

模糊综合评判在土地生态系统健康评价中的应用

张继权, 邹桃红, 路兴昌, 伊坤朋, 佟志军, 刘兴朋

东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024

摘要 土地利用是人地关系中最基本的一环, 人类对自然界最直接的作用就是改变土地利用的方式, 然而, 土地利用方式的改变无疑会对土地生态系统产生一定的影响, 如土壤有机质含量的减少, 植被覆盖度的变化等。本文利用 landsat TM 影像资料, 以白山市的八道江区为研究区域, 在格网 GIS 技术的支持下, 利用模糊综合评判方法, 对不同土地利用方式下的土地生态系统进行健康评价, 以土地生态系统的生态效益、社会效益和经济效益为标准, 将土地生态系统的健康状况分为 5 级。结果表明, 林地生态系统的健康状况最好, 草地次之, 耕地生态系统的健康状况一般, 建筑用地的生态系统健康状况最差。这一研究结果可为今后八道江区的土地利用提供一定的理论依据, 以减少土地利用过程中的不当措施, 从而更加有效地利用土地, 实现土地的可持续利用。

关键词 土地生态系统; 健康评价; 格网 GIS; 模糊综合评判; 八道江区

中图分类号 X171

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.19.004

Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation to Health Assessment of Land Ecosystem

ZHANG Jiquan, ZOU Taohong, LU Xingchang, YI Kunpeng, TONG Zhijun, LIU Xingpeng

College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

Abstract The land use is a basic issue in the relationship between human and land, and the most direct activity of human with respect to nature is related with the manner of land use; the different types of land use will undoubtedly have different impact on the land eco-system, such as the reduction of the soil organic content, the change of vegetation coverage. In this paper, using the Landsat TM image and the related statistical data, based on the GIS technology and the fuzzy comprehensive evaluation method, the health analysis is made for each land eco-system under different land use types in Badaojiang area in Baishan city. In view of the ecological benefits, the social benefits and the economic benefits of the land eco-system, the states of health stations of the land eco-system are divided into five grades: best, fairly good, general, bad, and worst. And the results show that, the health state of the forest system is the best, then comes the grassland system, the health state of the cultivated land is general, and the health state of the building land is the worst. These results can provide a reference for the future land use in the Badaojiang area, to avoid improper measures in the land use process, for the most efficient land use, and the sustainable use of land.

Keywords land ecosystem; health assessment; grid GIS; fuzzy comprehensive evaluation; Badaojiang area

0 引言

健康一词最早出现在医学领域, 用来描述人体生理和心理的一种状态。随着生态环境的不断恶化, 越来越多的环境问题随之产生, 健康的概念又外延到了生态环境^[1-3]。1788 年

苏格兰医学家和地理学家哈顿首先提出了健康与生态系统的关系^[4], 认为地球是一个可以自我调节的有机体。土地不仅是自然界重要的自然资源, 同时也是一个具有调节气候、涵养水源的生态系统, 为人们的生存提供了必不可少的物质生

收稿日期: 2011-04-14; 修回日期: 2011-05-25

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 前期专项 (2009CB426305); 高等学校博士学科点专项科研基金项目 (20090043110003); 公益性行业 (农业) 科研专项 (200903041); “十一五”国家科技支撑重大项目 (2008BAJ08B14)

作者简介: 张继权 (中国科协所属全国学会个人会员登记号: S300000729M), 教授, 研究方向为自然灾害风险, 电子邮箱: zhangjq022@nenu.edu.cn

活资料。土地生态系统健康是指土地自身发展的一种状态,在外界对土地产生不良冲击下能够保持自我组织结构功能的正常,并且不对其他系统产生影响,使土地与人之间、与生物之间、与外界环境之间的共生过程得到持续的发展。

