

## 土地利用/覆盖变化驱动力研究\*

李月臣<sup>1,2</sup>

(1. 重庆师范大学 地理科学学院 GIS 应用研究重庆市重点实验室, 重庆 400047; 2. 重庆大学 资源与环境学院, 重庆 400044)

**摘要:**驱动力研究对解释土地利用/覆盖的时空变化起着关键作用。目前土地利用/覆盖变化驱动力研究仍然存在许多亟待解决的问题,仍然是目前土地利用/覆盖变化研究的重点和难点问题。在总结前人研究的基础上,对土地利用/覆盖变化驱动力研究的理论基础、驱动力系统特征、研究技术与方法、驱动要素辨识等内容进行系统阐述,对深入理解土地利用/覆盖变化驱动力内在和外在机制以及促进其研究的进展都具有一定意义。

**关键词:**土地利用/覆盖;驱动力;综述

**中图分类号:**F301.24

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2008)03-0116-05

## Review on the Driving Force of the Land Use/ Cover Changes

LI Yue-chen<sup>1,2</sup>

(1. College of Geography Science, Key Laboratory of GIS Application, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China; 2. College of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** The driving force system is one of the key problems to study on the land use/cover change. Now there are also many problems to solve in the study on the driving forces of land use/cover changes. The purpose of the review paper, which comprehensive exploration of the theory basis of the driving force system of land use/cover, the features of driving force system, the technologies and methods and the distinguishing of the driving force factors, is to promote the research of driving force system of land use/cover change.

**Key words:** land use/cover; driving force; review

1995 年 IGBP 和 IHDP 联合提出了“土地利用/土地覆盖变化科学研究计划”。自此,土地利用/土地覆盖变化研究进入相对系统、有序的研究阶段。作为三大核心问题之一<sup>[1]</sup>,驱动力研究对解释土地利用/覆盖的时空变化起着关键作用,同时也是建立土地利用/覆盖动态变化模型和进行定量预测的基础<sup>[2]</sup>。驱动力是指导致土地利用/覆盖式的自然和社会经济属性发生变化的主要生物物理因素和社会经济因素。一般分为自然驱动力和社会经济驱动力<sup>[3]</sup>。目前,土地利用/土地覆盖变化驱动力问题得到了广泛研究,获取了大量的研究案例,取得了阶段性研究成果,同时,人们也认识到仍然有许多亟待解决的问题。驱动力研究在过去、现在及未来相当长的一段时间内都成为 LUCC 研究的重点和难点<sup>[4]</sup>。基于此,本文对土地利用/覆盖变化驱动力研究的相关理论和方法进行系统的分析与阐述,以促进和加深对土地利用/覆盖变化内部和外在驱动机制相关理论与方法的认识和研究。

### 1 土地利用/覆盖变化驱动力研究的经济学解释

人类开发利用土地的最终动力是希望获得一定质与量

的收益。FAO 于 1993 年颁布的《可持续土地利用评价纲要》(《FELSM》)确定了 5 项土地利用可持续评价标准。其中有 4 项与土地利用/覆盖的经济产出有关,即土地生产性 (productivity)、土地利用的安全性与稳定性 (security)、经济可行性 (viability)、社会可接受性 (acceptability)。根据微观经济学的平衡理论,在完全竞争以及经济和技术稳定的条件下,随着土地利用/覆盖系统的发展和演化,其边际利益 (MB) 会逐渐降低;而边际成本 (MC) 则逐渐增加 (图 1)。曲线 MB 和 MC 下的斜线面积分别代表土地利用/覆盖系统的总利益和总成本, E 点为土地利用/覆盖系统能够获取的最大利益点。为了实现保护有限土地资源并获取最大利益,尤其是当土地利用目标与土地的适宜性相矛盾时土地利用/覆盖就会发生变化<sup>[5]</sup>。这种变化包括单一类型和多种类型变化,其中后者强调寻找区域土地利用/覆盖的最优空间格局。重要的问题是如何寻找合适的标准来分析这些土地利用/覆盖类型是否发生变化。在市场定位的经济环境条件下,评价土地利用/覆盖类型变化 (LTC) 的标准可以表达<sup>[6]</sup>:

$$LTC = EB_i / EB_j \quad (1)$$

\* 收稿日期:2007-09-26

基金项目:重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJ070811);重庆师范大学博士科研启动基金项目(06XLB004)

