

# 内蒙古赤峰市松山区耕地演变模拟

盛艳, 秦富仓, 王桂华, 包斯琴

(内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

**摘要:** [目的] 揭示赤峰松山区耕地演变规律, 为该区土地利用合理规划管理、生态恢复和经济发展政策的制定提供科学依据。[方法] 基于 1990, 2000, 2010 年 TM 遥感影像解译数据, 分析研究区耕地动态变化特征, 采用 GIS 中多标准评价(MCE)方法, 结合元胞自动机—马尔可夫(CA-Markov)模型, 对 2020 年耕地空间格局变化进行模拟。[结果] 耕地的演变空间差异性显著: (1) 城郊区由于城镇化速度的加快, 大量耕地转化为建设用地。(2) 松山区西部石质山区, 该地区海拔较高, 坡耕地较多, 水土流失严重, 土壤贫瘠, 导致撂荒弃耕严重, 同时由于退耕还林政策的实施, 耕地在不断减少。(3) 松山区东部黄土丘陵台地区, 海拔相对较低, 地势平坦, 适宜于耕地开发, 增加的耕地主要源于未利用地和草地。(4) 2020 年研究区土地利用格局模拟图显示耕地的破碎化程度将有所缓减, 开始向规模化发展, 同时松山区耕地空间格局稳定性逐渐增强。[结论] 该模型模拟结果的精度较高, 依据耕地演变趋势, 科学合理的利用耕地, 制定相应的政策, 同时研究结果可为土地资源优化配置奠定基础。

**关键词:** 耕地演变; CA-Markov 模型; 模拟预测; 赤峰市松山区

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)01-0206-06

**中图分类号:** F301.24

**文献参数:** 盛艳, 秦富仓, 王桂华, 等. 内蒙古赤峰市松山区耕地演变模拟[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1):206-211. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.037; Sheng Yan, Qin Fucang, Wang Guihua, et al. Simulation of cultivated land evolution in Songshan District of Chifeng City, Inner Mongolia[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(1):206-211. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.037

## Simulation of Cultivated Land Evolution in Songshan District of Chifeng City, Inner Mongolia

SHENG Yan, QIN Fucang, WANG Guihua, BAO Siqin

(College of Desert and Engineering Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010019, China)

**Abstract:** [Objective] The paper aims to simulate the cultivated land evolution in Songshan District of Chifeng City, Inner Mongolia and provide scientific basis for the reasonable land use planning and management, ecological restoration and economic policy making. [Methods] The 1990, 2000 and 2010 TM remote sensing data was used to analyze the characteristic of cultivated land evolution in the study area. Using multi-criteria evaluation(MCE) method in GIS CA-Markov model, we simulated the spatial pattern of cultivated land in 2020. [Results] The cultivated land evolution showed significant spatial differences. (1) Due to the rapid urbanization in suburb, a large area of cultivated land has been converted into constructed land; (2) In rocky mountains of the west of Songshan District, more and more cultivated land have been abandoned due to serious soil erosion and poor soil resulted from higher elevation and steep slope, at the same time, the implementation of the policy of returning cultivated land to forest also led to the shrinking of cultivated land. (3) Altitude was relatively low and the terrain was flat in loess hilly region of eastern Songshan District, which was suitable for arable land. The increasing of cultivated land was mainly from the unused land and grassland. (4) In 2020, the simulated land use pattern of the study area showed that the fragmentation of cul-

**收稿日期:** 2016-09-09

**修回日期:** 2016-09-16

**资助项目:** 内蒙古应用研究与开发计划项目“半干旱区坡地资源农业高效利用技术集成”(20110709); 内蒙古高等学校科研项目(NJZY13070)

**第一作者:** 盛艳(1979—), 女(汉族), 内蒙古自治区乌兰察布市人, 博士, 讲师, 主要从事水土保持与土地利用方面的研究。E-mail: shengyan315@126.com。

**通讯作者:** 秦富仓(1966—), 男(汉族), 内蒙古自治区呼和浩特市人, 博士, 教授, 主要从事水土保持与荒漠化防治方面的研究。E-mail: qinfucang@126.com。

tivated land will be moderated, large-scale development will start. At the same time, the stability of cultivated land spatial pattern was increasing. [Conclusion] The precision of the model simulation results is high and provides support for cultivated land use planning and policy-making. At the same time, the results lay a foundation for the optimal allocation of land resources.

