

# 基于 CA-Markov 的河西走廊土地利用变化研究

侯西勇, 常 斌, 于信芳

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘 要:** 基于河西走廊 1990 年、2000 年土地利用矢量数据, 通过空间叠加和构建土地利用分布与变化的 1 km<sup>2</sup>-Grid 数据集以研究 20 世纪 90 年代土地利用分布与变化的数量特征和空间格局特征, 并运用马尔可夫模型和元胞自动机技术对 2010 年土地利用分布情景进行预测。研究表明: 河西走廊以未利用土地和草地为主; 20 世纪 90 年代, 耕地、城乡工矿居民用地增加, 而林地、草地、水域和未利用土地减少; 多种土地利用类型的开垦在区域土地利用变化中处于主导地位, 其中“草地→耕地”和“未利用→耕地”2 个变化类型的规模最显著。主要交通线与大的河流附近人类活动强烈, 因而土地利用类型及变化类型比较多样, 空间格局复杂。CA-Markov 模型模拟结果表明 2000~2010 年间 6 个土地利用类型将保持原有的变化趋势和变化速率, 因此, 迫切需要加强对林地、草地和水域的保护, 控制和阻止盲目开垦耕地的行为, 推进退耕还林还草工程, 促进区域生态环境质量的保护和改善。

**关键词:** 土地利用变化; 河西走廊; 空间格局; 马尔可夫; 元胞自动机

**中图分类号:** F293.2; F311; P208

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2004)04-0286-06

## 0 引言

随着全球变化研究的深入, 人们日益认识到土地利用导致的土地覆被变化是全球环境变化的重要部分和主要影响因素, 是人类社会经济活动与自然生态环境之间联系最为紧密的部分。不同时空尺度的土地利用/覆被变化研究有助于揭示人类社会影响下区域及全球生态环境变化的过程、机理等。包括我国河西走廊等干旱半干旱温带草原与荒漠地区在内的北半球中纬度是人类活动最集中、最强烈的地带之一, 在全球变化研究中意义重大<sup>[1]</sup>。

河西走廊位于青藏高原与蒙古高原之间, 南以祁连山和阿尔金山为界, 北至马鬃山、合黎山和龙首山, 东起乌鞘岭, 西迄甘新省界。东西长约 1 000 km, 南北宽 100~150 km, 地势自东南向西北倾斜, 大部分海拔 1 000~2 500 m。石羊河、黑河和疏勒河三大内流水系均源于祁连山, 冰雪融水和雨水补给, 沿河冲积平原形成武威、张掖、酒泉等绿洲; 其余地区, 尤其是嘉峪关以西, 主要是戈壁和沙漠。典型大陆干旱荒漠气候, 降水少, 且年内、年际变化大, 蒸发强烈, 干燥度大; 极端日较差达 20℃; 多大风和沙尘。自然植被以温带灌木半灌木荒漠类型为主, 植被稀疏, 结构单一, 沙生植物占主导。地带性土壤为灰棕荒漠土, 也有非地带性的灌漠土、风沙土和盐土分布<sup>[2-5]</sup>。农牧业历史悠久, 曾经是通往中亚和欧洲的“丝绸之路”, 至今仍是我国西北与内地之间的重要通道。20 世纪 80 年代以来, 该区逐渐发展为甘肃及全国的商品粮、棉、油基地, 但人口、资源与生态环境保

护之间的矛盾也日益加剧。目前该区人口密度已经是联合国拟定的干旱区土地人口承载力极限为 7 人/km<sup>2</sup> 标准的 2 倍多。近 10 年来, 区域气候变化、自然生态环境恶化以及人为因素等作用下, 该地区已成为目前中国北方强度最大的沙尘暴策源地<sup>[6-8]</sup>。祁连山冰川局部雪线上升, 年均后退 2~6.5 m, 严重地区则达 12.5~22.5 m; 主要河流年径流量逐年减少, 尾间湖基本消失, 20 世纪 70 年代祁连山年出山地表水 80 多亿 m<sup>3</sup>, 20 世纪 90 年代则减至 70 多亿 m<sup>3</sup><sup>[6,8,9]</sup>。