作者简介:李月臣(1974-),男,山东德州人,副教授,博士后,主要从事资源环境遥感与 GIS 研究。E-mail:liyuechen@cqnu.edu.cn

式中:  $EB_i$  和  $EB_j$  ——土地利用/覆盖类型  $i$  和  $j$  的经济利益。如果  $LTC > 1$ , 土地利用/覆盖类型  $j$  就会变化为类型  $i$  以获得更多的经济利益。尽管经济因子是土地利用/覆盖变化十分重要的驱动力, 但是单纯从经济学角度是无法完全反映土地利用/覆盖变化的驱动机制, 因此, 需要从各个角度去全面分析以便能最为准确地探查各种尺度土地利用/覆盖变化的驱动力。

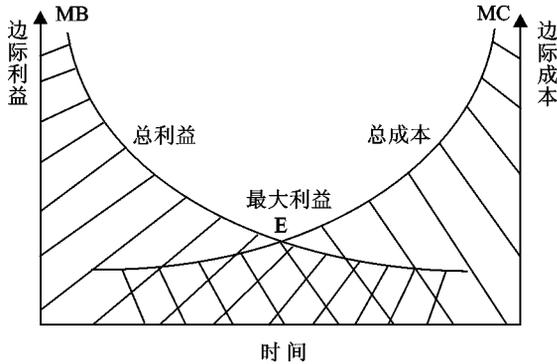


图 1 土地利用/覆盖变化驱动力的经济学解释

## 2 土地利用/覆盖变化驱动力的特征

### 2.1 驱动力系统的层次性特征

土地利用/覆盖变化的驱动力系统是由各种驱动力因子相互结合与联系组成的具有一定规则和层次的有序系统, 这就是驱动力系统的层次性, 只有搞清楚驱动力系统内在的层次性, 才能有序地把握驱动力系统。驱动力系统的层次具有多样性, 可以根据不同的需要划分系统层次<sup>[7]</sup>。根据国内外的研究成果, 按驱动力的性质可以分为自然驱动因子和人类社会经济活动驱动因子。自然驱动力作为一个子系统, 又可以分成不同的组成部分, 如气候、土壤、水文等, 每一部分还可以继续往下分; 同样, 人类社会经济驱动力作为一个子系统, 可以分为人口、技术、经济发展、生活水平等, 每一部分也可以继续往下分<sup>[8]</sup>。按尺度划分可以分为宏观尺度、区域尺度、局部尺度等<sup>[9]</sup>。驱动力系统的层次性是驱动力系统的固有特性, 至于如何划分, 以及划分的层次多少, 则是由分析问题的深度和广度决定的。

### 2.2 驱动力系统的综合性特征

土地利用/覆盖变化驱动力系统是由各种驱动力组成的具有一定新功能的有机综合体。它具有单独驱动力所不具有的性质和功能。在驱动力系统中, 每种驱动力都对土地利用/覆盖变化产生一定的影响, 但这种影响不是孤立发生的, 而是受到众多其它驱动力的制约。推动土地利用/覆盖变化的, 不是一个个驱动力的单独作用, 而是由这些驱动力的共同作用形成的合力。这种合力就是驱动力系统的综合特性, 是驱动力系统作为一个综合体存在的基础, 它不能还原为每个驱动力的单独作用。因此, 在土地利用/覆盖变化的驱动力研究中, 应从综合的角度出发, 在研究合力整体的过程中研究具体的驱动力<sup>[7]</sup>。

### 2.3 驱动力系统的尺度转换特征

土地利用/覆盖变化具有高度的时间和空间异质性。不同时空尺度上的土地利用/覆盖变化, 往往具有不同的驱动

力, 各种因素的作用存在尺度差异。时空尺度决定着土地利用/覆盖变化驱动力研究的角度及方法。驱动因子的尺度转换主要是指随着观察与研究的时空尺度的不同, 驱动因子在系统中状态与功能的转化<sup>[8]</sup>。短时间尺度上, 土地利用/覆盖系统的气候、水文等自然因素由于没有发生显著变化而未成为考虑的对象, 而长时间尺度上, 自然要素的变化则直接影响土地利用/覆盖的变化。随着时空尺度的变化, 驱动因素因子可发生性质的交替转变, 这就是驱动因素的尺度转换特征。