**Keywords:** cultivated land evolution; CA-Markov model; simulation; Songshan District of Chifeng City

土地利用演变过程是自然因素和人为因素共同作用的结果,土地利用演变是在特定的区域条件下,受气候条件、地形、地貌和水文等自然因子及社会经济发展的影响,使得土地利用不同类型之间相互转化。耕地是土地利用的一种重要形式,耕地演变是耕地转化为其它类型用地和其他类型用地转化为耕地的过程,所以对耕地演变模拟是以整个研究区的土地作为一个系统进行模拟研究,主要从时间序列的预测和空间格局的演变进行模拟研究。主要运用 CA-Markov 模型,元胞自动机(简称 CA)和 Markov 均属于动力学模型,具有状态离散和时间离散的特征<sup>[1-4]</sup>。Markov 模型是利用研究对象在不同状态的转化概率矩阵来预测未来的发生状态和变化趋势,是具有时间无后效性的随机转化过程。土地利用格局的演变虽然受到众多因素的驱动,但其演变过程具有随机性,所以运用 Markov 模型预测未来土地利用变化趋势具有可行性<sup>[5-6]</sup>。Markov 模型预测变化趋势只能反映时间序列上数量变化,无法表达土地利用空间格局的演变。CA 模型具有强大的空间分析和动态模拟功能,因此将 CA 模型模拟系统空间的复杂变化功能和 Markov 模型的数量变化趋势预测相结合,可以有效模拟松山区土地利用空间格局的演变<sup>[7-8]</sup>。本文拟利用 IDRISI 软件下 CA-Markov 模型对松山区耕地演变进行模拟,以期有效的对土地利用进行优化调控,为制定土地利用与生态环境建设规划及耕地高效利用和保护提供重要依据。

## 1 研究区概况

赤峰市松山区位于内蒙古自治区东部,赤峰市中南部,地理坐标北纬  $42^{\circ}01'$ — $42^{\circ}43'$ ,东经  $117^{\circ}47'$ — $119^{\circ}39'$ 。北与翁牛特旗接壤,南与喀沁旗毗邻,东隔老哈河与敖汉旗及辽宁省建平县相望,西与河北省围场县山水相连。松山区属北温带大陆性季风气候,年平均气温为  $5.6^{\circ}\text{C}$ ,年平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温  $3\ 131^{\circ}\text{C}$ ,年平均无霜期 155 d,年平均降水量 377.60 mm;年平均蒸发量 1 852 mm;年平均日照时数 2 799 h;全年太阳辐射量达  $507\ \text{kJ}/\text{cm}^2$ 。松山区总的气候特点是富日照,降水少,雨热同步,积温高,寒暑变化激烈,干湿周期明显,有利于作物的生长发育。但是其大陆性气候显著,气象灾害发生频繁,主要有春季大风干旱,

夏季洪涝冰雹,影响了耕地的综合生产能力。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源及处理

研究数据来源于 1990,2000 和 2010 年研究区的 TM 遥感影像和等高距为 10 m 的 1:50 000 的地形图。利用 ERDAS 9.2 软件对 TM 影像进行 4,3,2 波段的假彩色合成,使影像中的地物特征显示更加清晰,通过目视解译对 6 种典型地类进行训练样区选取,最后运用最大似然法对 TM 影像进行监督分类<sup>[9-10]</sup>。通过实地抽样调查对分类结果进行精度验证,总体精度达到 90.58%,Kappa 系数为 0.89。运用 ArcGIS 9.2 软件对分类结果中的 6 种土地利用类型进行面积提取<sup>[11]</sup>。在土地利用分类中参照的是 2001 年全国土地利用分类体系(征求意见稿)<sup>[12-13]</sup>,根据研究区土地类型特征,将土地利用划分为耕地、林地、牧草地、建设用地、水域及未利用地共 6 个地类。

