

# 基于 CA 模型的土地利用变化研究

## ——以新疆鄯善县为例

朱守辉 (吐鲁番地区国土资源勘测规划院, 新疆吐鲁番 838000)

**摘要** 本文首先运用新疆鄯善县2005年土地利用数据进行现状分析,分析了鄯善县土地利用的特点;运用1993年~2000年的土地变更数据,对鄯善县的土地利用变化的特点进行了进一步分析,找出鄯善县土地利用变化的特点和变化的方向、幅度,然后选择鄯善县城及附近的区域作为实验区,进行CA模型的建立与实现。以实验区1990年TM影像作为基础数据;以实验区2000年TM影像作为训练模型的训练数据,对模型进行调试;以2005年的资源二号卫星影像数据作为检验模型的检验数据,对模型进行评价和检验。最后运用模型模拟2010年的实验区土地利用状况。

**关键词** GIS;元胞自动机;土地利用

中图分类号 S301.24 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)15-06887-05

### Research on Land Use Change Based on CA Model

ZHU Shou-hui (Land and Resources Survey Planning Institute of Turpan Area, Turpan, Xinjiang 838000)

**Abstract** The land use data in Shanshan County in Xinjiang in 2005 was used to carry on present condition analysis. The land use characteristics in Shanshan County were analyzed. Using the land alteration data during 1993-2000, the land use characteristics in Shanshan County were further analyzed. The characteristics, direction, range of land use changes in Shanshan County were found out. Selecting the Shanshan County and districts in the neighborhood as test area, CA model was established and realized. With TM image in experiment area in 1990 as the foundation data, with TM image in experiment area in 2000 as the training data of training model, the model was adjusted. Using the satellite image data of the resources No. 2 in 2005 as the examination data of the examination model, the model was evaluated and examined. Finally, the land use condition in 2010 was simulated by using the model.

**Key words** GIS; Cellular automata; Land use

土地利用变化是一个复杂的过程,是自然因素和人为因素共同作用的结果,如何准确和合理地模拟土地利用的变化过程是许多人研究的重点,也是一个难点。土地利用变化的复杂性决定了土地利用研究必须采取复杂系统的理论方法,特别是建立基于复杂系统的数学模型,这是土地利用过程研究的重要领域之一<sup>[1]</sup>。因此,结合土地利用变化的规律,采用复杂系统的研究方法,建立土地利用变化的科学模型是土地变化复杂性研究的关键。笔者通过考虑影响土地利用变化的自然和人为因素,运用CA模型和地理信息手段,模拟了土地利用的动态变化实现模拟研究区的土地利用变化,根据模拟后的土地利用数据和实际的土地利用数据相比较,证实了模型的可靠性,得出模型能够比较真实地反映该区域的土地利用状况,然后运用模型对未来土地利用状况进行模拟。

该研究选择新疆鄯善县为研究区,区域面积为3 828 146.42 hm<sup>2</sup>,全县有5乡5镇,下设行政村属82个,地貌特征为三面环山,一面临近世界海平面最低点的艾丁湖,全境地势东北高,西南低,形成坡度缓平的倾斜面。该地区有独特的气候特征—极端干旱,在这种气候条件下,土地利用的变化受到地域性的影响,有其自身的特点;由于考虑到运用CA模型进行土地利用变化的模拟,需要将各种土地利用类型进行栅格化,然后对逐个栅格进行属性的判别和计算,如果选择整个鄯善县进行土地利用变化模拟那么数据量很大,运算时间长,对计算机的要求较高,据此,笔者选择鄯善县城及附近的两个乡镇的区域进行土地利用变化的模拟,该区域也是土地利用变化比较剧烈的区域,对此区域进行土地利用变化的研究,具有一定的现实意义。

## 1 研究方法和资料来源

### 1.1 CA模型的表述 根据模型的原理和构成,CA模型可

以表示为:

$$CA = (L, C1, T, C2)$$

式中: $L$ 代表土地利用类型层面; $C1$ 代表土地自身质量和潜力; $T$ 代表土地单元的外在条件层; $C2$ 代表控制因素层。CA模型结构框架图由图1显示。

在CA模型中分为宏观和微观两部分,宏观层是指土地管理的政策和规划可人为影响土地利用的变化;微观层则是土地自身的利用质量和潜力、土地单元外在条件,如交通条件以及土地利用的状况。各类土地在宏观控制的影响下,根据自身的变化规则而发生变化。