### 2.4 驱动力系统的动态性特征

土地利用/覆盖变化的驱动力系统是一个动态开放的系统。土地利用/覆盖之所以发生变化, 是因为驱动力的动态变化。因此, 动态地把握驱动力系统, 是揭示土地利用/覆盖变化动力的关键。驱动力系统中的各因子通过与外界物质、信息和能量的交换, 不断地获得外部动力推动着土地利用/覆盖的变化。而土地利用/覆盖变化的结果又反作用于社会经济和自然环境促使其变化。驱动力系统动态变化动力来源的另一个方面, 是其内部驱动力因子之间的相互耦合、相互作用所形成的自然约束和协调机制, 这是驱动力系统动态变化的内部动力。驱动力系统在内外动力共同作用下动态变化, 造成了土地利用/覆盖的变化。因此, 只要驱动力系统始终保持开放的动态变化状态, 就能够不断地与外界进行交流, 土地利用/覆盖就会处于动态变化之中。

## 3 土地利用/覆盖变化驱动力研究方法

由于土地利用/覆盖变化本身的不确定性和驱动因子的复杂性, 采取适当的方法对土地利用/覆盖驱动力进行研究是提高土地利用/覆盖变化研究水平, 确保研究结果准确的重要手段。针对具体问题和研究深度, 主要有定性描述和定量分析两类方式<sup>[10-11]</sup>。

### 3.1 定性及概念模型方法

定性分析是指通过对研究客体的概念、特点及其相关因素的分析对土地利用/覆盖变化的驱动力进行定性描述。早期的土地利用/覆盖变化及其驱动力的分析多采用这种方法。1977年 Ehrlich 等在定性分析的基础上提出了环境变化驱动机制的概念模型:  $I = P \cdot A \cdot T$ 。式中:  $I$  ——各驱动力对环境变化的影响;  $P$  ——人口;  $A$  ——富裕程度;  $T$  ——技术水平。后来, 一些学者<sup>[12-13]</sup>进行了完善, 提出了政治经济、结构等土地利用/覆盖变化影响因子。概念模型的提出为进一步进行定量化研究提供了一定依据。

### 3.2 统计分析方法

统计分析法主要是从土地利用/覆盖变化与所确定的影响因子数值间的统计关系来筛选主导驱动因子。根据研究问题本身的性质和算法的不同, 土地利用/覆盖变化的统计分析模型可分为以下几类:

#### 3.2.1 主成分分析方法

土地利用/覆盖变化的驱动力中包括众多的自然和人类社会经济因子。研究时由于尽可能全面考虑各种因子的影响, 从而选取了众多变量和指标。但是各指标间有时并非相互独立而是存在着复杂的关系。而且, 由于指标过多增加了

定量分析的难度。主成分分析法是多元统计分析中的一种方法,其基本思想就是在保证原始数据信息丢失最小的原则下,对高维空间进行降维处理,以少数综合变量取代原始多维变量。在此基础上,通过分析选择的主成分与各变量间的相关关系判断影响土地利用/覆盖变化的主要驱动因子。

### 3.2.2 回归分析方法

采用多元回归模型对土地利用/覆盖变化进行拟合,可分为线性和非线性模型。多元线性回归模型的一般公式为

$$Y_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

式中:  $Y_i$  ——各土地利用/覆盖类型的面积或比例;  $x_n$  ——参选驱动因子;  $a_n$  ——回归系数。由于线性回归模型计算量相对较小,作为对土地利用/覆盖变化机理的探索性研究,被国内外广泛采用。但有时变量之间的关系并不都是线性的,此时需要用曲线来拟合。确定解释变量与因变量之间为哪种曲线关系,一般从两方面考虑,一是根据专业知识和经验确定曲线的类型,另一种方法是通过观察散点图来确定。有些曲线模型可以通过对变量进行适当的变换化为线性模型,称为非线性模型;有些模型无论通过怎样的变换都不能转化为线性模型,称为纯非线性模型。纯非线性模型的一般表达式为

$$Y_i = f(X, )$$

式中:  $X$  ——驱动因子向量。回归分析方法一般适合用于在系统相对稳定的短期内(一般 10 a 左右)分析土地利用/覆盖的变化与驱动因子的相互关系<sup>[14]</sup>。