### 2.2 CA-Markov 模型的构建

2.2.1 元胞、元胞空间和元胞状态的定义 由于 CA 模型中的元胞在结构上与栅格单元非常相似,本文依据研究区的范围和 CA-Markov 模型的运行速度将研究区元胞设置为  $30\ \text{m}\times 30\ \text{m}$ 。在土地利用格局演变模拟中,元胞状态应赋予相应的土地利用类型。本文将元胞状态定义为每个栅格的土地利用类型,分别为耕地、林地、草地、建设用地、水域和未利用地 6 种元胞状态。

2.2.2 邻域的定义 在 CA 模型中,元胞在下一时刻的状态由其本身状态和元胞邻域范围内的元胞状态所决定,所以如何定义元胞的邻域,对于模拟结果精度的影响较为显著<sup>[14-15]</sup>。本文主要运用了  $5\times 5$  的滤波器,即二维元胞自动机的扩展摩尔型的邻域模型。一个元胞周围由  $5\times 5$  个元胞所组成的矩形空间可对中心元胞状态转换产生较为显著的影响。

2.2.3 转换规则的定义 转换规则是 CA 模型的核心,转换规则制定是否合理,直接影响模拟土地利用格局的演变精确性,所以,转化规则的制定是构建 CA 模型的关键。

通过研究区耕地演变及土地利用类型的相互转化,使 CA-Markov 模型能够更加准确的模拟预测研

究区耕地演变,必须制定可行的土地利用转换规则。所以土地利用转换规则的制定是 CA-Markov 模拟预测研究区耕地的演变关键步骤。土地转换规则的空间显示是通过土地转换适宜性图来完成的,制定的所有转换规则结果用适宜性图表示,然后在 IDRISI 软件的 MCE 模块中将其组合为土地转换适宜性图集。

(1) 耕地转换规则。耕地类型的转换受到多方面因素的影响,对耕地的转换制定规则如下: ① 依据坡度对耕地的分布影响,将坡度大于  $15^\circ$  的区域划定为耕地的不适宜发展区域,限制该范围内的其他土地类型转化为耕地。同时,该区域范围内现有耕地也要逐步实施生态退耕。② 依据耕地地力评价成果,1,2,3 级耕地质量较高,土壤肥力高,丰产潜力大,4,5 级地是中低产田,质量较低,将五级耕地划定为可以转化为其他类型用地,而其他等级的耕地属于重点保护耕地,不允许转化为其他土地利用类型。③ 规划的生态保护区为不适宜耕地发展区域,在此区域内的土地不允许转化为耕地,将此区域的原有耕地逐步转为生态用地。④ 距离城市或城镇一定范围内的耕地允许转化为建设用地,距离松山区建成区外围 5 km 和距离其他 13 个乡镇所在地 3 km 范围内的耕地允许转化为建设用地。

(2) 建设用地的转换规则。由于建设用地是受人类活动影响程度最大的用地类型,所以具有不可逆性。对建设用地的转换制定如下规则: ① 现状已经建设的用地限制向其他用地类型转化。② 根据松山区经济发展,距离城市或城镇一定范围内的土地允许转化为建设用地,距离松山区建成区外围 5 km 和距离其他 13 个乡镇所在地 3 km 范围内的土地允许转化为建设用地。③ 规划的生态保护区在此区域内的土地不允许转化为建设用地,同时此区域的原有建设用地将逐步转为生态用地。④ 限制坡度大于  $15^\circ$  以上的区域向建设用地转化<sup>[16]</sup>。

(3) 林地、草地和水域。林地、草地和水域是属于受保护的生态用地,所以其转化规则较为简单,其他土地利用类型转化为林草地时,林草地尽可能集中连片。其中的湖泊、河流和水库应受到保护,不允许向其他土地利用类型的转换<sup>[17-18]</sup>。

(4) 未利用土地。未利用土地适宜向林草地、建设用地和耕地进行转化。

2.2.4 CA 模型循环次数的设定 循环次数的设定是依据土地利用格局变化的研究期来设定的,本文的模拟是以 1990,2000 和 2010 年的土地利用格局变化为基础,所以,本文循环次数的设定是 10,必须是等

间距的。如果设定的循环次数是 10,模型就会按照以 1 a 为间隔进行模拟运算。本文先以 1990,2000 年的土地利用变化数据为基础,预测 2010 年的土地利用格局,用以检验模型的预测精度,然后再以 2000 和 2010 年土地利用变化数据为基础,模拟 2020 年土地利用格局。