### 1.2 CA模型的建立

**1.2.1 土地利用类型。**该研究将土地利用类型分为3类,即农用地、建设用地和未利用地。农用地包括耕地、园地、林地和牧草地;建设用地主要是工矿用地和农村居民点,未利用地包括河流、砾石地和沙地等。

**1.2.2 土地单元变化的行为规则。**笔者将3种土地单元的行为规则利用集合符号记为:

$$LLT = \{N, Fk, Bk, Tk, Ck\} \quad (1)$$

LLT表示从 $t$ 到 $t+1$ 时刻, $L$ 位置的土地单元的行为,即该元胞是维持现状,还是转化为新的土地单元,其行为过程包括了以下一系列的行为动作; $N$ 为检查该处土地单元周围邻居单元的构成,根据邻居状况确定土地单元的行为; $Fk$ 为确定 $k$ 处产生新的土地单元的土地利用类型的方法过程; $Bk$ 为检查 $k$ 处新生土地单元的自然条件,确定是否满足生存条件; $Tk$ 为表示检查新生土地单元 $k$ 处的交通通达条件是否满足生存条件; $Ck$ 为表示检查新生土地单元 $k$ 处的控制因素,确定是否满足生存条件。经过了各个行为后,新生土地单元才能够生存和发展,图2显示了CA模型中土地利用单元的演化过程。

## 2 土地利用变化分析

**2.1 土地利用变化分析** 该研究采用1993~2000年土地利

作者简介 朱守辉(1981-),男,江苏徐州人,助理工程师,研究方向:地理信息系统。

收稿日期 2009-02-23

用的现状数据,对数据进行时空动态分析,计算了1993年~2000年各类土地利用类型的变化情况(表1),总结土地利用变化的特点,为下一步CA模型进行土地利用变化模拟奠定了基础。

