

基于 Logistic 回归模型的土地利用格局模拟分析 ——以新疆吐鲁番市为例^{*}

刘荣^{1,2}, 高敏华^{1,2}, 谢峰^{1,2}

(1. 新疆大学 绿洲生态教育部重点实验室 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046)

摘 要:土地利用/土地覆被变化(LUCC)是当前研究全球变化的重要内容,而区域土地利用格局模型模拟是LUCC研究的核心内容之一。本文采用2005年吐鲁番市土地利用现状图,将其转化为grid格式,将土地利用类型分为:耕地、园地、林地、草地、城镇用地、农村居民点用地、独立工矿用地、未利用地、其他用地。运用Logistic回归分析的方法,选择了对该地区土地利用/覆盖变化有重要贡献的12种驱动因子,在ArcView中进行空间分析,生成驱动力文件,利用SPSS 13.0的Logistic regression功能分析每种驱动力的权重(值),建立logistic回归模型,并使用ROC方法对所有回归模型的拟合优度进行了检验,采用GIS软件绘制研究区土地利用格局空间分布的经验统计概率图。ROC检验结果显示,各种土地类型的拟合度分别为:耕地0.934,园地0.915,林地0.858,草地0.793,城镇用地0.999,农村居民点用地0.929,独立工矿用地0.874,未利用地0.816,其他用地0.762。拟合度均大于0.75,拟合度较好。研究结果揭示了居民点、道路、渠系和地形分布等因素对研究地区土地利用格局形成与演变的重要决定作用,这为进一步研究吐鲁番市未来的土地利用动态变化情景奠定了基础,同时也可为该市的土地利用管理提供科学依据。

关键词:土地利用;Logistic回归模型;模拟;吐鲁番市

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)06-0074-05

Simulation and Analysis of Land Use Patterns Based on Logistic Regression Model —A Case Study of Turpan

LIU Rong^{1,2}, GAO Min-hua^{1,2}, XIE Feng^{1,2}

(1. College of Resources and Environment Science, Key Laboratory of Oasis Ecology of Education Ministry, Xinjiang, University, Urumqi 830046, China; 2. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: Land use/land cover change (LUCC) is an important content of geographical research on global change today, while spatial simulation on regional land use patterns is one of the key contents of LUCC research. Adopting the current situation picture of the land utilization of Turpan in 2005, turning it into grid form and merging pattern of the land use into: cultivated land, field, forest land, the meadow, land used for cities and towns, area of residential area of countryside, independent industrial and mining land, unutilized area, others. Using the method analyzing, it has chosen 12 kinds of drive factors that has made important contribution to land use/coverage change of this area, set up driving force file with the method ArcView space analyses, analyzed the weight (value) of each kind of driving force with logistic regression function of SPSS 13.0, set up logistic equation. ROC inspection result shows that fit degree of various kinds of land including: cultivated land is 0.934, field is 0.915, forest land is 0.858, meadow is 0.793, urban area is 0.999, area of residential area of countryside is 0.929, independent industrial and mining area is 0.874, unutilized land is 0.816, other area is 0.762, degree is greater than 0.75, degree is rather good. It is argued that these types of the analysis can provide the valuable information for modeling future land use

^{*} 收稿日期:2009-06-15

基金项目:国家自然科学基金项目(40261006);新疆维吾尔自治区高校科研计划项目(XJEDU2004106, XJEDU2005107);绿洲生态教育部重点实验室开放课题(XJDX0201-2007-03)

作者简介:刘荣(1985-),女,陕西西安人,在读硕士,主要从事遥感与土地利用研究。E-mail:lr0298@yahoo.com.cn

通信作者:高敏华(1963-),男,广东人,副教授,硕士生导师,主要从事土地资源评价及土地利用规划。E-mail:mh_gao@163.com

change scenarios that need to consider local and regional conditions of actual land use. On the other hand, the probability maps of the land use types obtained from this study can also support the local government on making land management decisions.