2.2.5 CA-Markov 模拟精度检验 模拟精度的检验是非常重要的,它可以验证 CA-Markov 模型的模拟准确性。

本文以 2000 年土地利用现状为基期,依据 1990—2000 年的土地利用转化概率和上述确定的土地转变适宜性图像集,采用 CA-Markov 模型对 2010 年土地利用格局进行模拟。研究期为 10 a 间隔,所以设置循环次数为 10。然后将模拟结果与 2010 年土地利用现状数据进行对比分析,以此验证模型的模拟精度的高低。

从数量和空间位置对 CA-Markov 模型的模拟精度进行验证。

(1) 数量方面精度验证。本文采用精度误差检验法对 CA-Markov 模型的模拟精度进行了检验,具体公式如下:

$$p = \frac{S_{im} - S_{is}}{S_{is}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $p$ ——第  $i$  类土地利用类型的误差精度; $S_{is}$  和  $S_{im}$ ——第  $i$  类土地利用类型的实际面积和模拟面积 ( $\text{hm}^2$ )。当  $p > 0$ ,表示  $i$  类土地的模拟面积大于实际面积; $p < 0$ ,则模拟面积小于实际面积; $p$  的绝对值越小,表示 CA-Markov 模型模拟精度越高。下同。

(2) 空间方面精度验证。将模拟的 2010 年土地利用格局图的 IDRISI 软件的 .rst 文件转化为 ArcGIS 中的栅格文件,然后在 ArcGIS 10 的工具箱中的空间分析将 2010 年土地利用格局的模拟图与现状图进行栅格相减运算,以此检验空间模拟精度<sup>[19-21]</sup>。具体公式如下:

$$p = \frac{N_b}{N_{iy} + N_b} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $N_{iy}$ ——第  $i$  类土地利用类型的模拟与实际一致的栅格个数(个); $N_b$ ——模拟与实际不一致的栅格个数(个)。

将模拟结果进行统计汇总,与 2010 年土地利用现状数据进行对比分析,由表 1 可知,建设用地模拟值比实际值偏小,误差较大,达到了 5.16%,草地和林地的误差分别为 2.51% 和 1.93%,耕地的误差为 1.01%,未利用地的误差较小,为 0.78%。从数量方面来说,模拟与实际值较为接近。从空间误差上看,

与面积误差较为一致,建设用地误差最大,达到了 8.39%,耕地的空间误差为 3.75%。总而言之,CA-

Markov 模型模拟结果的精度较高,能够反映土地利用格局变化总体趋势。

表 1 2010 年松山区不同地类模拟值与实际值误差分析

项目	耕地	林地	草地	建设用地	水域	未利用地
模拟值/hm <sup>2</sup>	183 061.95	178 899.18	156 964.35	20 021.68	13 380.65	10 570.52
实际值/hm <sup>2</sup>	181 231.52	175 515.74	161 005.59	21 111.22	13 380.65	10 653.62
面积误差/%	1.01	1.93	-2.51	-5.16	0.00	-0.78
空间误差/%	3.75	4.26	6.18	8.39	0.00	2.67

### 3 结果与分析

#### 3.1 耕地动态变化特征

利用 ArcGIS 9.3 的空间分析功能,将 3 期土地利用现状(附图 3-5)进行叠加分析,得出 1990—2000 和 2000—2010 年 2 个期间耕地转移情况(表 2)。

由表 2 可知,1990—2000 年耕地向其他土地利用类型转化依次为:建设用地>林地>未利用地>草地,耕地向建设用地的转化最大,减少的耕地中有 69.53%耕地转化为建设用地,其次为林地和未利用地,其转化率分别为 22.38%和 4.61%。耕地向林地的转化主要受国家政策的导向,赤峰市被国家列为三北防护林体系建设的重要基地。这一时期撂荒现象较为严重,原本不适宜开垦的土地变成耕地,由于受自然环境的影响,土层较薄,基岩裸露,无法继续耕种而弃耕。这一时期其他土地类型向耕地转化依次为:草地>未利用地>林地>水域,耕地增加的主要来源为草地、未利用地和林地,分别占增加耕地总面积的 41.22%,39.51%和 18.47%,毁林开荒是该时期耕地增加的重要原因之一,同时宜农后备土地资源较为