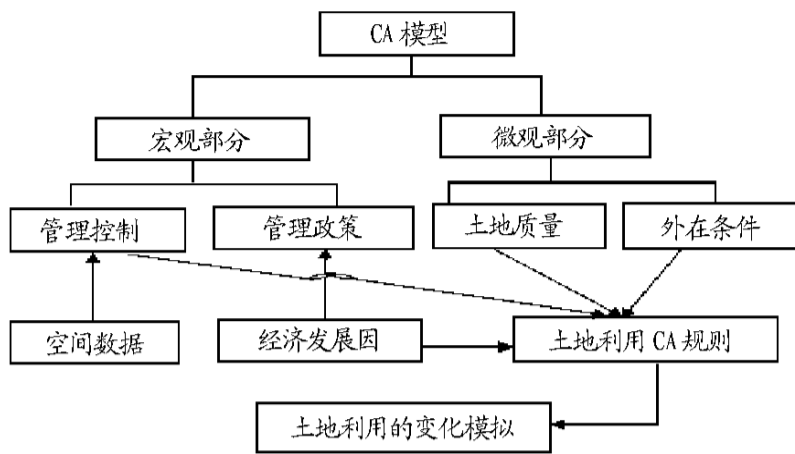


图1 CA模型结构框架图

Fig.1 The structural framework of CA model

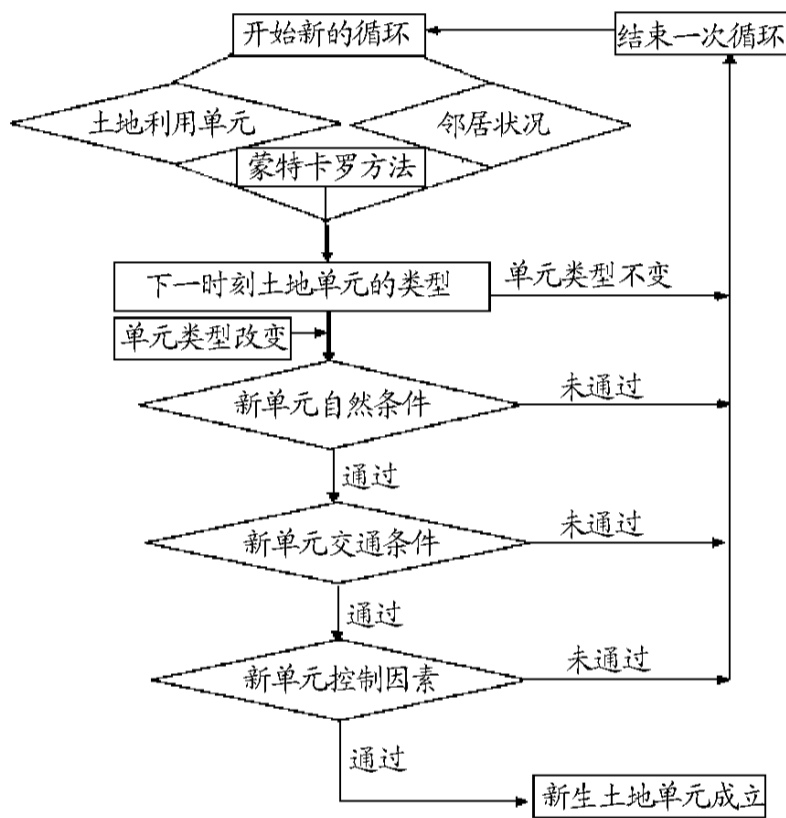


图2 CA模型中土地利用单元的演化过程

Fig.2 The evolution process of land use unit in CA model

表1 1993~2000年新疆鄯善县土地利用类型面积变化

土地利用类型	1993年	2000年	土地利用净变化
Land use types			Net changes of land use
耕地 Cultivated land	15 703.72	15 075.48	- 628.24
园地 Garden plot	7 378.06	9 496.60	2 118.54
林地 Woodland	2 386.47	2 341.46	- 45.01
牧草地 Grassland	257 402.50	257 402.16	- 0.34
居民点及工矿 Residential and mining sites	6 586.03	7 302.39	716.36
交通设施 Transportation land	3 522.14	3 666.27	144.13
水利设施 Land for water conservancy	6 172.43	6 196.11	23.68
未利用地 Unused land	3 528 995.073	526 665.95	- 2 329.12

为了定量描述区域一定时间内土地资源数量的变化,可用土地利用动态度来表示。它对描述区域土地变化的速度及预测未来土地利用变化的趋势有着极其重要的作用。单

一土地利用类型动态度是用来表示研究区某一特定时间范围内某种土地利用类型的面积变化情况<sup>[2]</sup>,其公式为:

$$k = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中,  $U_a$  和  $U_b$  分别为研究期初和研究期末某一土地利用类型的面积;  $T$  为研究时段长, 当时间  $T$  为年时,  $K$  为研究时段内某一土地利用类型的年变化率。通过计算得出1993~2000年鄯善县8种土地利用类型, 耕地、园地、林地、牧草地、居民点及工矿、交通设施、水利设施和未利用地的单一动态度分别为 -0.57%、4.10%、-0.27%、0.00%、1.55%、0.58%、0.05%和-0.01%。

单一土地利用类型变化动态度指数反映了土地利用类型变化的速度, 变化率高的土地类型说明了该种土地类型变化速度快, 但不一定是变化的主要类型。该方法操作简便, 易于理解, 能够将复杂的土地变化过程简化和抽象, 为建立土地利用模拟预测模型起到重要的铺垫作用。

由表1可知, 7年间鄯善县土地利用面积变化较大。其中, 园地面积变化幅度最大, 主要是由于加工业和旅游业的发展, 使葡萄的种植面积扩大, 园地面积增加; 其次是居民点及独立工矿用地面积变化的幅度提高, 这是由于经济的发展, 工业用地面积迅速增加而造成的; 土地利用变化方向也呈现出不同的特征, 园地、工矿用地、交通设施和水利设施用地面积呈增加趋势, 耕地、林地和未利用土地面积则呈减少趋势。从变化速度来看, 各类土地利用变化中, 园地、居民点及工矿面积变化最快, 牧草地和未利用土地面积变化最慢。

**2.1 土地利用转移分析** 利用1993~2000年的土地利用现状变更数据, 构造出土地利用转移矩阵(表2)。转移矩阵的意义在于它不仅反映研究初期和末期的土地利用类型结构, 同时还可以反映研究时段内各土地利用类型的转移变化情况, 便于了解研究期初始各类型土地的变化去向以及期末各土地利用类型的来源与构成。此外, 针对某一种土地利用类型, 通过矩阵表可以计算出其流向百分比(表3), 便于分出促使该类型土地变化的主导类型和次要类型, 进而以此为突破口, 分析解释类型变化的原因, 为建立元胞自动机模型模拟和预测土地利用类型变化的趋势奠定基础。

由表2和表3可知, 耕地的变化主要流向园地、居民点用地和交通运输用地, 流入耕地土地类型主要是未利用地; 园地主要流向居民点用地和交通用地, 流入来源主要是耕地和未利用地; 牧草地大致保持不变; 农用地总体看是增加趋势, 增加的来源主要是未利用地; 居民点及独立工矿用地趋于增加, 转入的地类主要是耕地、园地和未利用地, 基本上没有转出的, 这反映出工业化和城镇化发展对农用地和未利用地的需求量逐渐增大; 经济的发展使得交通设施用地也是不断增加的, 转入类型主要是耕地、园地和林地; 水利设施用地变化不大, 流入类型主要是耕地和园地; 建设用地总体上呈增加趋势, 主要是由于经济的发展, 导致建设用地需求的增加; 未利用土地呈减少趋势, 是农用地和建设用地的增地来源。

