植物的反射率随波长的增加而急剧升高;在  $0.70\sim0.75\text{ }\mu\text{m}$  波段,植物的反射光谱曲线具有陡而接近于直线的形态,其斜率与单位叶绿素的含量有关。 $0.75\sim1.3\text{ }\mu\text{m}$  波段,植物的光谱反射率具有波状起伏的形态和高的反射率。NOAA/AVHRR 的红波段和近红波段范围分别为  $0.58\sim0.68\text{ }\mu\text{m}$  和  $0.72\sim1.0\text{ }\mu\text{m}$ 。植被指数通常是通过红光和近红外部分光谱的比率或者线性组合,表示的无量纲的辐射测量。植被指数测量的明确含义并不十分清楚,但是它们确实能够表征绿色植被的相对生长和活力,是植被多种生物物理参数的诊断指标<sup>[18]</sup>。NDVI 作为不同波段直接通过比率获取指数的一种方式,能够部分消除辐射变化状况影响<sup>[19]</sup>。因此,利用 NOAA/AVHRR 的  $1.1\text{ km}$  NDVI 数据,可以迅速大范围定量表示地面上草地活力状况。

2.3.3 反弹力计算

反弹力指存在外界环境变化的情况下,草地生长状况能够随之变化的幅度范围。草地由于自然环境和人类活动影响的变化,会以出现不同的 NDVI 来反馈这些变化。在本研究中针对每个格网,利用计算 1990,1992,1994,1996,1999 多年最大值与最小值差值的方法来确定反弹力,如式(3)。

$$R_{i,j}=\max\{NDVI_{(i,j,n)}\}-\min\{NDVI_{(i,j,n)}\}$$
 (3)

表 3 山丹县 1990 年和 1999 年各段生态健康值栅格数目表

健康值	0~0.05	0.05~0.1	0.1~0.15	0.15~0.2	0.2~0.25	0.25~0.3	0.3~0.35	0.35~0.4	0.4~0.45	
年份	1990	546	401	47	30	7	0	1	0	1
	1999	909	103	20	1	0	0	0	0	0

生态健康值很小的,占整个县的北部绝大部分。

(3) 健康状况下降的主要原因是过度放牧,非  
万方数据

$R_{a,p}$ 表示草地反弹能力, $n$ 表示参与计算的年份。

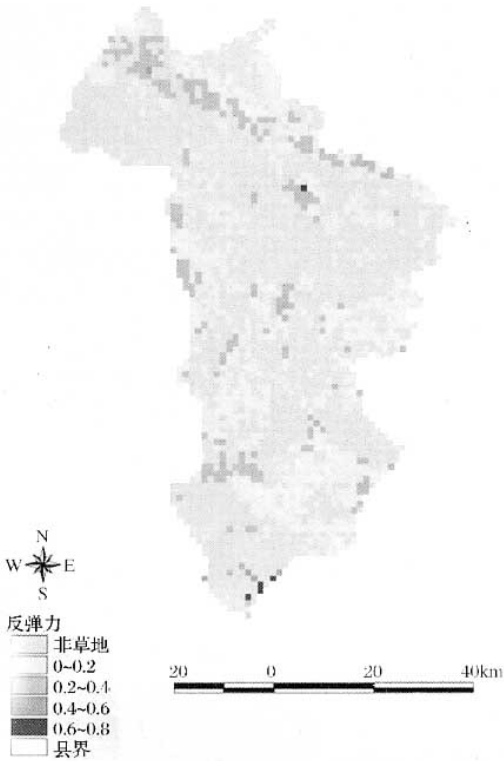


图 2 山丹县植被反弹力图

3 研究结果及分析

(1) 总体来说,从 1990 年到 1999 年山丹县的整体生态健康水平有大幅度的下降。1990 年所有栅格的平均健康值为  $0.0572$ ,而到了 1999 年下降为  $0.0322$ ,下降幅度达到  $43.7\%$ 。见表 3 和图 3 所示。

(2) 在山丹县内,生态健康的值相对较高的是山丹军马场草场,这里的植被是覆盖度高,且大面积连成一片;少量的最高值出现在最南部的高中覆盖度草地,它的周围是灌木丛;山丹县的大部分草地是