充足,从而导致大面积的开荒。建设用地没有向耕地转移。

2000—2010 年松山区减少的耕地主要转化为建设用地,占减少耕地总面积的 60.39%。由此可见,建设占用的耕地是这一时期耕地减少的主要原因,其次是耕地向林地和草地的转化,分别占减少耕地总面积的 27.37%和 6.88%,其主要源于退耕还林还草政策的实施。2000 年以来,在国家逐渐加大对赤峰市生态环境保护力度的宏观背景下,松山区的土地利用格局发生了显著变化,由于生态环境保护工程的实施,使得当地生态环境得到改善。2000—2010 年,研究区耕地增加的主要来源为未利用地、草地和林地,分别占新增耕地总量的 54.23%,42.44%和 2.00%。其他用地和牧草地是向耕地转化的最主要土地利用类型。近 10 a 来,人口持续增加和对粮食的需求的不断增大,使得不断开垦新的耕地,同时也为了增加收入,但该区处于生态环境脆弱区,自然条件差,土地退化现象较为严重,耕地需求增加与土地退化之间的矛盾日益尖锐,这是导致近年来松山区耕地变化的主要驱动因素。

表 2 1990—2010 年松山区耕地转移

年份	耕地转移面积/hm <sup>2</sup>					
1990—2000	耕地→林地	耕地→草地	耕地→建设用地	耕地→水域	耕地→未利用地	
	223.81	34.78	695.22	0	46.05	
2000—2010	林地→耕地	草地→耕地	建设用地→耕地	水域→耕地	未利用地→耕地	
	6 736.88	14 616.47	0	94.27	14 011.24	
2000—2010	耕地→林地	耕地→草地	耕地→建设用地	耕地→水域	耕地→未利用地	
	946.78	238.16	2 089.25	31.13	154.05	
2000—2010	林地→耕地	草地→耕地	建设用地→耕地	水域→耕地	未利用地→耕地	
	851.83	11 617.11	0	56.36	14 845.07	

#### 3.2 目标年耕地演变模拟结果

以 1990,2000 和 2010 年松山区土地利用数据为基础,依据土地利用类型转移概率矩阵和土地演变适宜性图集,应用 IDRISI Andes 15.0 软件中的 CA-Markov模型模拟 2020 年松山区的土地利用空间格局。

本文以 2010 年土地利用现状为基期,根据 2000—2010 年的土地利用转化概率和确定的土地转变适宜性图集,设置循环次数为 10。同时运用 CA-Markov 模型对 2020 年土地利用格局进行模拟。详细模拟结果见表 3。

模拟结果显示耕地在未来的 10 a 期间依然在增加,但增加速度明显缓慢,与 2010 年相比仅增加了 3.75%,建设用地也呈现增加的态势,增加了 3.40%,林地与 2010 年相比,增加了 1.59%,草地、

和未利用地在未来 10 a 将持续减少,减少较为明显的是未利用地,减少 9.77%。草地减少了 5.76%,由于水域在转换规则中制定为不允许向其他土地利用类型的转换,所以没有发生变化(附图 6)。

表 3 2020 年土地利用演变模拟结果

地类	耕地	林地	草地	建设用地	水域	未利用地
模拟值/hm <sup>2</sup>	188 027.07	178 312.36	151 737.18	21 828.76	13 380.65	9 612.32