Key words :land use ;logistic regression models ;modeling ;Turpan

土地是人类赖以生存与发展的重要资源和物质保障,在“人口 - 资源 - 环境 - 发展(PRED)”复合系统中,土地资源处于基础地位^[1]。土地利用反映了人类与自然界相互影响与交互作用最直接和最密切的关系,人类在利用土地促进社会经济发展的同时,也引起了土地覆被的变化,并对生态环境产生了巨大的影响。面对当前日益加剧的人口 - 资源 - 环境问题,全球变化研究成为近年来国际上最为活跃的研究领域之一。因此在众多的全球变化问题中,土地利用/覆盖变化研究就显得尤为重要,为了评价土地利用/覆盖变化模型的研究进展,国际上已经建立了空间位置明确的土地利用/覆盖变化模型工作室,该工作室隶属于土地利用/覆盖变化计划(Land Use and Land Cover Change,LUCC)。LUCC计划的根本目标是促进土地利用/覆盖变化的区域理解,尤其是用模型清楚地表达出来。这一领域目前主要关注的问题是:土地利用/覆盖变化模拟的驱动力;土地利用/覆盖变化驱动力模拟的尺度依赖性;预测土地利用/覆盖的位置变化和数量变化;土地利用/覆盖变化生物物理反馈的结合^[2]。LUCC计划的根本目标是促进土地利用/覆盖变化的区域理解,尤其是用模型清楚的表达出来。

从前人已有成果看,国内外研究以卫星资料小比例尺土地利用覆被的宏观变化研究为主,而大比例尺的小区域研究相对较少,这对于土地利用覆盖变化累积过程研究显得精度不足,不能很好地反映土地利用覆被的微观动态变化特征。当把重点集中到单个区域和地区,或者缩小时间范围时,就会大大增进我们对原因与覆被关系的详细了解^[3]。因此,选择地貌类型齐全的小区域,加强宏观与微观相结合的土地利用覆盖变化研究显得尤为重要^[4]。为解释土地利用/土地覆被的全球变化,必须进行广泛的区域性个案研究。区域性个案的比较研究,旨在分析影响土地使用者或管理者改变土地利用和管理方式的自然和社会经济方面的主要驱动因子,建立区域性土地利用/土地覆被动态变化的经验模型^[5]。

区域土地利用变化格局的动态模拟受到自然、社会、经济等众多因素在不同时间、空间尺度上的相互影响。是一个相当复杂的过程^[6],目前已经成为全球环境变化和可持续发展的重要内容。土地利用变化模型是深入了解土地利用变化过程、机理和环境影响的重要手段,而深入理解土地利用格局与其

决定因素之间的相互关系则是构建土地利用变化模型的基础^[7-8]。

因此,选择新疆吐鲁番市作为研究地区,据 50 m ×50 m 的模拟网格对研究地区的土地利用格局进行模拟与分析。该研究的主要目的是构建研究地区的土地利用格局模拟模型,探讨如何建立一个空间上的 Logistic 回归模型去发现干旱半干旱区土地利用变化不同过程的可能原因,揭示土地利用格局与其决定因素之间的定量关系。及这样的一个空间上的统计分析识别能在多大程度上理解土地利用变化的驱动力。本文的研究结果可为完善土地利用变化模型,探索未来土地利用的动态变化情景和制定可持续的土地利用规划方案提供科学依据。

1 研究区概况

吐鲁番市位于新疆维吾尔自治区东部,天山山麓的冲、洪积平原,自北向南倾斜,海拔高度大体在 10 ~ 110 m。吐鲁番市山地面积占 23%,平原面积占 77%,戈壁面积占 60%。吐鲁番的自然环境十分特殊,是全国地势最低、气候最热的地方。地处北纬 42° 15' - 43° 35' 和东经 89° 29' 28" - 89° 54' 33"。总面积约为 15 738 km²,属于暖温带大陆性干旱荒漠气候。光热资源丰富,年均降水量 16.4 mm,年均蒸发能力 2 837.8 mm,无霜期较长,土壤类型为地带性灰钙土,主要有风砂土和盐土。土壤养分处于中下等水平^[9]。

由于吐鲁番特殊的地理位置,盆地中的年降水量极其稀少,人均占有水资源量仅为 2 069 m³,不足全球人均占有量的 1/4,比全国人均占有量还低,农业用水占总水量的 86%。长期以来,由于吐鲁番水资源的极度匮乏,造成地区植被稀疏,水土不保,生态环境恶劣,抵御风沙、春旱、夏洪等自然灾害的能力较差。水资源短缺已成为制约吐鲁番经济社会发展的重要因素。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