可持续性的利用草地资源,畜牧业生产总体呈现逐年持续上升趋势,从 1995 年之后,每年实际载畜量

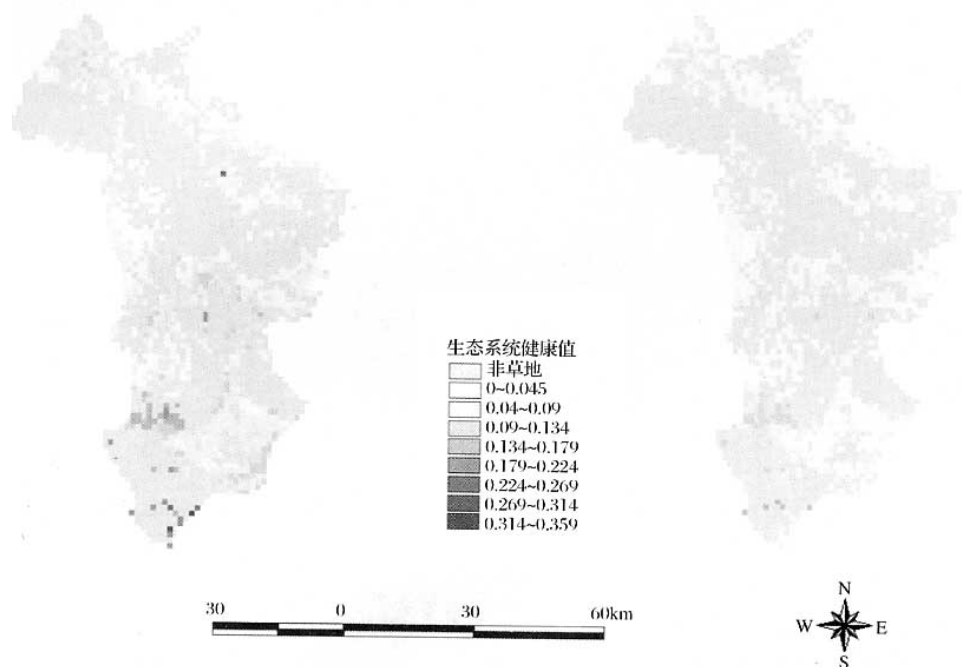


图3 山丹县1990年(左图)和1999年(右图)生态健康值图

都超过理论载畜量,虽然推行人工草地的栽种和圈养,但是为了追求经济利益和管理制度法规的不完善,超载对草地生态状况的负面影响越来越严重,全县总体植被健康状况下降。

#### 4 结 语

(1) 本文建立的针对干旱半干旱地区草地生态系统健康评估模型,是在传统生态系统健康研究的基础上结合遥感与地理信息系统技术,实现对草地大面积、空间格网的分析和研究,以及实时的监测。

(2) 生态学所描述的健康分级与遥感定量研究还不能很好的结合,没有对草地生态系统生态健康状况分级,只能在一个研究区域内部比较健康状况的相对好坏。

(3) 将遥感科学引入生态健康这个新兴的领域中,首先存在研究尺度和观测对象与传统生态学有差异的问题。传统生态健康学主要针对单一生境做细致的物理化学测量研究,而遥感主要是通过从航天航空获取的大范围影像来反演相应的参数。遥感反演的数值需要有长期地面实测数据的验证和支持而,提高反演的准确性和可用性。

