

基于 Logistic-CA-Markov 模型的快速城市化地区土地利用结构变化研究

孙哲, 夏敏, 张敬梓

(南京农业大学 公共管理学院, 南京 210018)

摘要:研究快速城市化地区土地利用结构的变化并预测其未来发展趋势,可以为区域土地合理利用与配置提供参考。利用 Logistic-CA-Markov 耦合模型研究无锡市 2000—2010 年的土地利用结构变化,探讨其驱动因子,并区分目前趋势发展、生态环境保护和综合发展 3 种情景,对研究区 2020 年土地利用结构进行模拟和预测。结果表明,10 a 间无锡市建设用地增加了近一倍,主要来源于耕地;目前趋势发展情景下建设用地扩张仍明显,生态环境保护情景下建设用地不再增加,而综合发展情景下建设用地略有增加,耕地等地类减少不明显。对于无锡市这样的快速城市化地区而言,综合发展情景的模拟结果是比较理想的。

关键词:遥感和 GIS; Logistic-CA-Markov; 土地利用结构; 无锡市

中图分类号:F293.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)06-0213-05

Study on Land Use Change in Rapid Urbanization Area Based on Logisitc-CA-Markov Model

SUN Zhe, XIA Min, ZHANG Jing-zi

(College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210018, China)

Abstract: The study of land use change of rapid urbanization areas and prediction of future trends could provide a reference for rational and configurational regional land use. Logistic-CA-Markov model was used to study the land use structure change of Wuxi during the period of 2000—2010, the driving factors of change, and to distinguish the current trend, eco-environmental protection and the development of the three scenarios, and to imitate the land use structure of Wuxi in 2020. The result indicates that the construction land nearly doubled over last ten years which mainly derived from cultivated land. The construction land expansion was still evident in the current trend scenario. However, the construction land no longer increased in the eco-environmental protection scenario. In addition, the construction land increased and cultivated land declined slightly. The simulation result of the comprehensive development scenario is the ideal pattern of development for rapid urbanization.

Key words: RS and GIS; Logistic-CA-Markov; land use structure; Wuxi City

近年来,我国城市化水平不断提高,土地利用/土地覆被变化愈发显著,特别是在一些快速城市化地区,土地利用变化带来的土地利用矛盾日益突出^[1]。土地利用变化模拟模型逐渐成为研究土地利用变化过程的工具。各国研究者们开发出了多种模型用于分析和模拟土地利用结构变化,如随机模型、最优模型、基于智能体模型和经验模型等^[2-6]。CA-Markov 模型既具备了 CA 模型模拟复杂系统空间变化的能力,又具备了 Markov 模型精确预测土地利用类型

转化的能力,两者的结合具有较大的科学性和实用性,因而被广泛应用于土地利用结构变化建模与预测^[7-9]。然而,土地利用结构的变化受土地政策和社会经济条件等变化的影响,而这些变化往往是动态的,但 CA-Markov 模型使用的是静态的转换规则,因此模拟出来的结果往往与事实不吻合,存在着明显的局限性^[10-11]。Logistic 回归分析方法则可获取 CA 的转换规则,提高模型模拟的精度^[13-17]。

长三角地区是我国快速城市化的典型代表地区,

收稿日期:2013-04-17

修回日期:2013-05-14

资助项目:国土资源部公益性行业科研专项经费项目(200811087);中央高校基本科研业务费自主创新重点研究项目(KYZ201131);南京农业大学人文社会科学研究基金(SK2010008)

作者简介:孙哲(1988—),男,陕西县人,硕士研究生,主要从事土地评价和土地信息系统等方面的研究。E-mail:xiaozhunever@163.com

也是当前区域与土地科学研究的重点地区,因此本文选取具有代表性的快速城市化地区——无锡市,基于 2000 年、2010 年两个时期的遥感图像,通过 GIS 的空间分析功能,研究其 10 a 间的土地利用结构变化,利用 Logistic 回归分析研究土地利用结构变化的驱动因子并获取 CA 的转换规则,结合 IDRISI 软件提供的 CA-Markov 模型对其 2020 年土地利用结构分三种情景分别进行模拟与预测。以期为区域土地合理利用与结构优化、土地政策制定提供科学依据与参考。