通过对耕地演变模拟结果的统计,由图 1 可知,各个乡镇耕地的演变空间差异性显著。14 个乡镇中,有 4 个乡镇的耕地在目标年减少,分别为穆家营子镇、大庙镇、城子乡和大夫营子乡。其中穆家营子镇和城子乡属于城郊区,由于经济的发展和城镇化速度的加快,建设用地需求量增加,导致城郊区的大量耕地转化为建设用地。由于松山区政府在该区域进行开发投资建设,使众多生产要素聚集于此区域,由于集聚效益的存在,导致城镇规模在不断向外扩张,这一特征在模拟结果图显示较为明显。大夫营子乡和大庙镇位于松山区西部石质山区,大夫营子乡的耕地自 1990 年以来一直在不断减少,该地区海拔较高,很多耕地属于坡耕地,由于水土流失严重,土壤贫瘠,土地利用粗放,广种薄收,导致很多耕地撂荒弃耕,同时由于退耕还林政策的实施,众多坡耕地都退耕,到目标年耕地依然在减少。大庙镇的耕地 1990—2000 年在增加,从 2000 年之后直到目标年 2020 年耕地一直呈现减少状态,主要源于退耕还林还牧政策的实施。其他 10 个乡镇的耕地在目标年都不同程度的增加,太平地镇和夏家店乡耕地增加量较大,主要由于位于松山区东部黄土丘陵台地区,海拔相对较低,地势平坦,适宜于耕地开发,增加的耕地主要源于未利用地和草地。同样位于松山区东部黄土丘陵台地区的哈拉道口镇和安庆镇相对耕地增加较慢,由于其后备土地资源不足,耕地开发难度较大。

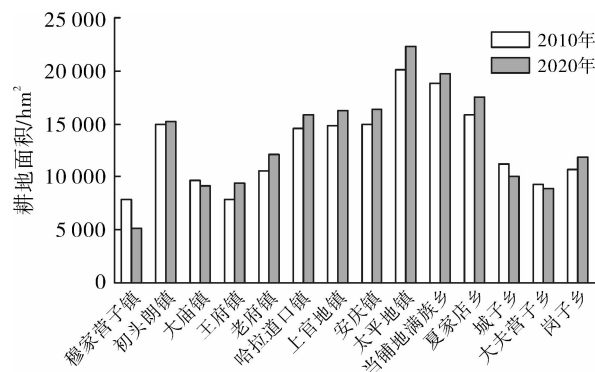


图 1 2010 和 2020 年各乡镇耕地面积对比

对 2020 年研究区土地利用格局模拟图进行耕地景观指数计算(表 4),2020 年耕地景观斑块数量减少到 3 021 个,平均斑块面积为 62.24 hm<sup>2</sup>,表明未来耕地景观的破碎化程度将有所缓减,开始向规模化发展。

耕地斑块边缘密度和斑块形状指数在 2020 年呈现出减少的趋势,同时斑块密度也在减小,表明耕地斑块形状的复杂性和不规则性减弱。

由于斑块密度的减小,表明松山区耕地空间格局稳定性逐渐增强,破碎化程度减小。面积加权分维数在增加,揭示人类活动对耕地景观格局的干扰程度较大。Shannon's 均匀度指数与 2010 年相比增长了,表明耕地各类型面积比例趋于稳定。

表 4 2010 与 2020 年耕地景观格局指数对比

年份	NP	MPS	ED	LSI	PD	AWMPFD	AI	SEI
2010	5 189	51.761 2	96.523 7	2.878 9	1.932 0	1.476 2	10.252 1	0.316 7
2020	3 021	62.240 0	85.431 7	2.761 2	1.703 1	1.317 6	12.035 4	0.371 9

注:NP 为景观斑块数;MPS 为平均斑块面积;ED 为边缘密度;LSI 为斑块形状指数;PD 为斑块密度;AWMPFD 为面积加权平均斑块分维数;AI 聚集度指数;SEI 为均匀度指数。

## 4 讨论与结论

(1) 为了使 CA-Markov 模型能够更加准确的模拟预测研究区耕地的演变,依据不同的土地利用类型的特点,分别制定了土地利用转化规则,在 IDRISI 软件的 MCE 模块中将制定土地转换规则通过土地转

换适宜性图来完成空间显示。通过模拟精度的检验可以表明所制定的转化规则是切实可行的。

(2) 从数量方面和空间方面进行了精度验证。将模拟结果与 2010 年土地利用现状数据进行对比分析得出,建设用地误差较大,达到了 5.16%,草地和林地的误差分别为 2.51%和 1.93%,耕地的误差为

1.01%,未利用地的误差较小,为0.78%。从数量方面来说,模拟与实际值较为接近。从空间误差上看,与面积误差较为一致,建设用地误差最大,达到了8.39%,耕地的空间误差为3.75%。总体来说,CA-Markov模型模拟结果的精度较高,能够反映土地利用格局变化总体趋势。