在社会经济发展的过程中,由于片面追求经济价值而放弃生态价值的例子比比皆是,如毁林开荒、填湖造田、乱砍滥伐等。但近几十年来,在政府部门的号召下,以及几次大的自然灾害的发生,人们的生态意识不断加强。长白山地区的生态系统在中国北方的生态环境保护中具有重要的作用,但是,近几十年来由于人类活动和全球气候变化的影响,使该地区的土地利用/覆被类型发生了剧烈的变化,尤其以中低山区域的城市化、旅游等影响最大,使该地区面临着许多重大的生态问题,如森林资源化、物种多样性降低、火山活动等。因此,在这样一个具有生态敏感的地区进行土地生态系统化的健康评价,具有极其重要的社会、经济和生态价值。

1 研究区域概况

八道江区位于吉林省东南部,长白山脚下,浑江上游,是白山市政府所在地,行政面积 1380.9km²,总人口 33.7 万。地理位置北纬 41°30′—42°04′,东经 126°07′—126°41′之间,地貌类型以山地、坡地为主,生态系统的矿质营养和灰分元素相当大的一部分累积于地层的表层,土层较薄,容易受雨水冲刷;八道江区地处中纬内陆山区,属中温带大陆性东亚季风气候,春季干旱多大风,气温变化剧烈,夏季湿热多雨,雨水多集中在 6—8 月之间,局地性强^[9]。

八道江区正在实施工业强区的战略,加快产业结构调整的步伐,使工业生产大幅增长,经济效益快速提高。该区自然资源极其丰富,森林面积超过 2 万 hm²,野生动植物资源丰富,矿产资源等也很丰富,其开发的综合潜力大,但近几年为了极大地追求经济发展而忽略了生态环境的保护,使该区的土地生态系统面临着极大的挑战。

2 研究方法

本研究主要采用遥感与 GIS 技术相结合的分析方法,采用遥感技术中的人机交互式解译获取八道江区的土地利用状况,采用格网 GIS 方法将研究区划分成一个个格网,打破了传统的以行政单元为研究尺度的固有模式,实现格网单元上的土地生态系统健康评价,在具体评价上发挥了模糊综合评判的优势。

模糊综合评判是一种运用模糊变换原理分析和评价模糊系统的方法^[6-7],在处理各种难以用精确数学方法描述的复杂系统问题方面表现出了独特的优越性。模糊数学用隶属度刻画元素对集合属于的程度,将经典集合的二值逻辑(0,1)扩展为[0,1]区间内的连续值逻辑,为描述和反应各种模糊事物和现象提供了有效手段。

模糊综合评判的主要步骤:

(1) 确定评价指标集合 $U, U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 其中 $u_1, u_2,$

$\dots, u_n$ 为被评对象的各个评价指标的值。

(2) 根据评价决策的需要,将评价等级划分为好、较好、一般、较差、差 5 个等级。确定评价等级集合 V , 设 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 其中 $v_1, v_2, \dots, v_n$ 为各个评价等级。

(3) 确定模糊关系矩阵 R , 根据隶属度函数确定每个指标对评价等级的隶属度,得到 V 上的模糊集合关系矩阵 R 为

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

(4) 确定评价指标的权重向量 A , 用层次分析法得到各个指标所对应的权重分别为 $a_1, a_2, \dots, a_n$, 则 $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。

(5) 对评价对象进行综合评价, 设 $B=A \times R$ 。其中 B 为评价对象的综合评价, A 为各个评价指标的权重, R 为评价指标对各个评价等级的隶属度。根据得到的 B 与各评价等级的临界值进行比较, 即可得出该评价对象的等级。

3 八道江区土地利用状况

将 2000 年八道江区的 landsat TM 遥感影像进行坐标配准、投影校正等处理, 在 ENVI 软件中通过人工目视解译与遥感非监督分类相结合, 按土地利用类型分为如表 1 所示几类。

表 1 土地利用类型分类
Table 1 Classification of land use type

土地类型	说明
林地	包含天然林地和人工林地
草地	指生长草本植物的土地
耕地	指种植农作物的地, 包括水浇地和旱地
水体	包括水库、河流及沟渠
建设用地	包括居民地和道路
未利用地	主要指现阶段还未利用或难利用的土地