## 1 研究内容、数据及方法

### 1.1 研究内容与数据介绍

本文以武威、金昌、张掖、酒泉和嘉峪关 5 个地区的 20 个县市区作为研究区, 包含了自然地理意义的河西走廊区域。以 20 世纪 90 年代土地利用变化数量结构与空间格局特征为主要的研究内容, 揭示土地利用类型变化和变化类型<sup>[10]</sup>的特征与规律, 并进一步对 2010 年土地利用的数量和空间分布情景进行预测和分析。

土地利用数据的原始信息源是 1990 年与 2000 年分县的 Landsat TM 遥感影像, 空间分辨率 30 m × 30 m, 经过了辐射纠正、几何纠正及 RGB 假彩色合成。参照 1:10 万、1:5 万地形图等数据, 以土地的用途、经营特点、利用方式和覆盖特征为主要分类依据, 对遥感影像进行目视判读解译, 面状与线状地物上图标准分别为 6 个和 2 个像元, 由此得到 1990 年和 2000 年土地利用矢量数据。实地勘察验证表明, 两期数据定性准确率均超过 95%<sup>[11-15]</sup>。

数据存储为 Arc/INFO-Coverage; 采用 Albers 等积圆锥投影, 中央经线 105°E, 双标准纬线 25°N 和 47°N<sup>[11,15]</sup>。土地利用分类系统包括耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地和未利用土地 6 个大类及 25 个亚类。研究还用到了居民点、行政区划、人口分布、河流、交通线、DEM 等数据。

收稿日期: 2003-10-27 修订日期: 2004-05-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(90202002); 中国科学院知识创新工程重大资助项目(KZCX-2-308)

作者简介: 侯西勇(1976-), 男, 山东泰安人, 博士生, 主要从事地图学、地理信息系统应用、土地利用/覆被变化研究。北京 中国科学院地理科学与资源研究所, 100101。Email: houxy@lreis.ac.cn

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 矢量和栅格数据模型

矢量数据是面向地理实体的表示方法,以物体为描述对象,适合基于物体的空间分析应用;栅格数据是面向地理空间的表示方法,以空间为描述对象,适合基于位置的空间分析应用<sup>[16]</sup>。Arc/NFO-Coverage 便于分类统计、空间叠加等,但是数据结构复杂,表达大尺度高精度土地利用分布时信息容量、物理容量庞大,不便操作。Arc/NFO-Grid 是一种格网化表达区域空间,分层次、分专题描述地理事物属性和数量特征的特殊栅格数据,利用 Grid 进行土地利用变化研究,具有信息简洁明了,易于操作等优点。本文取长补短,充分利用 Coverage 格式数据的同时,在其基础上生成了更为实用的 1km-Grid 数据集。

#### 1.2.2 指数模型方法

土地利用动态能够刻画一定时段内土地利用类型的数量变化特征,模型如下<sup>[10,17]</sup>

$$K = (U_b - U_a) / (U_a \cdot \frac{1}{T}) \times 100\% \quad (1)$$

$$LC = (\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i,j} / 2 \sum_{i=1}^n LU_i) \cdot \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中  $K$  —— 研究时段内某单一土地利用类型的动态度;  $U_a, U_b$  —— 分别是该土地利用类型期初和期末的面积;  $LC$  —— 综合土地利用动态度;  $LU_i$  —— 期初  $i$  类土地利用类型的面积;  $\Delta LU_{i,j}$  —— 时段内  $i$  类土地利用类型变为非  $i$  类 ( $j$  类,  $j = 1, 2, \dots, n$ ) 土地利用类型的面积;  $T$  —— 研究时段长。

#### 1.2.3 马尔可夫(Markov)模型

Markov 模型是基于 Markov 过程理论而形成的预测事件发生概率的一种方法,常用于具有无后效性特征地理事件的预测<sup>[10,11]</sup>。在土地利用变化研究中,土地利用类型对应 Markov 过程中的“可能状态”,而土地利用类型之间相互转换的面积数量或比例即为状态转移概率,可以利用如下公式对土地利用变化进行预测<sup>[10,18-21]</sup>

$$S_{(t+1)} = P_{ij} \cdot S_{(t)} \quad (3)$$

式中  $S_{(t)}, S_{(t+1)}$  —— 分别是  $t, t+1$  时刻的系统状态;  $P_{ij}$  —— 状态转移概率矩阵,可由下式表示