### 3 土地利用变化模拟

**3.1 运用模型进行历史模拟** 模型中影响因素参数的确定是一个反复尝试和调整的过程。模型中的模型参数与模型

表2 1993~2000年鄯善县土地利用转移矩阵

Table 2 The transfer matrix of land use Shanshan County during 1993~2000

土地利用类型 Land use types	农用地 Agricultural land				建设用地 Construction land			未利用 土地 Unused land	合计 Total
	耕地 Cultivated land	园地 Garden plot	林地 Woodland	牧草地 Grassland	居民点及工矿用地 Residential and mining sites	交通运输用地 Transportation land	水利设施用地 Land for water conservancy		
耕地 Cultivated land	13 323.84	2 260.35		24.38	71.87	21.75	1.53		15 703.72
园地 Garden plot	62.82	7 218.07			85.75	6.62		4.80	7 378.06
林地 Woodland		0.47	2 339.12		43.88	1.33		1.67	2 386.47
牧草地 Grassland				257 377.78	0.00	21.67	3.05		257 402.50
居民点及工矿用地 Residential and mining sites	6.01	0.00	0.00	0.00	6 173.29	33.65	2.95	370.13	6 586.03
交通运输用地 Transportation land					29.52	3 492.60		0.02	3 522.14
水利设施用地 Land for water conservancy					5.34	0.54	6 166.55		6 172.43
未利用地 Unused land	1 682.81	17.71	2.34		892.74	88.11	22.03	3 526 289.333 528 995.07	
合计2000年 Total in 2000	15 075.48	9 496.60	2 341.46	257 402.16	7 302.39	3 666.27	6 196.11	3 526 665.953 828 146.42	

表3 1993~2000年鄯善县土地利用变化转移比重

Table 3 The transfer proportion of land use in Shanshan County during 1993-2000

%

土地利用类型 Land use types	农用地 Agricultural land				建设用地 Construction land			未利用 土地 Unused land	合计 Total
	耕地 Cultivated land	园地 Garden plot	林地 Woodland	牧草地 Grassland	居民点及工矿用地 Residential and mining sites	交通运输用地 Transportation land	水利设施用地 Land for water conservancy		
耕地 Cultivated land	84.83	14.40	0.00	0.16	0.46	0.14	0.01	0.00	100.00
园地 Garden plot	0.85	97.83	0.00	0.00	1.16	0.09	0.00	0.07	100.00
林地 Woodland	0.00	0.00	98.03	0.00	1.84	0.06	0.00	0.07	100.00
牧草地 Grassland	0.00	0.00	0.00	99.95	0.00	0.01	0.02	0.02	100.00
居民点及工矿 Residential and mining sites	0.09	0.00	0.00	0.00	93.73	0.51	0.05	5.62	100.00
交通运输用地 Transportation land	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	99.16	0.00	0.00	100.00
水利设施用地 Land for water conservancy	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.01	99.90	0.00	100.00
未利用地 Unused land	0.05	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	99.92	100.00