以 432 假彩色合成为遥感影像解译的颜色模型, 其中红色为植被覆盖地, 蓝色为建筑用地, 黑色为水体, 通过纹理、排列形状等来区分植被覆盖地为林地、草地和耕地。得到的八道江区土地利用状况如图 1 和图 2 所示。

根据两期的遥感影像解译结果及实际的调查研究, 结果发现, 1990—2000 年间, 白山市八道江区的土地利用类型发生了一些变化: 因为人口和经济的发展, 建设用地面积及耕地面积有一定幅度的增长, 相反, 由于资源拉动经济的增长, 森林面积有所减少, 这一土地利用类型之间的转化, 可能会对整个八道江地区的生态系统健康产生一定影响。

4 评价指标的选择与模型的建立

4.1 指标体系的建立

健康状态既包含使土地生态系统正常的自身发展的内在目标^[8], 还要看土地系统对人类是否健康, 即土地生态系统

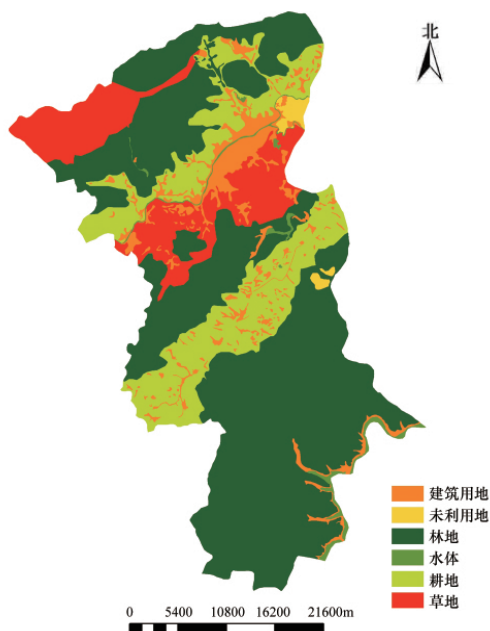


图 1 1990 年八道江区土地利用状况

Fig. 1 Land use state in Badaojiang area in 1990

的生态效益、社会效益和经济效益是否满足人类的需要。不同的评价指标只能单独评价土地生态系统健康的不同方面,但是任何系统都不是孤立存在的,如果要及时准确地掌握土地生态系统的健康状况,就必须同时选取多个指标,从不同方面对土地系统进行评价^[9-11]。因此在选取评价指标时应遵循以下原则。

(1) 全面性原则。土地生态系统既受自然因素的影响,同时也受人类活动的影响,因此,在建立土地健康评价的指标体系时,应该同时顾及社会、经济和自然 3 个方面,要有较强的全面性。

(2) 代表性原则。土地生态系统健康的动态变化是一个复杂过程,与其相关的因素也有很多,各种因素对土地生态系统的影响都不一样。因此,在确定指标的时候,应该选择那些具有主导作用的,代表性较强的变量进行土地健康评价。

(3) 实用性原则。评价指标必须是人们容易观测的,数据容易获得的,并能通过具体的数据来刻画。

目前,生态系统健康评价的指标体系多遵从 Costanza 提出的生态系统的活力、组织结构和恢复力模型^[12]。

$$HI=E \cdot O \cdot S$$

其中, HI 代表生态系统的健康指数, E 表示系统的活力指标, O 为组织结构指标, S 为恢复力指标。

本文结合土地生态系统自身的特点,考虑到土地是一种不可再生资源,以及研究区的实际状况,在进行土地生态系统健康评价时,主要从土地生态系统的活力、土地的结构功能及可持续性 3 个方面考虑。