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix}$$

$$(0 < P_{ij} < 1 \text{ 且 } \sum_{j=1}^n P_{ij} = 1, (i, j = 1, 2, \dots, n)) \quad (4)$$

#### 1.2.4 元胞自动机

元胞自动机(Cellular Automata, 简称 CA)是具有时空计算特征的动力学模型,其特点是时间、空间、状态都离散,每个变量都只有有限多个状态,而且状态改变的规则在时间和空间上均表现为局部特征<sup>[22-24]</sup>。CA 可用如下模型表示<sup>[24]</sup>

$$S_{(t+1)} = f(S_{(t)}, N) \quad (5)$$

式中  $S$  —— 元胞有限、离散的状态集合;  $N$  —— 元胞的邻域;  $t, t+1$  —— 表示不同的时刻;  $f$  —— 局部空间元胞状态的转化规则。

#### 1.2.5 CA-Markov 模型

Markov 与 CA 均为时间离散、状态离散的动力学模型,但是 Markov 预测法没有空间变量,CA 的状态变量则与空间位置紧密相连。Idrisi32 软件中的 CA-Markov 模块将二者有机地结合在一起,可用于进行土地利用变化的空间预测<sup>[21,23]</sup>,具体过程如下:

1) 以 2000 年为预测的起始时刻,2000 年的土地利用分布数据为起始状态,20 世纪 90 年代各土地利用类型之间的转换面积作为 Markov 状态转移概率矩阵的元素。

2) 创建转变适宜性图像集,是 CA 规则的一部分:每一元胞各种可能状态(即土地利用类型)发生变化的容易程度可用下式计算

$$TR_i = I_i + |D_i| + V_i \quad (6)$$

式中  $TR$  —— 元胞的转变适宜性;  $i$  —— 土地利用类型;  $I_i, D_i$  —— 分别是  $i$  土地利用类型 20 世纪 90 年代的面积增加量和减少量,“ $I_i + |D_i|$ ”代表了  $i$  类土地利用类型的基本变化能力;  $V_i$  —— 对 1990~2000 年与 2000~2010 年两个时期土地利用变化驱动力差异的量化,用于修正基本变化能力;计算出的  $TR$  标准化为 0~255 值域后参与 CA-Markov 模型进行模拟运算。

3) CA 滤波器:用于创建具有显著空间意义的权重因子,使其作用于元胞,从而确定元胞的状态改变;采用  $5 \times 5$  的滤波器,即认为一个元胞周围  $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$  范围内的矩形空间对该元胞状态的改变具有显著影响。

4) CA 循环次数,即模拟预测的时间间隔,取 10 以便模拟 2010 年土地利用的空间分布。

### 1.3 研究的技术路线

根据研究内容、数据特征及研究的方法与技术,设计基本的技术路线,如图 1。

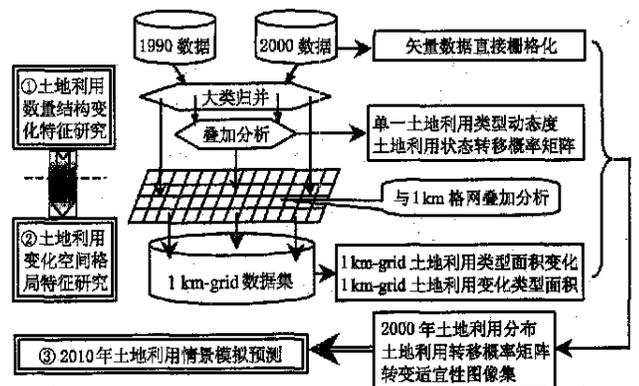


图 1 研究的技术流程

Fig 1 Flow diagram of the study

## 2 土地利用数量变化特征

### 2.1 土地利用结构及其变化

表 1 列出了 20 世纪 90 年代一级土地利用类型的

面积及其变化状况。可见,土地利用结构的总体特征是以未利用土地和草地为主,二者面积比例分别在 67% 和 22% 以上。其次是耕地和林地,比例分别为 6% 和 3.46% 左右。水域和城乡工矿居民用地的面积很少,前者比例不足 0.8%, 后者比例不足 0.5%。