#### 参考文献:

- [1] Costanza R. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital[J]. *Nature*, 1997, 387: 253~260.
- [2] Vitousek P M. Human Domination of Earth's Ecosystems[J]. *Science*, 1997, 277: 494~499.
- [3] Xu F L, Jørgensen S E, Shu T. Ecological Indicators for Assessing Freshwater Ecosystem Health [J]. *Ecological Model*, 1999, 116: 77~106.
- [4] Karr J R, Fausch K D, Angermeier P L, *et al.* Assessing Biological Integrity in Running Waters: A Method and Its Rationale[R]. Champaign: Illinois Natural History Survey, Special Publication 5, 1986.
- [5] Rapport D J. What Constitutes Ecosystem Health Perspect [J]. *Bio Med*, 1989, 33: 120~132.
- [6] Norton B G. Ecosystem Health and Sustainable Resource Management [A]. Costanza R. *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability* [C]. Columbia University Press, New York, 1991.
- [7] Costanza R. Toward an Operational Definition of Ecosystem Health [A]. Costanza R, Norton B G, Haskell B D. *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management* [C]. Island Press, Washington DC, Covelo, 1992. 239~256.
- [8] Ulanowicz R E. Ecosystem Health and Trophic Flow Networks [A]. Costanza R, Norton G, Haskell B D. *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management* [C]. Island Press, Washington DC, Covelo, 1992. 190~206.
- [9] Hannon B. Ecosystem Flow Analysis; *Can. Bull. Fish. Aquat* [J]. *Science*, 1985, 213: 97~118.
- [10] Jorgensen S E. The Application of Ecological Indicators to Assess the Ecological Condition of a Lake [J]. *Lakes Reservoirs: Res. Manage.*, 1995, 1: 177~182.
- [11] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. Assessing

- Ecosystem Health [J]. Trends in Ecology & Evolution, 1998, 13(10):397~402.
- [12] Kay J J, Schneider E D. Thermodynamics and Measurements of Ecosystem Integrity [A]. McKenzie D. Ecological Indicators[C]. Elsevier, Amsterdam, 1991. 159~182.
- [13] Xu F L. Ecosystem Health Assessment of Lake Chao, a Shallow Eutrophic Chinese Lake[J]. Lakes Reservoirs; Res. Manage, 1996, 2:101~109.
- [14] Xu F L. Exergy and Structural Exergy as Ecological Indicators for the Development State of the Lake Chao Ecosystem [J]. Ecol. Model, 1997, 99: 41~49.
- [15] Fan Lu, Zizhen Li. A Model of Ecosystem Health and Its Application[J]. Ecological Modeling, 2003, 170:55~59.
- [16] 甘肃省草原总站. 甘肃草地资源[M]. 甘肃:甘肃科学技术出版社, 1998.
- [17] Wang Jian, Jiao Yuanme, Wang Lihong, *et al.* Source Dynamic Monitoring of Grassland Degradation with Remote Sensing and the Strategy of Ecological Restoration in Shandan County of Heihe Basin [J]. The International Society for Optical Engineering, 2003, 4890: 657~664.
- [18] Huete A R, Justice C, Liu H. Development of Vegetation and Soil Indices for MODIS-EOS [J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 49:224~234.
- [19] Tucker C J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation[J]. Remote Sensing of Environment, 1979, 8:127~150.

## Establishing A Ecosystem Health Model in Arid and Semi-arid Area by Using Remote Sensing Data

CHEN Zheng-hua<sup>1,2</sup>, WANG Jian<sup>2</sup>

(1. Resource and Environment Institute, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Because of the global climatic variations and the anthropogenic destructive influence on local environment, the ecosystem is altering, even affect sustainable development. It is very important to diagnose whether the ecosystem is healthy. In Northwest of China, the ecosystem and ecological environment are brittle as the desertification, soil erosion seriously, and sandstorm break out in high frequency. In this paper, Shandan County in Gansu Province was selected as a typical study region in arid and semi-arid areas. The pressure, vigor and resilience were selected as three indicators for modeling ecosystem health diagnoses. The pressure was derived from actual livestock; the vigor is represented by annual max NDVI in each grid and the resilience is range between NDVI max and min. The results show that the ecosystem health in Shandan County degraded remarkably, mean health index of all grids was 0.057 2 in 1990, while 0.032 2 in 1999, declining 43.7%; During each year in Shandan County, relative high values of ecosystem health exist at military horse farm, where the high overlay grassland is dominating; A few highest values exist at southernmost medium and high overlay grassland, surrounded by shrubs; The value of grass in other place is low, occur at most part of northern Shandan County.

**Key words:** Ecosystem health, Model, Diagnostic indicator, NDVI