活力是测量系统活动、新陈代谢或初级生产力的一项重要指标,可通过生物量等指标量化。

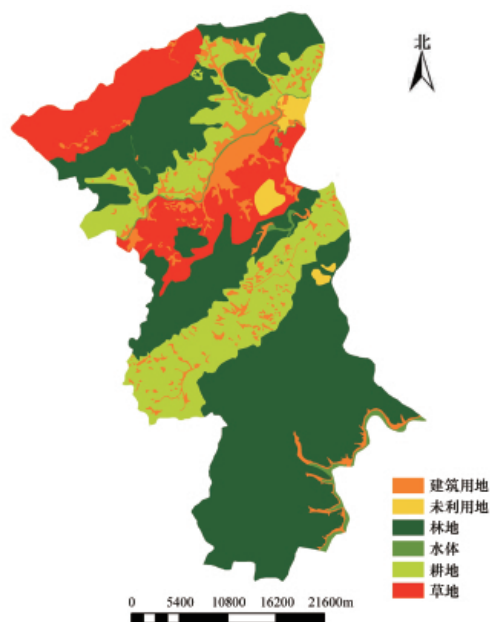


图 2 2000 年八道江区土地利用状况

Fig. 2 Land use state in Badaojiang area in 2000

组织结构指组成土地生态系统的各组成要素在空间上的组织形式,可以从植被、土壤、水文、生物等方面考虑,由于局域范围的大气状况可看为一致,故可忽略大气环境状况。

土地生态系统的可持续性是指在空间和时间尺度上不仅能够维护自身结构和功能的协调而且还能持续不断地满足人类的需要,因此,可持续性指标可以从经济效益、社会效益和生态效益 3 方面考虑。具体指标体系见表 2。

表 2 土地生态系统健康的指标体系

Table 2 Health index system of the land eco-system

因子层	子因子层	权重
活力指标 (0.6435)	可用水量	0.1290
	单位土地生产力	0.1234
	单位面积生物量	0.1510
	人均土地	0.1090
	人均水资源量	0.1311
结构指标 (0.1982)	土壤质地	0.0409
	土壤有机质	0.0303
	生物多样性指数	0.0516
	植被覆盖率	0.0486
	地下水埋深	0.0268
可持续性指标 (0.1583)	土地产投比	0.0232
	系统稳定性	0.0239
	水土保持指数	0.0301
	水环境质量指数	0.0231
	自然灾害发生率	0.0235
	生态系统服务功能	0.0345

覆盖率大,水土保持能力较强,并且生物多样性指数较大,所以该类型的土地生态系统健康。相反,建设用地的健康值最小,其原因可能是建设用地在最大程度上改变了地面景观的类型,植被的覆盖度低,不透水层增加,土壤有机质含量降低,故其生态系统的服务价值最小,生态系统的健康程度就差。

将八道江区的土地利用类型图与土地生态系统健康状况分布图叠加可得八道江区的土地生态系统健康状况的空间分布图,如图4所示。

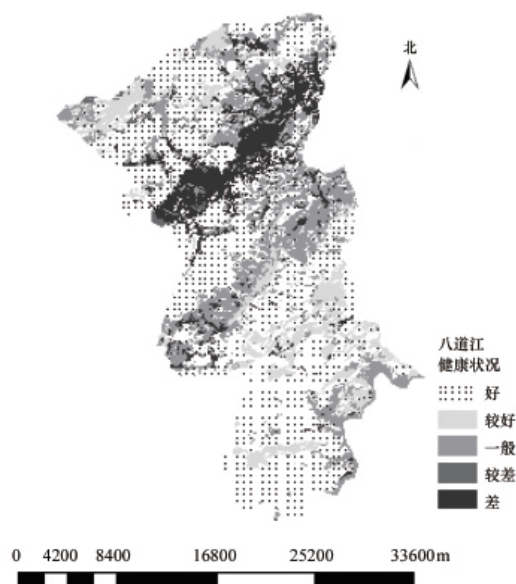


图4 八道江区的土地生态系统健康评价
Fig. 4 Health assessment of land ecosystems in Badaojiang area

八道江区土地生态系统的健康等级由东南向中部地区降低,其主要原因可能是八道江区的西南部地形起伏较大,同时也是自然灾害的多发区,导致生态系统不健康的因素多。同时由于八道江区是白山市政府所在地,近几年的城市化水平在不断提高,建筑用地、交通用地以及居住用地面积在不断扩大,使八道江区中部的土地生态系统变得比较脆弱,健康状况较差。而东南部则主要为林地及林间的草地,其活力指标、结构指标及可持续性指标都较好,所以该区的土地生态系统较健康。