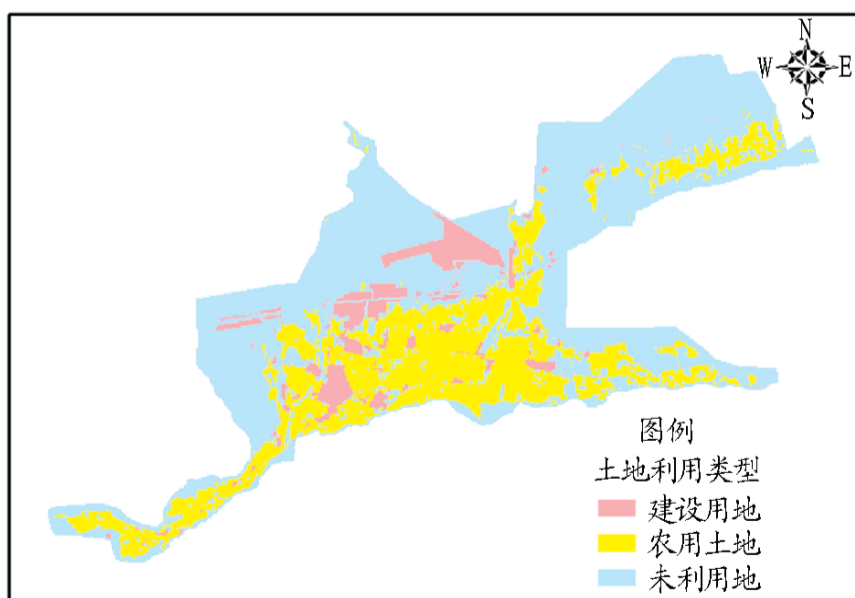


图3 鄯善县试验区1990年土地利用栅格单元图

Fig. 3 The land use grid units in the experimental area in 1990

结果之间存在不确定的关系,部分影响因素和控制因素在考虑中均为最大影响因素,但有可能在实际中是不能实现的,因此可以做必要调整。例如,关于道路的影响,考虑的是最大影响距离,但可能建设用地在最大距离处的生存和发展是不存在,因此,若建设用地的发展过快或空间分布过于分散,

并且许多新生单元的位置集中在最大影响范围处,在这种情况下,就应当适当缩小最大影响距离,这样预测的结果比较符合实际。

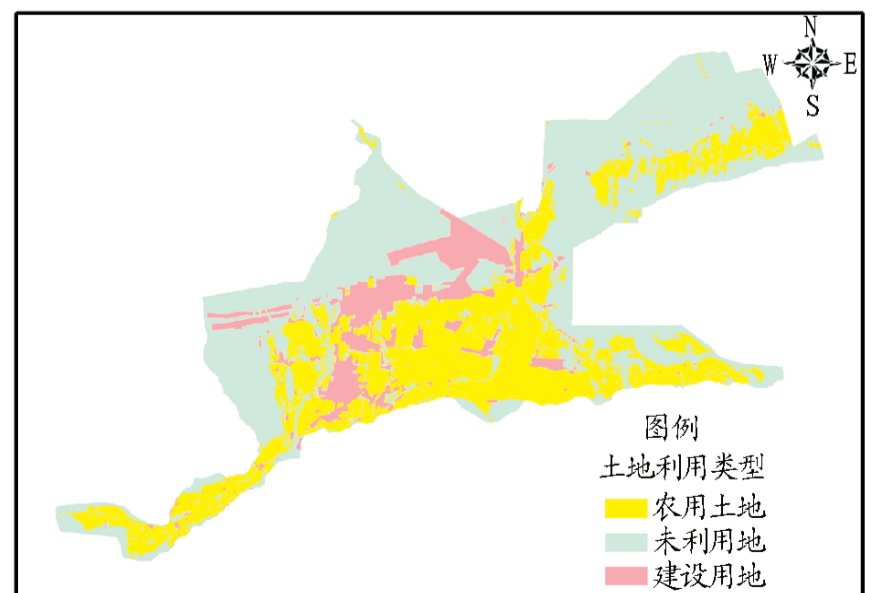


图4 鄯善县试验区2000年土地利用栅格单元图

Fig. 4 The land use grid units in the experimental area in 2000

在该研究中,最终确定影响因素参数的方法是通过已知两年的数据来优选判断因素参数。步骤为:已知1990和2000

年的土地利用状况,在一定的参数条件下让模型运行,当土地单元的总数与训练数据中土地单元的总数约相等时,停止模型运行,对模型运行的结果与检验数据进行比较,对农用地、建设用地和未利用地的空间分布进行比较,同时观察各自的发展速度,根据模拟数据与训练数据的比较结果来调整模型控制因素参数,用调整后的参数进行运算,对模拟的结果再进行分析。通过不断比较、分析和调整参数,最后确定一套较为合适的影响因素参数。影响因素参数取值只有0和1。是否满足条件是通过空间位置上单元的影响因素和控制因素是否满足生存条件来确定的。

由图3可知,1990年各种土地类型初始元胞数量:建设用地元胞数量为5314个,合计为1328.5 hm<sup>2</sup>;农用地元胞数量为19070个,合计为14767.5 hm<sup>2</sup>;未利用地初始元胞数量为42859个,合计为110714.75 hm<sup>2</sup>。

由图4得知,鄱善县2000年各种土地类型元胞数量,建设用地元胞数目为7268个,农用地元胞数目为24360个,未利用地元胞数目为35615个。

通过4轮的演变,鄱善县试验区的各类土地元胞数目大致与2000年数目相等。其中,建设用地元胞数为7303个,农用地元胞数目为25846,未利用地元胞数为34094个(表5和表6)。