### 3.2.3 典型相关分析方法

典型相关分析被广泛认为是定量判别土地利用/覆盖变化驱动力的有力工具。其基本思想是分别在两组随机变量中选取若干有代表性的综合指标,即典型变量,并通过对这两组典型变量(自变量组和标准变量组)之间的相关关系的研究,代替对原来两组为数很多的随机变量之间的相关关系的研究。设两组变量分别为

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_m); X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

式中:  $Y$  ——由  $m$  种土地利用/覆盖类型的面积或比例组成的随机向量;  $X$  ——由  $n$  个驱动因子组成的随机向量。其过程为首先分别从  $Y$  和  $X$  中分别提出一个典型变量记为  $U, V$ 。  $U$  为  $Y$  随机向量各要素的线性组合,  $V$  为  $X$  随机向量各要素的线性组合,并且要求这种线性组合满足  $U$  与  $V$  的相关系数最大。将此过程继续进行,直至两组变量间的相关被提取完毕为止<sup>[14-15]</sup>。不同的土地利用/覆盖类型之间相互影响、相互制约,所以典型相关分析法被广泛用来研究土地利用/覆盖特征同自然-人文因素之间的关系。

### 3.3 系统动力学方法

系统动力学的本质是一阶微分方程组,描述了系统各状态变量的变化率对各状态变量或特定输入变量等的依存关系。系统动力学考虑的是整个系统的最佳目标,而不是追求单个子系统的最佳目标,并且强调大系统中各子系统的协调,因而非常适合进行诸如包括多个子系统在内的土地利用/覆盖等自然-社会经济大系统的综合研究。近年来,各国学者认识到孤立地分析个别驱动因子很难解释他们与土

地利用/覆盖变化之间的复杂关系。应该把他们看作一个完整的系统,应用系统论的观点和方法综合考察整体与部分及结构与功能的关系<sup>[7,16]</sup>。通过分析土地利用/覆盖的结构和系统内部各组成成分之间的反馈关系,建立反映土地利用/覆盖变化的系统动力学模型。该模型适用于内部各种反馈机制明确的系统模拟。因此该种模型的建立相对困难,需要对所模拟的系统具有充分的研究基础。由于土地利用/覆盖变化系统中有自然、社会、经济等多种驱动力的作用,因此,建立系统动力学模型相对困难,其在土地利用/覆盖变化研究中的应用尚处于尝试性阶段。

### 3.4 神经网络方法

神经网络(ANN)具有自学习、自组织和自适应、并行处理、容错性等功能和特点,在复杂系统的建模问题上表现出了它的优越性。它是由输入层、若干隐含层和输出层相互连接构成。神经元是神经网络的基本处理单元,若输入神经元的变化对输出神经元影响的相对误差在容许范围内,即使不考虑该输入神经元的信息也不会影响输出神经元的输出状态,则可以剔除该输入神经元。依此类推,即剔除掉影响不显著的输入神经元,从而确定影响神经元输出的主要因素<sup>[5,17]</sup>。但是,ANN方法也存在一定的缺陷,主要表现为对训练样本的要求较高,其内部机制没有办法清楚解释。目前,土地利用/覆盖变化研究中,ANN多用来进行土地利用/覆盖分类研究,进行土地利用/覆盖变化驱动力研究的应用较少,但可以预见该方法在研究土地利用/覆盖变化的驱动力,尤其是当研究时段较长或者无法有效分析各驱动因子与土地利用/覆盖变化之间明确关系时将发挥重要作用。

## 4 土地利用/覆盖变化驱动力的辨识

### 4.1 土地利用/覆盖变化宏观驱动力的辨识

土地利用/覆盖变化研究包括全球和区域 2 个层次,前者强调土地利用/覆盖变化对全球环境变化的影响,后者注重土地利用/覆盖变化对区域生态环境以及社会经济可持续发展的作用。两者都离不开土地利用/覆盖变化机制的分析<sup>[18]</sup>。在土地利用/覆盖变化机制研究中,驱动力问题一直占据着主导地位。

自然环境条件是土地利用与土地覆盖分布的基础条件,相对较为稳定,发挥着累积性效应,在某种程度上具有一定的主导作用<sup>[19]</sup>。从宏观角度分析,全球性与区域性的气候以及自然环境的演变是土地利用/覆盖变化的控制性因素。随着全球和区域气候与自然环境的演变,土地利用/覆盖赖以存在的地质、地貌、水文、土壤等自然基础条件发生改变,土地利用/覆盖作为一个有序系统必然会不断调整系统内用地的数量、类型和空间分布格局以适应外部环境的改变。实际上这种变化是一个相互的过程,二者在相互驱动、相互影响中不断发展和演化(图 2)。