吐鲁番市幅员辽阔,绿洲面积小,戈壁、沙漠面积大,因此研究区仅选取土地利用/覆盖变化相对较快的农区部分。土地利用/覆盖数据采用吐鲁番市国土资源局提供的吐鲁番市 1:10 000 土地利用详查图(2005 年)。因为本研究主要是模拟与分析耕地、园地、林地、草地、城镇用地、农村居民点、工矿用

地、未利用地、其他用地这 9 种土地利用类型的空间分布格局,因此对原土地利用图形数据按 3 级分类进行了相应的地类合并。

选取居民点、道路、渠系和地形分布等作为对吐鲁番市耕地、林地和草地等空间格局的形成与演变的驱动因子。为了构建土地利用格局模拟模型,首先对原始数据进行了一些计算和分析。地理数据的地图包括吐鲁番市农区图、渠系图与道路图,分别将农区图与后两种图叠加起来,进行距离分析,得出相

应的距离分布图,然后将其转化为 ASCII 码格式;生物物理数据中的地质、地貌是在 ArcView 中用 DEM 分析获得。

自然因素的影响是在区域自然地理环境的宏观背景下表现出来的,特别是在自然环境条件相对复杂和脆弱的地区,尤其在本研究区,对土地利用变化发挥着很大的作用,加之社会经济资料获取难度较高,鉴于此,研究中土地利用变化驱动因子以选取自然因素驱动因子为主。各驱动因子见表 1。

表 1 土地利用变化驱动因子表

驱动因子		因子描述
距离	到城市中心的空间距离 (x_0)	量算每一颗像元的中心距城市中心的距离
	到乡(镇)中心的空间距离 (x_1)	量算每一颗像元的中心距乡(镇)中心的距离
	到村庄的空间距离 (x_2)	量算每一颗像元的中心距村庄中心的距离
	到铁路的空间距离 (x_3)	量算每一颗像元的中心距最近的铁路的距离
	到小于 5 m 宽道路的空间距离 (x_4)	量算每一颗像元的中心距最近的小于 5 m 宽道路的距离
	到宽度为 5 ~ 10 m 道路的空间距离 (x_5)	量算每一颗像元的中心距最近的 5 ~ 10 m 宽道路的距离
	到宽度为 10 ~ 15 m 道路的空间距离 (x_6)	量算每一颗像元的中心距最近的 10 ~ 15 m 宽道路的距离
	到大于 15 m 宽道路的空间距离 (x_7)	量算每一颗像元的中心距最近的大于 15 m 宽道路的距离
	到小于 2 m 宽渠系的空间距离 (x_8)	量算每一颗像元的中心距小于 2 m 宽渠系的距离
	到宽度为 2 ~ 5 m 渠系的空间距离 (x_9)	量算每一颗像元的中心距 2 ~ 5 m 宽渠系的距离
	到大于 5 m 宽渠系的空间距离 (x_{10})	量算每一颗像元的中心距最近的大于 5 m 宽渠系的距离
海拔	高程 (x_{11})	采用黄海高程面,高程间隔 5 m

注:城市为吐鲁番市区;高程为黄海高程,等高线间距为 5 m。

2.2 研究方法

本研究运用的方法是 Logistic 回归模型。线性回归模型是在定量分析的实际研究中经常使用的统计分析方法,然而在许多情况下,线性回归会受到限制,特别当因变量是个分类变量而不是一个连续变量时,线性回归就不适用,Logistic 回归模型能很好地解决这一问题。Logistic 回归技术方法基于数据的抽样,能为每个自变量产生回归系数。这些系数通过一定的权重运算法则被解释为生成特定土地利用类别的变化概率。Logistic 回归已经被成功地运用到野生动植物栖息地研究,森林火灾的预测以及森林采伐分析等方面。

根据 50 m ×50 m 的模拟网格,运用 Binary Logistic 回归方程,本文分别构建了耕地、园地、林地、草地、城镇用地、农村居民点、工矿用地、未利用地、其他用地共 9 种土地利用类型的空间分布格局模拟模型,绘制了研究区以上土地利用类型的空间分布概率图。需要说明的是,由于空间数据的空间自相关效应对模拟模型的解释能力会造成一定的干扰。在建模之前,需对样本进行预处理,本文根据模拟尺度及相应网格总数的多少,分别使用随机抽样的方法从原样本集选取 5 % 的网格作为代表进行 Logistic 回归建模。模型是基于栅格数据构建而成的。其中,目标变量(土地利用格局)是根据 Coverage 格