表5 鄱善县试验区初始元胞及演化后元胞数目

土地利用类型	1990年	2000年	演化4轮后
Land use types	1990年	2000年	After 4 cycles of evolution
建设用地	5314	7268	7303
Construction land			
农用地	19070	24360	25846
Agricultural land			
未利用土地	42859	35615	34094
Unused land			

表6 鄱善县试验区初始各类土地面积及演化后各类土地面积

土地利用类型	1990年	2000年	演化4轮后
Land use types	1990年	2000年	After 4 cycles of evolution
建设用地	1328.50	1817.00	1825.75
Construction land			
农用地	4767.50	6090.00	6461.50
Agricultural land			
未利用土地	10714.75	8903.75	8523.50
Unused land			

由此可以推断,该模型运行一次的时间约是2.5年。时间明确后就可以利用该模型进行土地利用变化的预测。

**3.2 模型的评价与预测** 将模型继续运行2次,可得出2005年土地利用的预测数据,然后将图5和图6试验区2005年影像矢量化图(三类)进行空间叠加,比较分析后得出的预测试验区2005年土地利用概况为:建设用地元胞数量为7622个,计算后可知为1905.5 hm<sup>2</sup>;农用地元胞单元为29611个,约为7402.75 hm<sup>2</sup>;未利用土地元胞单元为30010个,计算得知为7502.5 hm<sup>2</sup>。根据图5的结果可知,2005年试验区建设用

地面积为2284.5 hm<sup>2</sup>,农用地为6900.24 hm<sup>2</sup>,未利用地7626.01 hm<sup>2</sup>。

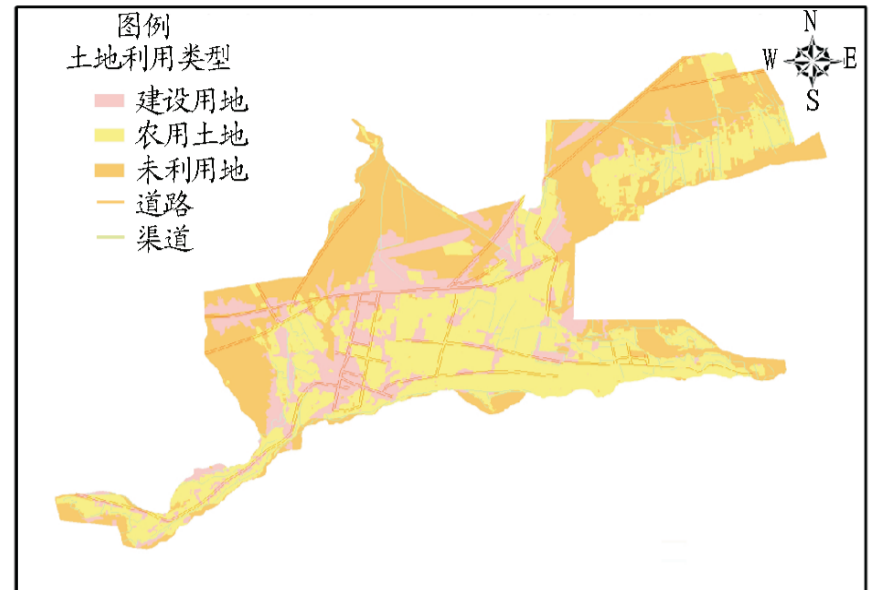


图5 鄱善县试验区2005年资源二号卫星影像矢量化图

Fig. 5 The vectorization of the image from resources No. 2 in the experimental area of Shanshan County in 2000