(3) 模拟结果显示耕地在未来的10 a间依然在增加,但增加速度明显缓慢。各个乡镇耕地的演变空间差异性显著,28.57%的乡镇耕地在目标年2020年呈现减少趋势,40.12%的乡镇耕地依然呈现快速增长态势。同时未来耕地的破碎化程度将有所缓减,开始向规模化发展,松山区耕地空间格局稳定性逐渐增强。

(4) 耕地演变模拟是一个极其复杂的过程,主要受经济、社会和政策等众多因素的影响,在制定土地利用转化规则中没有考虑到政策和经济等因素的影响,在未来的进一步研究中将这些因素尽量量化,参与到转化规则的制定中,使模拟结果更加真实合理。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 胡雪丽,徐凌. 基于 CA-Markov 模型和多目标优化的大连市土地利用格局[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1652-1660.
- [2] 黄勇. 基于 CA-Markov 模型的酉阳县土地利用变化及情景模拟研究[D]. 重庆:西南大学, 2013.
- [3] 汤洁,汪雪格,李昭阳,等. 基于 CA-Markov 模型的吉林省西部土地利用景观格局变化趋势预测[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2010, 40(2): 405-411.
- [4] 马泉来,高凤杰,张志民,等. 东北农林交错区土地利用景观及生态服务价值变化[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 265-271.
- [5] 黎夏,杨青生,刘小平. 基于 CA 的城市演变的知识挖掘及规划情景模拟[J]. 中国科学, 2007, 37(9): 1242-1251.
- [6] 刘家福,王平,李京,等. 基于 Markov 模型的长岭县土地利用时空变化研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(3): 16-19.
- [7] 王丽萍,金晓斌,杜心栋,等. 基于灰色模型—元胞自动机模型的佛山市土地利用情景模拟分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 237-242.
- [8] Guan Dongjie, Li Haifeng, Inohae T, et al. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model[J]. Ecological Modelling, 2011, 222(20): 3761-3772.
- [9] 陈颖彪,李雁,千庆兰,等. 基于 TM 数据的广州市番禺区土地覆被格局分析[J]. 地理科学, 2012, 32(4): 458-463.
- [10] Araya Y H, Cabral P. Analysis and modeling of urban land cover change in Setúbal and Sesimbra, Portugal [J]. Remote Sensing, 2010, 2(6): 1549-1563.
- [11] Wijesekara G N, Gupta A, Valeo C, et al. Assessing the impact of future land-use changes on hydrological processes in the Elbow River watershed in Southern Alberta, Canada[J]. Journal of Hydrology, 2012, 412: 220-232.
- [12] 马志昂,盖艾鸿,孙林军. 格尔木市盆地地区土地利用/覆盖变化时空演变[J]. 水土保持通报, 2015, 35(5): 268-273.
- [13] 常存,包安明,李均力. 塔里木河四源区耕地时空演变的驱动分析[J]. 干旱区研究, 2016, 33(2): 239-245.
- [14] 陈美娟,贾宁凤,兰轶鹏. 矿区土地利用变化及其政策驱动研究[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 272-276.
- [15] 申海建,郭荣中. 湖南省耕地资源动态变化及其驱动力研究[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 309-314.
- [16] 张荣天,焦华富. 宁镇扬丘陵区土地利用景观格局演变与模拟[J]. 测绘科学, 2016, 41(3): 85-90.
- [17] 涂起红,朱安繁,张龙华,等. 江西省耕地地力演变趋势研究[J]. 江西农业学报, 2016, 28(2): 17-21.
- [18] 童秋英,迟彬,汪如民. 基于土地利用数据的多维度耕地演变分析[J]. 地理空间信息, 2016, 14(3): 85-87.
- [19] 宋戈,王越,赵可,等. 东北区耕地利用系统安全格局模拟及其阈值的确定[J]. 地理研究, 2015, 34(3): 555-566.
- [20] 陈学渊,唐华俊,吴永常,等. 耕地格局时空动态变化过程和差异分析:以浙江安吉为例[J]. 中国农业科学, 2015, 48(21): 4302-4313.
- [21] 姚进忠,曾建军. 石羊河流域土地利用结构合理性评价[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 230-234.