式的矢量数据转变为 50 m ×50 m 网格的栅格数据得到的,解释变量(距最近道路、渠系和居民点的距离、海拔)是根据距离分布图及 DEM 数据计算得到的。以上转换和计算使用的地理信息系统软件是 Arc/ Info 8.3。

2.2.1 土地利用格局模拟模型 土地利用格局模拟模型是根据式(1)的二元 Logistic 回归方程构建而成的。其目标变量(土地利用格局)是根据栅格图形数据得出的二分类变量,1 表示某种土地利用类型出现,0 表示不出现;而解释变量包括到城市中心的距离、到乡(镇)中心的距离、到村庄的空间距离、到铁路的空间距离、到各种道路的距离、到渠系的距离和高程等。具体的建模计算是使用统计软件 SPSS 10.0,其中对解释变量的筛选是按照 0.25 的显著水平采用正向逐步选择法完成。

$$\text{Log}\left(\frac{p_i}{1 - p_i}\right) = 0 + {}_1X_{1,i} + {}_2X_{2,i} + \dots + {}_nX_{n,i} \tag{1}$$

式中: p_i ——每个栅格可能出现土地利用类型 i 的概率; X ——各备选驱动因素。对二元 Logistic 回归方程的解释能力一般用 Pontius R. G. 提出的 ROC(Relative Operating Characteristics)方法进行检验^[10]。

Beta 系数为由 Logistic 回归方程诊断出的关系

系数, $\exp(B)$ 是 Beta 系数的以 e 为底的自然幂指数, 其值等于事件的发生比率 (Odds Ratio)。从某种意义上讲, 发生比率是衡量解释变量对目标变量影响程度的重要指标。本研究中, 发生比率表示解释变量 (驱动因子) 每增加一个单位, 土地利用类型的发生比的变化情况 ($\exp(B) < 1$, 发生比减少; $\exp(B) = 1$, 发生比不变; $\exp(B) > 1$, 发生比增加), 而发生比是事件的发生频数与不发生频数之比^[11]。

ROC 是验证土地利用/覆盖变化模型的方法。该方法来源于二值可能性表, 每个可能性表对应一种未来土地利用类型的不同的假设。检验指标 ROC 值介于 0.5 和 1 之间, 0.5 表示回归方程的拟合优度最差, 与随机判别效果相当; 1 表示拟合优度最好, 可以完全确定土地利用的空间分布; 随 ROC 值的增加, Logistic 回归方程对土地利用分布格局的拟合优度逐渐上升, 一般可以认为当 ROC 值大

于或等于 0.75 时方程的拟合优度较高, 反之, 则相对较低。

2.2.2 空间模拟 根据式 (2) 计算土地利用的空间分布概率, 运用 GIS 软件绘制研究地区土地利用格局空间分布的经验统计概率图。

$$P_i = \frac{\exp(-\beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i})}{1 + \exp(-\beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i})} \quad (2)$$

式 (2) 是根据式 (1) 推导出来的, 式中: P_i 的含义与式 (1) 相同, 表示每个栅格可能出现土地利用类型的概率。

3 研究结果与分析

3.1 Logistic 回归结果

通过 Logistic 回归模型, 得出每种驱动力的值。结果如下:

- (1) 耕地: $\text{Log}(\frac{P_0}{1 - P_0}) = -5.89955 + 0.00003x_0 - 0.00007x_1 + 0.00004x_2 + 0.00021x_3 - 0.0004x_4 - 0.00078x_5 - 0.00013x_6 - 0.00023x_7 + 0.00188x_8 - 0.00025x_9 - 0.00028x_{10} + 0.00365x_{11}$
- (2) 园地: $\text{Log}(\frac{P_0}{1 - P_0}) = -0.37930 - 0.00004x_0 - 0.0001x_1 - 0.0002x_2 + 0.00006x_3 - 0.00113x_5 - 0.00025x_6 + 0.00003x_7 - 0.00175x_8 - 0.00053x_9 - 0.0003x_{10} + 0.0061x_{11}$
- (3) 林地: $\text{Log}(\frac{P_0}{1 - P_0}) = -4.46596 - 0.00007x_0 - 0.00005x_1 + 0.00034x_2 + 0.00009x_3 + 0.00082x_4 - 0.00033x_5 - 0.00027x_6 + 0.00013x_7 - 0.00095x_8 - 0.00004x_9 - 0.00005x_{10} + 0.00049x_{11}$
- (4) 草地: $\text{Log}(\frac{P_3}{1 - P_3}) = -9.49163 + 0.00005x_0 - 0.00012x_1 + 0.00011x_2 + 0.0002x_3 - 0.00117x_4 + 0.00011x_5 + 0.00048x_6 - 0.00005x_7 + 0.00003x_8 - 0.00066x_9 + 0.00026x_{10} + 0.00003x_{11}$
- (5) 城镇用地: $\text{Log}(\frac{P_4}{1 - P_4}) = 7.11473 - 0.00181x_0 - 0.001x_1 - 0.00031x_2 + 0.00409x_4 - 0.00219x_8 - 0.00127x_9 + 0.00066x_{10} + 0.00103x_{11}$
- (6) 农村居民点用地: $\text{Log}(\frac{P_5}{1 - P_5}) = -1.89779 - 0.00001x_0 - 0.0001x_1 - 0.00153x_2 + 0.00006x_3 + 0.00027x_4 - 0.00073x_5 - 0.00033x_6 - 0.00004x_7 + 0.00099x_8 + 0.00021x_9 - 0.0001x_{10} + 0.00171x_{11}$
- (7) 工矿用地: $\text{Log}(\frac{P_6}{1 - P_6}) = -4.38042 - 0.00003x_0 - 0.00014x_1 + 0.00022x_4 - 0.0002x_5 - 0.00022x_6 - 0.00008x_7 - 0.00037x_8 + 0.00049x_9 + 0.00085x_{11}$
- (8) 未利用地: $\text{Log}(\frac{P_7}{1 - P_7}) = -2.30102 + 0.00001x_0 - 0.00005x_1 - 0.00019x_2 + 0.00013x_3 - 0.00063x_4 - 0.00022x_5 - 0.00002x_6 + 0.00002x_7 - 0.00041x_8 + 0.00021x_9 - 0.00011x_{10} + 0.00121x_{11}$
- (9) 其他用地: $\text{Log}(\frac{P_8}{1 - P_8}) = -3.32082 - 0.00011x_1 - 0.00044x_2 + 0.00003x_3 + 0.00021x_4 - 0.00009x_5 + 0.00008x_6 + 0.00029x_9 - 0.00029x_{10} + 0.00046x_{11}$

以上结果显示居民点、道路、渠系、海拔高度等驱动因素, 是各种土地利用类型的解释变量, 说明它们是决定土地利用空间格局的重要因素。

3.2 模型的显著性检验

ROC 检验结果显示, 各种土地类型的拟合度分

别为: 耕地 0.934, 园地 0.915, 林地 0.858, 草地 0.793, 城镇用地 0.999, 农村居民点用地 0.929, 工矿用地 0.874, 未利用地 0.816, 其他用地 0.762。由 ROC 检验结果可知, 草地和其他用地的预测精度较低, 其 ROC 值分别为 0.793 和 0.762, 精度较

低的原因主要为这两种土地利用类型具有相对较强的动态特征。这种较强的动态特征表现为在其他土地利用类型转化为这两种土地利用类型之后的较短的时间内,这两种土地利用类型又转化成了另外的土地利用类型,比如农村居民点的建设占用其他用地中的晒谷场用地,但后来因城镇用地范围的扩大,其周边的农村居民点用地又转化成了城镇用地;受经济效益的影响,城镇周围以养殖业为主的养殖用地因城镇的快速发展和建设而被占用,这样养殖用地(其他用地)又转化成了城镇用地。