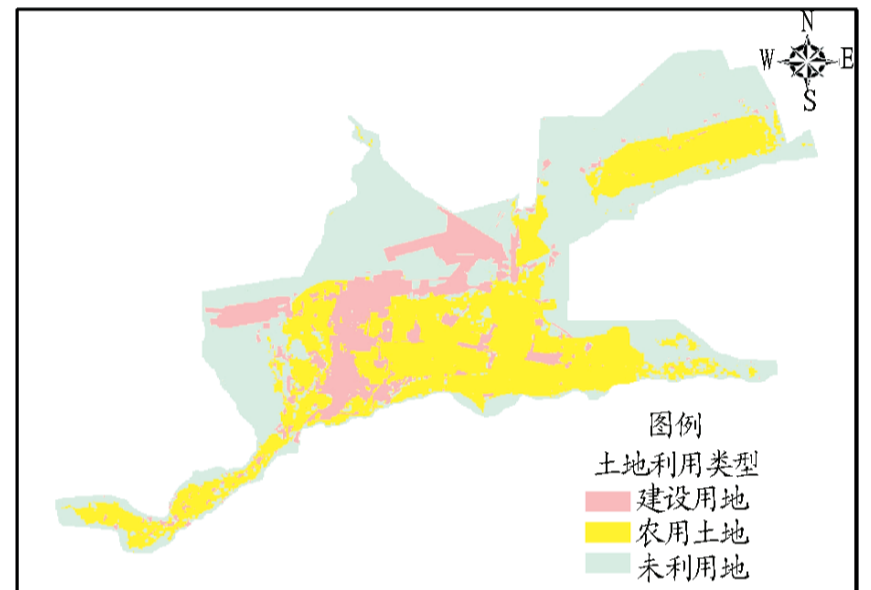


图6 预测鄱善县试验区2005年土地利用栅格单元图

Fig. 6 The predictive land use grid units in the experimental area in 2005

通过预测结果和实际结果的比较,从数量上可看出,预测建设用地比2005年少了379 hm<sup>2</sup>,预测精度仅为83.41%,究其原因,是由于位于试验区西边的鄱善县石材工业园区的面积大,其变化的特点不符合CA模型的特点,因而没有获得理想的CA模型预测效果,这也是该模型的局限性表现;空间位置进行叠加后,通过分类字段的选择可知,预测的单元有6521个元胞单元与图5的位置一致,预测正确比例为71.36%,从而得出,除了突变的建设用地元胞单元外,其余预测的元胞单元位置基本上与图5保持一致。

预测的农用地为7402.75 hm<sup>2</sup>,实际矢量化后导出结果为6900.24 hm<sup>2</sup>,预测结果比实际多了502.51 hm<sup>2</sup>。预测精度为92.72%,基本上与实际结果一致;空间位置上有21982个单元与2005实际结果空间位置上是一致的,预测正确比例为79.64%,这些相同结果的元胞单元来源主要集中在被农用地包围的未利用土地,而位置存在差异的耕地元胞单元主要集中在离居民点较远的地区。

预测未利用土地7502.5 hm<sup>2</sup>,2005年实际矢量化后结果为7626.01 hm<sup>2</sup>,未利用土地是未来耕地和建设用地的来源,因此,未利用土地的变化受到耕地和建设用地发展的制约,该研究中未利用土地与实际存在的差异也是由于建设用地

单元突变、新增耕地元胞单元在离居民点较远的区域发展所造成的。

在上述结果的基础上,运用模型进行2010年的土地利

用数据模拟预测,根据1990年的基础数据可以预测2010年试验区土地利用变化情况,其结果见图7和表7。

表7 2010年鄯善县试验区土地利用状况预测结果

Table 7 The prediction results of land use situations in the experimental area of Shanshan County in 2010

土地利用类型	1990年元胞 个	1990年面积 $\text{hm}^2$	2010年元胞 个	2010年面积 $\text{hm}^2$
Land use types	Cell in 1990	Area in 1990	Cell in 2010	Area in 2010
建设用地 Construction land	5 314.00	1 328.50	9 543.00	2 385.75
农用地 Agricultural land	19 070.00	4 767.50	32 212.00	8 053.00
未利用土地 Unused land	42 859.00	10 714.75	25 488.00	6 372.00