5.2 基于格网尺度的健康分析

土地生态系统的健康评价具有综合性和区域性的特征,因此,为使土地生态系统的健康评价更直观,研究采用格网GIS的方法将八道江区的研究单元细化。网格的大小直接影响着生态系统健康分析的精确程度。本文在分别选取1km×1km和2km×2km的网格进行健康评价之后,发现网格大小在1km×1km时能较好地反应实际土地生态系统健康状况的分布,如图5所示。

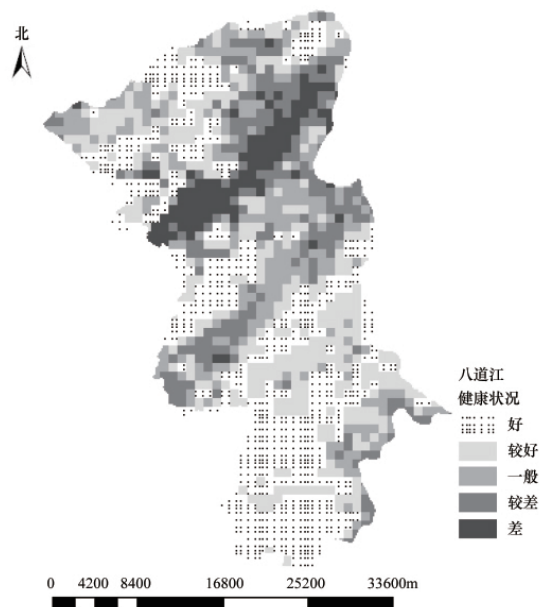


图5 基于1km格网的健康分析
Fig. 5 Health analysis based on one kilometer grid

6 结论

(1) 本文结合八道江区的实际情况,利用遥感影像解译结合实际调查研究,得出八道江区在1990—2000年10年间,林地面积在不断减少,相反,由于人口增长及社会经济的发展,建设用地面积不断加大。结合这一土地利用变化的实际,采用模糊综合评判对各种土地利用类型下的生态系统进行健康评价,结果表明,林地生态系统的健康状况比其他几种土地利用类型下的生态系统好,而建设用地生态系统的健康状况则较差。总的来说,八道江区在10年间的整体变化是,土地生态系统由健康状况好的林地生态系统转向了健康状况较差的建设用地,这一土地利用类型的变化导致了八道江区的土地生态系统健康状况不断弱化。

(2) 为了实施对长白山生态环境的保护,必须从改变土地利用方式入手,防止主体功能区内林地被破坏,减缓建筑用地的开发节奏;从保护生态环境和社会经济发展双重角度考虑未来土地的利用方式。

参考文献 (References)

- [1] Haskell B D, Norton B G, Costanza R. What is ecosystem health and why should we worry about it?[C]//Costanza R, Norton B G, Haskell B D. Ecosystem health: New goals for environment management. Washington DC: Island Press, 1992.
- [2] Rapport D J. Ecosystem health: An emerging integrative science[C]// Rapport D J, Calow P, Gauder C. Evaluating and monitoring the health of large-scale ecosystem. New York: Springer Verlag, 1995.
- [3] Pen J, Wang Y, Wu J, et al. Evaluation for regional ecosystem health: Methodology and research progress[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4877-4885.