表 1 土地利用类型面积及其变化

Table 1 Land use area changes from 1990 to 2000

土地利用类型	1990 年面积 /hm <sup>2</sup>	2000 年面积 /hm <sup>2</sup>	面积变化 /hm <sup>2</sup>	单一土地利用类型动态度/%
耕地	1342376	1379958	375824	0.2800
林地	784808	783829	- 979	- 0.0125
草地	5022531	5010581	- 11950	- 0.0238
水域	180798	177703	- 3095	- 0.1712
城乡居	101712	108362	6650	0.6538
未利用	15203241	15175034	- 28208	- 0.0186

注:城乡工矿居民用地、未利用土地分别简称为城乡居、未利用,下文图表同。

20 世纪 90 年代,耕地和城乡工矿居民用地面积增加,其他类型的面积减少。面积增加的类型同时具有很高的动态度:城乡工矿居民用地的动态度最大,分别是耕地、林地、草地、水域和未利用土地的 2.34、52.30、27.47、3.82 和 35.15 倍,耕地的动态度仅次之。面积减少的类型中,水域的动态度比较突出,虽然速率远小于城乡工矿居民用地和耕地的增加速率,但是三者仍属于同一数量级;林地、草地和未利用土地动态度较小,速率与前述三类相比处于低一级的数量级。未利用土地的广泛分布决定了综合土地利用动态度数值偏小,仅为 0.01767%。总之,20 世纪 90 年代是人类活动增强、建设用地快速扩张、草地开垦、毁林开荒、水域减少的发展时期。

## 2.2 土地利用结构变化的系统分析

表 2 是 20 世纪 90 年代土地利用状态转移概率矩阵。6 个斜体数据表示未发生类型改变的土地利用面积;其他的 30 个数据对应 30 个土地利用变化类型的面积。

表 2 河西走廊 20 世纪 90 年代土地利用面积转移

Table 2 Land use change in Hexi Corridor from 1990 to 2000

	2000 年					
	耕地	林地	草地	水域	城乡居	未利用
耕地	329944	351	6186	385	5231	277
林地	908	781724	17399	19	10	48
草地	24115	1359	4993779	425	673	2179
水域	4105	12	234	176285	42	156
城乡居	0	0	0	0	101712	0
未利用	20884	383	8641	588	7316	1517201

从类型变化的角度分析,一个土地利用类型各自流失的面积由大到小依次为:未利用土地、草地、耕地、水域、林地、城乡工矿居民用地。未利用土地以耕地、草地为主要流向,二者分别占 88%、27.67%;草地的主要流向是耕地,所占比例为 87%;耕地的主要流向是草地、城乡工矿居民用地,比例分别为

49.77%、42.08%;水域的主要流向是耕地,占 98%;林地的主要流向是草地和耕地,二者分别占 41% 和 29.44%。

从变化类型的角度分析,城乡工矿居民用地未向其他类型转化,0 个变化类型实际上只有 1 个发生,其中 1 个面积大于 1000 hm<sup>2</sup>, 7 个面积介于 1000 ~ 10 000 hm<sup>2</sup>, 这个变化类型由大到小依次是“草地、耕地”“未利用、耕地”“未利用、草地”“耕地、草地”“耕地、城乡工矿居民用地”“水域、耕地”“草地、未利用”“林地、草地”“草地、林地”,他们的面积之和为 439.51 hm<sup>2</sup>, 是剩余 6 个变化类型面积之和的 38 倍。

综上所述,草地、未利用、水域和林地的开垦在区域土地利用变化中占据了主导,这个类型的耕地流向对应 1 个变化类型,面积之和为 0.012 04 hm<sup>2</sup>, 而剩余 21 个类型的面积之和仅为 992.47 hm<sup>2</sup>, 二者之比为 1:67.1。

## 3 20 世纪 90 年代土地利用分布及变化的空间格局特征

### 3.1 土地利用分布的空间格局

虽然 20 世纪 90 年代土地利用结构发生了显著的变化,但是对比 1990 年与 2000 年两期 1:500 000 km-Grid 土地利用分布数据集表明,在区域宏观尺度上土地利用分布的空间格局特征基本上没有变化。如图 1 图例中数字表示每个 km<sup>2</sup> 方格中该土地利用类型的面积。