社会经济驱动力则相对自然驱动力而言更为活跃。在短时间尺度上,人类的社会经济活动无疑是土地利用/覆盖变化最主要的驱动因素<sup>[11]</sup>。从宏观角度可以从土地利用者的个体行为和社会群体行为进行综合分析<sup>[1,20]</sup>:

(1) 个体行为驱动(经济福利驱动),主要有两种类型。

生存型经济福利驱动。在经济发展水平较低的地区,经济基本处于传统的自然经济状态,土地利用的目的是为了获取土地的直接物质产出,以满足人们的基本生活需要。比较经济福利驱动。在市场经济得到充分发展的地区,土地产品或服务的市场供求状况和比较效益是影响土地利用/覆盖变化的主要因素。

(2) 社会行为驱动,主要有两种类型。生态环境驱动。人类通过土地利用活动改变地表覆被状况,由此产生许多负面的环境效应,严重的环境退化迫使人们改变土地利用/覆盖类型,以恢复和保护人类生存所需的生态环境。另一方面,随着经济水平的不断提高,人们开始追求环境质量的改善,土地利用/覆盖的环境效益开始受到重视。在生态环境脆弱及其外部影响强烈的地区,这种驱动力尤其重要。粮食安全驱动。粮食是人类生存的最基本要素,土地是粮食生产的最终源泉。保证一定的农业用地和基本的食物供给,不仅关系个人的生存问题,而且直接关系着国家或集体的生存安全。因而,政府的农业和土地保护政策构成了土地利用/覆盖变化的重要影响因素。

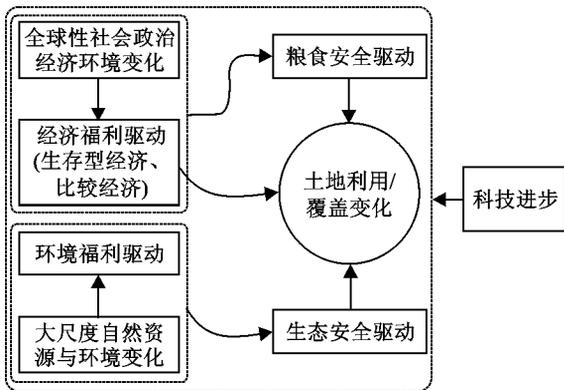


图 2 土地利用/覆盖变化驱动力宏观分析 (据李平等,2001年)

4.2 土地利用/覆盖变化微观驱动力要素的辨识

土地利用/覆盖变化的自然因素包括自然基础和外部环境条件 2 方面。自然基础对土地利用/覆盖系统的自然属性起着直接作用;外部环境条件通过影响土地利用/覆盖系统的自然属性而对其变化产生影响。然而,当用分解与综合的辩证方法审视土地利用/覆盖变化系统时,可将其自然基础要素进一步划分为土壤类型、地形与地貌类型、水气分布状况、动植物分布特征等因子,即地理学中通常界定的自然地理条件;而环境要素主要是指在研究尺度层次上环境变化部分的内容,按照变化的过程与规律可划分为趋势变化与波动变化,如全球变暖、灾害的影响等。当从研究尺度与层次上进行分析时,驱动土地利用/覆盖变化的自然因子应该是指自然因子中自然环境变化部分的因子,而自然因子的常量部分已作为土地利用/覆盖系统的物质要素直接投入其利用和改造中<sup>[8]</sup>。自然驱动因素中气候、土壤、水文等被认为是主要的驱动力类型<sup>[7]</sup>。