3.3 空间模拟

根据土地利用格局的 Logistic 回归模型,分别对相应土地利用类型的空间分布概率进行了计算与模拟。模拟结果见附图 2-10。通过与土地利用分布真实格局进行比较,结果发现:空间分布概率与分布格局的吻合程度和回归模型的 ROC 值密切相关,ROC 值越大,吻合的情况就越好(如耕地、园地和农村居民点用地);否则,ROC 值越小,吻合情况也越差(如草地和其他用地)。总体来看,由土地利用格局的 Logistic 回归模型计算出的空间分布概率基本上与真实分布格局相吻合,即与实际分布对应的网格的统计概率通常比较大。不过,局部也存在一些不太吻合的情况。其中,林地分布概率图中林地分布不甚合理,多数分布在偏远的地区,而实际上研究区林地的增加是出于改善生态环境、防风固沙及农田防护的需要。造成以上偏差的原因,一方面是由于除了地形特征变量外,土壤、水源等其它自然生物物理变量,以及人口密度、经济状况、技术条件、经营决策等人文社会经济因素的空间差异也对土地利用分布格局具有重要的决定作用,以上数据的缺失可能是造成模型模拟偏差的重要原因。

4 结论

本研究通过对吐鲁番市农区土地利用的空间格局变化模拟分析,得出以下主要结论:

(1) 在 2005 年土地利用空间数据的基础上,结合居民点、道路、渠系、海拔高度等驱动因素,运用 Logistic 回归模型,分别对研究区土地利用空间格局进行模拟分析,模拟结果检验(ROC 检验)显示模拟效果较好:耕地 0.934,园地 0.915,林地 0.858,草地 0.793,城镇用地 0.999,农村居民点用地 0.929,独立工矿用地 0.874,未利用地 0.816,其他用地 0.762。拟和度均大于 0.75,拟和度较好,是值得推广与应用的一种进行土地利用/覆盖变化模拟研究的模型。这对于研究与吐鲁番市具有相似自然

环境条件与社会经济发展水平的新疆其他县(市)的土地利用变化来说,具有较好的借鉴意义。

(2) 选择市(县)级尺度作为研究区域和研究单元,不仅有利于高分辨率空间数据与社会经济数据的融合,使影响土地利用变化的社会经济驱动因素与区域土地利用变化的空间系统模型相结合,更好地体现“社会化像元”和“像元社会化”的思想和观念,并为深入剖析社会经济驱动因素对区域土地利用变化的影响提供前提条件,而且可以与当前土地管理工作的实际需要更好地相结合。

(3) 由于数据限制以及工作量太大,因变量中对社会经济数据分析显得不足,其实 LUCC 与人口、技术、富裕程度、政治结构和价值与观念直接相关;同时模型中没有直接考虑气温、降水、蒸发等自然因素,而是通过海拔等因素间接的反映,如果要求非常准确的建立土地利用/覆盖变化模型,必须考虑这些因素,因此,从这两方面选取一些可以量化的指标应是下一步研究的重点内容。

参考文献:

- [1] 刘彦随,陈百明. 中国可持续发展问题与土地利用覆盖变化研究[J]. 地理研究, 2002, 21(3): 324-330.
- [2] 张华,张勃. 国际土地利用/覆盖变化模型研究综述[J]. 自然资源学报, 2005, 20(3): 422-431.
- [3] 蔡运龙. 土地利用/土地覆盖变化研究:寻求新的综合途径[J]. 地理研究, 2001, 20(6): 645-652.
- [4] 李加林. 杭州湾南岸滨海平原土地利用覆盖变化研究[D]. 南京:南京师范大学, 2004.
- [5] 黄秉维,郑度,赵名茶,等. 现代自然地理[M]. 北京:科学出版社, 1999.
- [6] 邓祥征,刘纪远,战金艳,等. 太仆寺旗土地利用变化时空格局的动态模拟[J]. 地理研究, 2004, 23(2): 147-157.
- [7] 张永民,周成虎,郑纯辉,等. 沽源县土地利用格局的多尺度模拟与分析[J]. 资源科学, 2006, 28(2): 88-96.
- [8] Veldkamp A, Fresco L O. Exploring land use scenarios: An alternative approach based on actual land use[J]. Agriculture Systems, 1997, 55: 1-17.
- [9] 钱云,郝毓灵. 新疆绿洲[M]. (2版) 乌鲁木齐:新疆人民出版社, 2000: 267-269.
- [10] Pontius R, Grl Jr, Laura C Schneider. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 85: 239-248.
- [11] 王济川,郭志刚. Logistic 回归模型:方法与应用[M]. 北京:高等教育出版社, 2001.