耕地主要分布在河西走廊的东、中部,2000 年嘉峪关以东耕地数量占河西走廊全区的 60% 以上,而以西的玉门、敦煌、肃北、阿克塞与安西县,其国土总面积超过走廊全区的 40%, 耕地比例却不是 60%。走廊东、中部的北大河、黑河中游与石羊河流域多绿洲分布,居民点和人口均较密集,铁路、公路等基础设施比较发达,是耕地的集中连片分布区。走廊西部仅在兰新铁路和高等级公路沿线的重要居民点附近有耕地的小片集中分布区。

林地、天然林或高覆盖度林地主要分布在走廊南部的祁连山北麓,包括肃南、民乐、山丹、武威和天祝县区的南部,林地面积达到走廊全区的 50% 以上,但是受人类开垦耕地、砍伐森林等活动的影响,曾经大片分布的林地已被切割,呈现出小片离散分布的特点。另外,大河流的两岸、公路或铁路两侧、重要居民点的周围以及大片耕地边缘广泛分布着条带状的人工林。

草地沿祁连山北麓,自走廊东南的天祝和古浪两县向西北至阿克塞的东部,绵延 1000 km 的宽阔地带是众多河流的发源地和上游区,分布着广阔的草原,而且以覆盖度大于 30% 的天然草地、改良草地为主,该地带国土面积约占走廊全区的 30%, 而草地面积却占全区的 50% 左右。石羊河流域中下游、黑河中游、疏勒河流域及北山山区等是其他的草地重要分布区,以中、低覆盖度草地的离散面状分布为主。

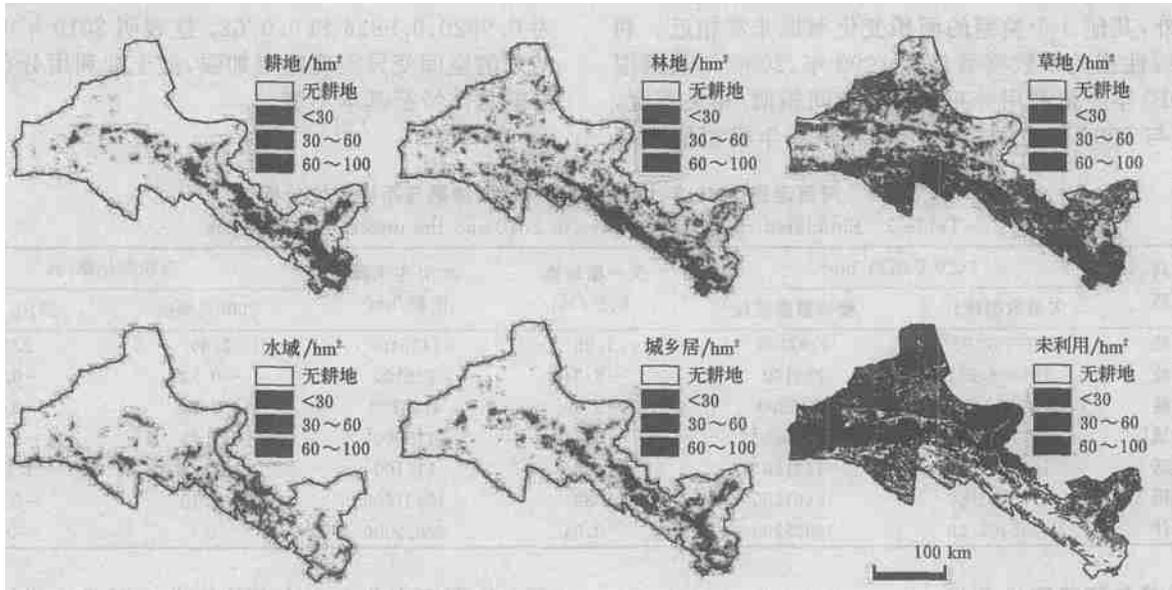


图 2 土地利用分布的空间格局特征

Fig 2 Spatial patterns of land use distribution

水域, 主要是河流, 祁连山北麓是众多河流的源地和上游区, 但仅有黑河、石羊河、疏勒河、党河和北大河等少数河流流量较大, 流程较长, 因此走廊西部、北部的广大地区水域面积积极少。