短时间尺度上,人类的社会经济活动是土地利用/覆盖变化最主要的驱动因素。因此,辨识人类社会经济因素的影响在土地利用/覆盖变化研究中也处于十分重要地位。关于

人类社会经济驱动力要素方面,哪些是主要的驱动力认识还未统一。Kasperson 认为人类方面的驱动力主要有:人口、技术水平、富裕程度、政治经济结构、信任与态度等;Ehrich 指出,人口、富裕程度和技术是研究人类驱动力的主要方面<sup>[21]</sup>;Turner 指出,人类驱动力应包括人口、收入、技术、政治经济状况和文化<sup>[22]</sup>。IHDP 将影响土地利用/覆盖变化的社会经济因素分为直接因素和间接因素,并指出间接因素应该包括 6 个方面:人口变化、技术发展、经济增长、政治与经济政策、富裕程度和价值取向。它们通过直接因素作用于土地利用,后者包括:对土地产品的需求、对土地的投入、城市化程度、土地利用的集约化程度、土地权属、土地利用政策以及对土地资源保护的态度等<sup>[1]</sup>。通过以上分析可以看出,无论那种论述都包含了人口、技术进步、经济、富裕程度等几个因子。因此,当进行土地利用/覆盖变化的驱动力研究时,在全面选取人类社会经济驱动因子时至少应该包括人口、经济发展、技术水平、人们生活水平等几个主要方面<sup>[10]</sup>(图 3)。

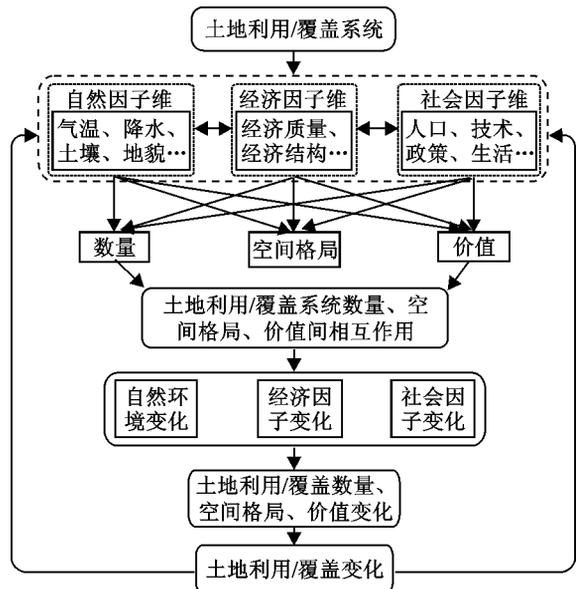


图 3 土地利用/覆盖变化驱动力辨识及相互关系 (据 Dai 等,2005年)

5 结论

驱动力分析是土地利用/覆盖变化研究的重要内容,土地利用/覆盖变化的驱动因子很多,受到社会、经济、人口、技术进步、政策以及自然因素的影响,是一个十分复杂的系统,而且具有明显的综合性和地域性特征。尽管目前,土地利用/土地覆盖变化驱动力问题得到了广泛研究,获取了大量的研究案例,取得了阶段性研究成果,但是,仍然有许多亟待解决的问题。驱动力研究在过去、现在及未来相当长的一段时间内都成为 LUCC 研究的重点和难点。因此,对土地利用/覆盖变化驱动力研究的理论基础、驱动力系统特征、研究技术与方法、驱动力因子辨识等问题进行系统的分析与阐述,对深入理解土地利用/覆盖变化驱动力内在和外在机制以及促进其研究的进展都具有一定意义。

参考文献:

[1] 李秀彬.土地利用变化的解释[J].地理科学进展,

- 2002, 21(3):95-103.
- [2] Pijanowski B, Brown D G, Shellito B A, et al. Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2002, 26(2):553-575.
- [3] 陈勇. 土地利用变化机制研究现状与展望[J]. *湖北农业科学*, 2003(2):15-17.
- [4] 李静, 赵庚星, 田素锋, 等. 论土地利用/土地覆盖变化驱动力研究[J]. *国土资源科技管理*, 2004, 21(1):22-25.
- [5] Dai E F, Wu S H, Shi W Z, et al. Modeling change-pattern-value dynamics on land use: an integrated GIS and artificial neural networks approach [J]. *Environmental Assessment*, 2005, 36(4):576-591.
- [6] Dai E F. Study on sustainable land use: systematic analysis, assessment and management approaches [D]. Beijing: Peking University, 2002.
- [7] 摆万奇, 赵士洞. 土地利用变化驱动力系统分析[J]. *资源科学*, 2001, 23(3):39-41.
- [8] 谭少华, 倪绍祥. 区域土地利用变化驱动力的成因分析[J]. *地理与地理信息科学*, 2005, 21(3):47-50.
- [9] 王静爱, 何春阳, 董艳春, 等. 北京城乡过渡区土地利用变化驱动力分析[J]. *地球科学进展*, 2002, 17(2):201-208.
- [10] 史培军, 宫鹏, 李晓兵, 等. 土地利用/覆盖变化的方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [11] Turner II B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land-use and land-cover change science/ research plan[R]. IGP Report No. 35 and HDP Report No. 7 Stockholm: GIBP, 1995.
- [12] Meyer W B, Turner II B L. Human population growth and global land-use/cover change [J]. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 1992, 23:39-61.
- [13] Stern P, Young O, Druckman D. Global environmental change: understanding the human dimensions [M]. Washington D C: National Academy Press, 1992.
- [14] 罗湘华, 倪晋仁. 土地利用/土地覆盖变化研究进展[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2000, 18(3):262-272.
- [15] 张明. 区域土地利用结果及其驱动因子的统计分析[J]. *自然资源学报*, 1999, 14(4):381-384.
- [16] 蔡运龙. 土地利用/覆被变化研究: 寻求新的综合途径[J]. *地理研究*, 2001, 20(6):645-652.
- [17] 刘旭华, 王劲峰, 刘纪远, 等. 国家尺度耕地变化驱动力的定量分析方法[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(4):56-60.
- [18] 朱会义, 李秀彬, 何书金, 等. 环渤海地区土地利用的时空变化分析[J]. *地理学报*, 2001, 56(3):253-260.
- [19] 陈佑启, Peter H V, 徐斌. 中国土地利用变化及其影响的空间建模分析[J]. *地理科学进展*, 2000, 19(2):116-127.
- [20] 李平, 李秀彬, 刘学军. 我国现阶段土地利用变化驱动力的宏观分析[J]. *地理研究*, 2001, 20(2):129-138.
- [21] Ehrlich P R, Daily G C. Population extinction and saving bio-diversity [J]. *Ambio*, 1993, 22(2/3):64-68.
- [22] Turner II B L, Clark W C, Kates R W, et al. The earth as transformed by human action. Global and regional changes in the biosphere over the past 300 years-Cambridge University Press (with Clark University). Cambridge, New York: Port Chester, Melbourne & Sydney, 1990.

(上接第 115 页)

- [3] 王庆锁, 李梦先. 我国草地退化及治理对策[J]. *中国农业气象*, 2004, 25(3):41-44.
- [4] 赵建, 朱建清. 若尔盖退化、沙化草地的治理[J]. *四川草原*, 2004(1):13-14.
- [5] 白军红. 若尔盖高原湿地景观格局时空演变过程及其对区域气候的影响[R]. 中国科学院地理科学与资源研究所博士后研究报告, 2005:111-112.
- [6] 杨永兴. 若尔盖高原生态环境恶化与沼泽退化及其形成机制[J]. *山地学报*, 1999, 17(4):318-323.
- [7] 柴岫, 郎惠卿, 金树仁, 等. 若尔盖高原的沼泽[M]. 北京: 科学出版社, 1965.
- [8] 孙广友, 张文芬, 张家驹, 等. 若尔盖高原沼泽生态环境及其合理开发的研究[J]. *自然资源学报*, 1987, 2(4):359-368.
- [9] 王阳生, 尚成林, 艾笃卿, 等. 四川若尔盖高原泥炭资源开发利用可行性研究[J]. *资源开发与保护*, 1992, 8(1):68-81.
- [10] 若尔盖县地方志编纂委员会. 若尔盖县志[M]. 北京: 民族出版社, 1996:121-314.
- [11] 红原县志编纂委员会. 红原县志[M]. 成都: 四川人民出版社, 1996.
- [12] 雍国玮, 石承苍, 邱鹏飞. 川西北高原若尔盖草地沙化及湿地萎缩动态遥感监测[J]. *山地学报*, 2003, 21(6):758-762.
- [13] 四川省统计局. 四川省统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006:74-80.
- [14] 孙广友. 沼泽湿地的形成演化[J]. *国土与自然资源研究*, 1998(4):33-35.
- [15] 沈松平. 若尔盖高原沼泽湿地萎缩退化要因初探[J]. *四川地质学报*, 2003, 23(2):123-125.
- [16] 孔屏, 那春光. 青藏高原的剥蚀与构造抬升[J]. *第四纪研究*, 2007, 27(1):1-5.
- [17] 于守兵, 李世杰, 刘吉峰. 青藏高原湖泊沉积研究及其进展[J]. *山地学报*, 2006, 24(4):480-488.