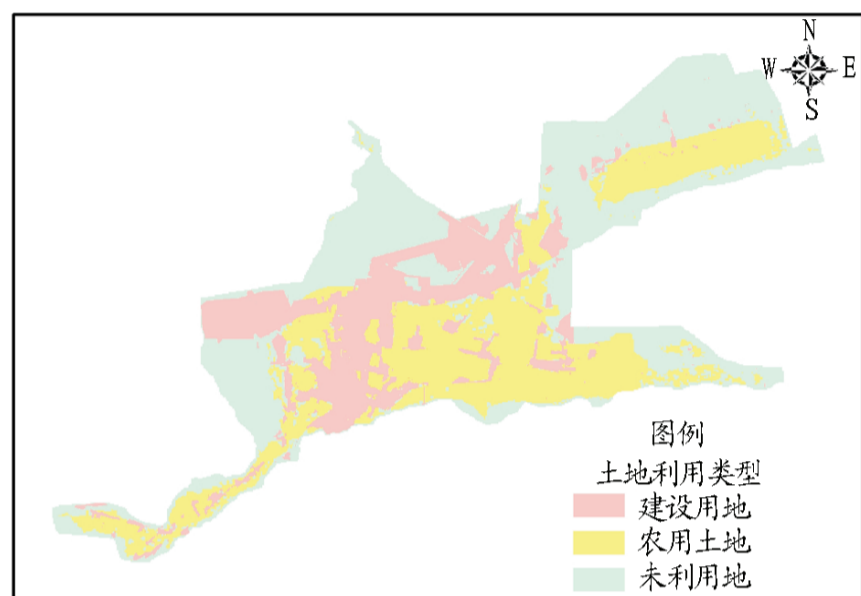


图7 鄯善县研究区2010年土地利用栅格单元

Fig.7 The land use grid units in the research area of Shanshan County in 2010

#### 4 结论

(1) 该研究在介绍传统的CA模型原理的基础上,论述了CA用于土地利用变化预测的合理性,为土地利用变化模型的研究开辟了一条途径。CA模型在土地利用变化的研究中有一定作用,CA模型对土地利用变化的研究不只是模拟,而重要的是为我们提供了一种用于分析土地利用变化发展的工具。

(2) 该研究根据研究区土地利用的特点及土地利用变化的特点构造各种土地利用类型的变化行为规则,并且根据不

同的土地类型,分析了各自的影响因素,并将不同影响因素通过图形表示出来,通过空间的叠加分析,判断出是否满足条件,这不但能够直观地显示结果,而且发挥了GIS软件的功能,为GIS软件与CA模型的集成打下了基础。

(3) 该研究把鄯善县县城附近作为试验区,运用构建好的CA模型进行土地利用的预测,并且取得理想的效果,说明CA模型进行土地利用的预测有巨大的优势,并能够结合地理信息手段予以完成和实现,为地理信息系统的发展开辟了新方向。

(4) CA理论应用于土地利用变化研究还处于探讨阶段,该研究中存在的问题主要有以下几个方面: 由于在研究中模型选取的控制因素相对有限,因而使模型预测精度方面受到一定的影响; 实际的土地利用变化十分复杂,受多种因素的影响,在制定模型转化参数的时候,虽然尽可能地考虑土地利用类型转化的可能性,但是仍然是比较经验性的,可能会与实际不相符; 在与地理信息软件结合进行CA模型的实现时,程序的实现效率较低,速度较慢,今后应当在模型的开发和实现方面作进一步探索。

#### 参考文献

- [1] 宋毓. 基于GIS和Geo-CA的土地利用模型研究——以阿克苏河流域为例[D]. 西安: 陕西师范大学, 2005: 1-2.
- [2] 刘纪远. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究——基于卫星遥感数据[J]. 第四纪研究, 2000, 20(3): 229-239.
- [3] 王文静, 王鹏, 乔卿梅. 鸢尾属植物的分类及应用价值[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(3): 1001-1002, 1027.
- [4] 董然, 赵坚洁. 鸢尾属花卉研究进展与应用开发[J]. 北方园艺, 2006(2): 86-89.
- [5] 张巧平, 尹增芳, 何祯祥. 中国鸢尾属植物研究概况[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(9): 3609-3611.
- [6] 齐春辉. 鸢尾属植物在园林中的应用[J]. 中国花卉园艺, 2006(19): 26-27.
- [7] 沈云光, 管开云, 王仲朗, 等. 四种国产鸢尾属植物种子萌发特性研究[J]. 种子, 2005, 24(12): 21-25.
- [8] 陈德芬, 杨焕婷, 马钟艳. 外源激素对鸢尾组织培养的影响[J]. 天津农业科学, 1997(9): 18-20.
- [9] 张金政, 石雷, 王平, 等. 有髯鸢尾“常春黄”的组织培养[J]. 植物生理学通讯, 2004, 40(2): 210.
- [10] 黄苏珍, 韩玉林, 谢明云, 等. 杂种鸢尾的组织培养和植株再生[J]. 植物生理学通讯, 2003, 39(6): 638.
- [11] 黄苏珍, 韩玉林, 谢明云, 等. 德国鸢尾的组织培养[J]. 江苏林业科技, 2000(S1): 27-37, 38, 44.
- [12] 黄洁, 马登萍. 德国鸢尾的组织培养试验[J]. 青海农林科技, 2008(1): 15-16.
- [13] 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [14] 冉懋雄. 中药组织培养实用技术[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2004.

(上接第6859页)

尾的组织培养中防止组织褐化效果明显; 外源激素2 ng/L 6-BA易引发褐变, 应用时可考虑少量添加, 2 ng/L K<sub>2</sub>和2 ng/L NAA对组织褐变影响不大, 考虑使用; 使用乙醇消毒剂时, 对外植体浸泡时间不能过长, 建议以5~10 s为佳; 全光照条件培养容易诱发褐变, 采用仿人工气候条件培养较其他条件培养可有效抑制褐变的发生, 条件允许时推广使用。

#### 参考文献