城乡工矿居民用地, 以农村居民点为主, 面积比例接近 75%, 个体小但数量众多, 在河流及交通线两侧一定宽度的地带内呈点状分布; 城镇比例接近 12%, 主要是沿河或主要交通线面状分布。

未利用土地, 空间形态呈现连续的面状分布特征, 以沙地、戈壁、裸岩、裸土、盐碱地等为主, 广泛分布于嘉峪关以西、以北, 嘉峪关以东主要是在金塔、高台、临泽以及走廊东北部石羊河下游的民勤境内。

### 3.2 土地利用变化的空间格局

耕地, 自走廊东南的古浪、天祝沿兰新铁路至甘新交界及安西—敦煌一线的两侧, 耕地显著增加, 弃耕地也比较多。玉门以西耕地变化区少且集中, 以“耕地—草地”和“未利用—耕地”2 个变化类型为主, 增减大体持平。北大河流域以耕地增加为主, 且主要是“草地—耕地”; 耕地减少仅在金塔县少量分布, 为“耕地—未利用”。黑河中游及其支流山丹河流域是耕地变化最剧烈、变化类型最多、空间格局最复杂的地带, 草地—耕地、林地—耕地、水域—耕地、未利用—耕地以及耕地—城乡工矿居民用地、耕地—草地、耕地—水域、耕地—未利用等变化类型均有分布, 但以“草地—耕地”为主, 其次是“耕地—城乡工矿居民用地”, 总体上该区域耕地剧增。走廊龙首山以东地区耕地变化特征比较一致: 除了永昌县东南部有大片“未利用—耕地”外, 其他广大地区以“耕地—城乡工矿居民用地”变化类型为主, 变化图斑数量繁多但规模很小。

林地, 变化图斑小而多, 分布广泛, 大多在 3~6 km<sup>2</sup> 空间尺度内发生; 增与减的图斑相互穿插混杂。嘉

峪关以西主要是草地和未利用土地变为林地, 规模很小。黑河流域以林地—耕地、林地—草地为主, 林地锐减。相对而言, 祁连山地林地分布密集, 所以林地变化图斑的分布密度也高于其他地区, 且以林草互换为主, 增减基本持平。

草地, 除了黑河流域和北大河流域有很大的“草地—耕地”变化图斑分布外, 河西走廊其他地区草地的变化图斑均很小, 但数量繁多, 且增与减之间交错混杂分布的特点非常突出。疏勒河流域草地—林地、草地—城乡工矿居民用地以及退耕还草和未利用—草地等变化类型的分布比较突出。石羊河流域未利用—草地的变化类型较为突出。祁连山地北麓地带林草互换分布区比较密集, 草地覆盖度略有提高。

水域, 水域变化受其分布区所限, 主要发生在黑河流域、疏勒河流域、北大河流域等, 特别是黑河中游的临泽、张掖两县, 大量水域变成了耕地; 水域的其他变化类型分布较少。

城乡工矿居民用地, 只增不减, 变化类型空间分布差异巨大。黑河流域城镇扩展最明显, 其次是石羊河流域, 均以占用耕地为主。嘉峪关以西仅有微量增加且集中分布于疏勒河流域, 主要是占用未利用土地和草地。

未利用土地, 其分布最广泛, 变化区也最广泛, 变化类型多种多样, 但主要是小范围局部发生。嘉峪关以西主要是与草地互换, 以东则大量的变为草地和耕地。

## 4 基于 CA-Markov 的 2010 年土地利用分布预测

### 4.1 2010 年土地利用模拟预测结果

与 2000 年土地利用数据相比, CA-Markov 预测出的 2010 年土地利用分布(表 3) 表现为耕地和城乡工矿居民用地数量增加, 而林地、草地、水域和未利用土地减

少,这种变化趋势与 20 世纪 90 年代基本相同,而且除了林地外,其他 5 个类型的面积变化率也非常相近。利用一般线性相关系数模型计算 1990 年、2000 年及模拟出的 2010 年土地利用分布数据的空间相似/相关程度,1990 年与 2000 年之间、2000 年与 2010 年模拟值之间