- [4] 曾晓舵, 丁常荣, 郑习健. 生态系统健康评价及其问题 [J]. 生态环境, 2004, 13(2): 287-289.
Zeng Xiaoduo, Ding Changrong, Zheng Xijian. *Ecology and Environment*, 2004, 13(2): 287-289.
- [5] 白山市统计局. 2000 年白山市统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2000.
The Statistical Bureau of Baishan City. The statistical yearbook of Baishan city in 2000[M]. Beijing: Chinese Statistics Press, 2000.
- [6] 张继权, 张会, 佟志军. 中国北方草原火灾灾情评价及等级划分[J]. 草业学报, 2007, 16(9): 121-128.
Zhang Jiquan, Zhang Hui, Tong Zhijun. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(9): 121-128.
- [7] 王秀明, 李洪远, 孟伟庆. 基于模糊综合评价模型的天津滨海新区湿地生态系统健康评价[J]. 湿地科学与管理, 2010, 6(3): 19-23.
Wang Xiuming, Li Hongyuan, Meng Weiqing. *Wetland Science & Management*, 2010, 6(3): 19-23.
- [8] 陈美球, 刘桃菊, 黄靓. 土地生态系统健康研究的主要内容及面临的问题[J]. 生态环境, 2004, 13(11): 698-701.
Chen Meiqiu, Liu Taoju, Huang Liang. *Ecology and Environment*, 2004, 13(11): 698-701.
- [9] 陆丽珍, 詹远增, 叶艳妹, 等. 基于土地利用空间格局的区域生态系统健康评价——以舟山岛为例[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 245-252.
Lu Lizhen, Zhan Yuanzeng, Ye Yanmei, et al. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(1): 245-252.
- [10] 朱建刚, 余新晓, 甘敬, 等. 生态系统健康研究的一些基本问题探讨 [J]. 生态学杂志, 2010, 29(1): 98-105.
Zhu Jiangang, Yu Xinxiao, Gan Jing, et al. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(1): 98-105.
- [11] 肖风劲, 欧阳华. 生态系统健康及其评价指标和方法[J], 自然资源学报, 2002, 17(2): 203-209.
Xiao Fengjin, Ouyang Hua. *Journal of Natural Resource*, 2002, 17(2): 203-209.
- [12] 白志鹏, 王珺. 环境风险评价[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
Bai Zhipeng, Wang Jun. *Environment risk assessment*[M]. Beijing: High Education Press, 2009.
- [13] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 310-320.
Xu Jianhua. *Mathematical methods in modern geography* [M]. Beijing: High Education Press, 2006: 310-320.
- [14] 胡碧玉, 胡昌升, 郭郡郡. 基于熵权的川贝城市生态系统健康综合评价[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 158-162.
Hu Biyu, Hu Changsheng, Guo Junjun. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(6): 158-162.
- [15] 杨文澜, 李磊. 应用模糊数学法综合评价淮安市大气环境质量[J]. 气候与环境研究, 2009, 14(4): 451-454.
Yang Wenlan, Li Lei. *Climatic and Environmental Research*, 2009, 14(4): 451-454.
- [16] 崔帅, 郑德凤, 史延光. 基于评分法和模糊模式识别模型的大连市地下水水质评价[J]. 安全与环境学报, 2009, 9(3): 69-72.
Cui Shuai, Zheng Defeng, Shi Yanguang. *Journal of Safety and Environment*, 2009, 9(3): 69-72.
- [17] 胡丽梅. 基于 GIS 的安陆市城市生态系统健康评价研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2007.
Hu Limei. The study on urban ecosystem assessment based on GIS in Anlu city[D]. Wuhan: Huazhong Normal University, 2007.

(责任编辑 吴晓丽)

· 学术动态 ·



“第九届国际熔渣、熔剂与熔盐学术会议”征文

中国金属学会将于 2012 年 5 月在北京召开“第九届国际熔渣、熔剂与熔盐学术会议”。

征文范围: 熔渣、熔剂与熔盐的相图和热力学性质; 熔渣、熔剂与熔盐的物理性质; 钢铁和有色冶金过程中的熔渣、熔剂与熔盐研究; 熔渣、熔剂与熔盐新的应用研究; 熔池流动、泡沫渣及气泡形成和行为等的研究; 焊接过程中的熔渣和熔剂的研究; 玻璃熔体的性质及其工业应用; 耐火材料的侵蚀及耐火材料 / 金属 / 熔渣的作用; 冶金炉渣的回收和利用; 冶金过程优化, 模型与应用冶金新过程、新技术的研究、开发与应用; 冶金中的低碳技术和过程的开发和研究。

征文截止日期: 2012 年 1 月 31 日。

通信地址: 北京市海淀区学院路 30 号北京科技大学理化系(100083); 联系电话及传真: 010-62332732; 电子信箱: molten12@csm.org.cn。