及 1990 年与 2010 年模拟值之间的空间相似程度分别为 0.9920、0.9826 和 0.9762。这表明 2010 年模拟预测结果的空间变异程度略有加强,但土地利用分布空间格局的总体特征基本不变。

表 3 河西走廊 2010 年土地利用面积预测结果与不确定性分析

Table 3 Simulated result of land use in 2010 and the uncertainty analysis

土地利用类型	2000 年面积/hm <sup>2</sup>		矢-栅转换 误差/%	2010 年预测 面积/hm <sup>2</sup>	面积变化率/%	
	矢量数据统计	栅格数据统计			2000/1990	2010/2000
耕地	1379957.98	1397400	1.26	1436400	2.80	2.79
林地	783828.66	734100	-6.34	732100	-0.13	-0.27
草地	5010580.61	4745200	-5.30	4734200	-0.24	-0.23
水域	177702.63	176900	-0.45	173900	-1.71	-1.70
城乡居	108361.81	110100	1.60	117100	6.54	6.36
未利用	15175033.60	15461600	1.89	15431600	-0.19	-0.19
合计	22635465.29	22625300	-0.04	22625300	0	0

## 4.2 误差与不确定性分析

2000 年土地利用数据由矢量变为栅格所导致的分类面积变化(表 3)是 CA-Markov 模型模拟预测最主要的误差来源,CA-Markov 模拟必须基于栅格数据,缩小栅格单元大小能够减小误差,但会对计算机软硬件系统造成呈指数关系增长的运算负荷。如何评价和降低矢量—栅格格式转换对土地利用变化情景预测的影响值得进一步研究。总体上,基于 CA-Markov 的 2010 年土地利用分布模拟结果比较可信,分析、总结该模型,提出如下保证和进一步提高预测精度的有效途径: 选取基于遥感影像光谱特征处理得到的土地利用栅格数据为初始数据源,将直接避免矢量—栅格数据转换过程,因此模拟结果的误差将会更小; 使用更高空间分辨率的土地利用数据,元胞尺度越小,预测结果在数量和空间上的精度越高; 分类型单独预测,然后再综合分析,从而提高最受关注的土地利用类型的预测精度; 转变适宜性图像集,在与土地利用数据相同的空间精度上评价各种土地利用类型转变的难易程度,评价方式的合理性是决定预测结果是否符合土地利用变化规律的关键。

## 5 结论

1) 河西走廊土地利用结构以未利用土地和草地为主,二者比例之和达全区国土总面积的 90% 左右,而耕地、林地、水域和城乡工矿居民用地面积则很少;

2) 20 世纪 90 年代耕地和城乡工矿居民用地面积急剧增加,其他 4 类则大幅减少,土地利用状态转移概率矩阵系统地揭示了 6 个土地利用类型之间的相互转化,反映出区域人口压力增大、毁林开荒、草地开垦、城镇扩展、生态环境恶化等的发展过程;

3) 河流与主要交通线附近是土地利用分布多样性比较高的区域,也是土地利用变化最剧烈、变化类型最多样化、空间格局最复杂的区域,而且以嘉峪关为界,河西走廊东部与西部的土地利用分布与土地利用变化具有非常显著的区域差异,这表明 20 世纪 90 年代河西走

廊土地利用变化和生态环境恶化主要是人类社会驱动因素的结果;

4) 利用元胞自动机与马尔可夫预测法模拟 2010 年土地利用的数量和空间分布,结果比较可信: 6 个土地利用类型将保持其变化方向和变化速率,耕地和城乡工矿居民用地将继续扩展而林地、草地和水域等将继续减少;

5) 研究认为: 河西走廊土地利用变化是区域生态环境变化的重要组成和表现,是生态环境质量恶化、人地矛盾尖锐化的重要原因,因此,在西部大开发背景下,迫切需要加强对林地、草地和水域的有力保护,限制盲目无节制的开垦和滥伐乱牧行为,以缓和生态环境进一步恶化的趋势。

## [参 考 文 献]

- [1] 陈四清,刘纪远,庄大方,等. 基于 Landsat TM/ETM 数据的锡林河流域土地覆盖变化[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 45-52
- [2] 聂树人,单树模,常剑峰. 中国自然地理教学参考书[M]. 济南: 山东教育出版社, 1988: 729-738
- [3] 甘肃省畜牧厅. 甘肃省畜牧业综合区划[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1989: 168-180
- [4] 石玉林,康庆禹,赵存兴,等. 中国宜农荒地资源[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1985: 280-295
- [5] 戴尔阜,裘彬,戴尔惠. 河西走廊生态环境重建的机遇、挑战与对策研究[J]. 干旱区资源与环境, 2001, 15(1): 27-30
- [6] 金自学,张芬琴. 河西走廊水资源变化对环境生态的影响[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 37-40
- [7] 邱新法,曾燕,缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 316-322
- [8] 王涛,陈广庭,钱正安,等. 中国北方沙尘暴现状及对策[J]. 中国沙漠, 2001, 21(4): 322-327
- [9] 陈东景,马安青,徐中民. 干旱区流域经济分析的初步研究[J]. 人文地理, 2002, 17(5): 81-84
- [10] 朱会义,李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的

- 讨论[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 643- 650
- [11] 王思远, 刘纪远, 张增祥, 等. 近 10 年中国土地利用格局及其演变[J]. 地理学报, 2002, 57(5): 523- 530
- [12] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. 中国科学(D 辑) 2002, 32(12): 1031- 1040
- [13] 张国平, 刘纪远, 张增祥. 近 10 年来中国耕地资源的时空变化分析[J]. 地理学报, 2003, 58(3): 323- 332
- [14] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 2003, 22(1): 1- 12
- [15] 张国平, 刘纪远, 张增祥. 基于遥感和 GIS 的中国 20 世纪 90 年代毁林开荒状况分析[J]. 地理研究, 2003, 22(2): 221- 226
- [16] 郭仁忠. 空间分析[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000, 25- 34
- [17] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81- 87
- [18] 徐建华. 现代地理学中的数学方法(第 2 版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002, 93- 98
- [19] 马安青, 陈东景, 王建华, 等. 基于 RS 和 GIS 的陇东黄土高原土地景观格局变化研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 56- 59
- [20] 高占国, 赵旭阳. 基于 GIS 的土地利用动态变化与预测[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2002, 23(2): 76- 79
- [21] 刘光, 贺小飞. 地理信息系统实习教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002, 133- 138
- [22] 金小刚. 基于 Matlab 的元胞自动机的仿真设计[J]. 计算机仿真, 2002, 19(4): 27- 30
- [23] 周成虎, 孙战利, 谢一春. 地理元胞自动机研究[M]. 北京: 科学出版社, 2001, 1- 77.
- [24] 韩玲玲, 何政伟, 唐菊兴, 等. 基于 CA 的城市增长与土地增值动态模拟方法探讨[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(2): 32- 35

## Land use change in Hexi corridor based on CA-Markov methods

Hou Xiyong, Chang Bin, Yu Xinfang

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resource Research, Chinese Academy Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract** Based on land use data of Hexi corridor in 1990 and 2000, which were interpreted by the Landsat TM remote sensing images, the 1 km<sup>2</sup>-grid data sets of land use distribution and land use change were established in order to study the spatial pattern characters of land use change in 1990s. And, by using the Markov process theory and the cellular automata(CA) method, the scenarios of land use in 2010 was simulated. It was proved that, the unused land and grassland were the dominant land use types in Hexi corridor, and the other types distributed very sparsely. The farmland and the built-up area have increased quickly and remarkably in 1990s with the extensive reclamation and exploitation of grassland, woodland, water-body and unused land. Among the various transformation types, changes from grassland and unused land to farmland spread most widely. Regions along railways and main roads as well as big rivers had high local variability of land use distribution, and therefore they became the hotspot area of land use change in 1990s. The simulation result by the CA-Markov method has indicated that, from 2000 to 2010, trends of land use evolution as well as its rate will keep constant. Therefore, it is urgent to protect the grassland, woodland and water-body from irrational reclamation.

**Key words:** land use change; Hexi corridor; spatial pattern; Markov; cellular automata(CA)