1 研究区概况与数据处理

1.1 研究区概况

无锡市位于北纬 $31^{\circ}07'$ — $32^{\circ}02'$,东经 $119^{\circ}33'$ — $120^{\circ}38'$,地处江苏省南部、中国经济发达的长江三角洲中部,北靠长江,南濒中国第三大淡水湖——太湖;无锡四季分明,气候温和,年均气温 15.5°C ;日照充足,年均日照时数为 2 000 h 左右;雨量充沛,年均降雨量 1 000 mm 左右;地形以平原为主,水网密布,开发历史悠久;无锡是中国重要的经济中心城市、区域性交通枢纽和著名的旅游胜地,也是江苏省重点发展的特大型城市,人口 637 万,辖区总面积 4 787.6 km^2 ,其中农用地 2 443.4 km^2 ,建设用地 1 139.6 km^2 ,其他土地 1 204.6 km^2 ,分别占土地总面积的 51.0%,23.8%,25.2%。自改革开放以来,无锡市经济快速发展,城市化水平也大幅提高,据统计,从 1978 年到 2010 年,无锡市城市化水平从 20%增加到 69%。

1.2 数据及其预处理

土地利用数据的原始信息源为 2000 年 10 月 11 日成像的 Landsat TM 图像和 2010 年 9 月 21 日成像的 Landsat ETM+多光谱图像,分辨率均为 30 m,研究区轨道号为 119/038。在遥感软件 ENVI 中将两幅遥感影像进行几何精校正,并且以 2010 年影像为标准,在影像上选择分布均匀的控制点,实现两个图像数据间的配准,配准误差小于 0.5 个像元,以确保后续的叠加分析。随后结合无锡市行政区划线图,对遥感影像进行镶嵌。根据研究目的,参考《土地利用现状分类》国家标准,将土地利用类型划分为耕地、林地、建设用地、水域和未利用地 5 类(表 1),以土地的覆盖特征为主要分类依据,对遥感影像进行目视判读解译,得到 2000 年和 2010 年土地利用栅格数据。通过实地勘察验证,其分类精度均超过 90%。

为研究无锡市土地利用类型变化的驱动力,根据

遥感影像判读获取两期线状地物数据,通过与研究区同时期交通旅游图的对比,确定了 2000 年和 2005 年国道和铁路线。收集了无锡市为 1:10 万的地形图并在地理信息系统软件 ArcGIS 中完成数字化,建立 DEM 模型,据此生成研究区高程图和坡度图。研究区社会经济统计数据则来源于 2000 年和 2010 年无锡市统计年鉴,为便于后续研究,在 ArcGIS 中按区县录入后栅格化,并采用栅格计算器进行标准化计算,得到值域为[0,1]的栅格图层。

2 研究方法

2.1 Logistic 回归模型

Logistic 回归模型主要进行二分类或多分类因变量分析,目前被广泛应用于土地利用变化驱动力的研究中^[12-15]。Logistic 回归模型的方程为:

$$\lg(\frac{P_i}{1-P_i})=\beta_0+\beta_1 X_1+\beta_2 X_2+\cdots+\beta_n X_n$$

式中: P_i ——每个栅格可能出现某一土地利用类型 i 的概率; X ——各影响因子; β_0 ——常数项; β_i ——Logistic 回归的偏回归系数。Logistic 回归模型可以对每一个栅格出现某一地类的概率进行诊断,筛选出对土地利用类型格局影响较为显著的因素,并确定它们间的定量关系和作用大小,通常可用 ROC(relative operating characteristics)方法进行检验^[18]。本文中 Logistic 回归分析在统计分析软件 SPSS 中完成。

2.2 CA-Markov 模型

CA 与 Markov 均为时间离散、状态离散的动力学模型,均被广泛应用于土地利用变化研究当中^[6-11],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,两者的结合有利于实现土地利用的动态模拟。IDRISI 所提供的 CA-Markov 模块集成了元胞自动机与马尔可夫程序的功能,能较好地进行土地利用变化情景模拟^[19]。

3 结果与分析

3.1 土地利用结构变化

利用 ArcGIS 的空间分析功能分析无锡市 2000—2010 年土地利用类型面积变化及土地利用类型转移情况,结果见表 1—2。

表 1 2000—2010 年无锡市土地利用类型面积变化

项 目	耕地	林地	水域	建设用地	未利用地
2000 年/ km^2	2325.60	558.27	1004.06	893.23	6.44
2010 年/ km^2	1586.92	550.21	897.85	1750.78	1.84
增加面积/ km^2	-738.68	-8.06	-106.21	857.55	-4.60
变化幅度/%	-31.76	-1.44	-10.58	96.01	-71.43

表 2 2000—2010 年无锡市土地利用类型转移矩阵

土地利用类型		耕地	林地	水域	建设用地	未利用地	转出	合计
耕地	A	1313.78	142.51	15.12	853.72	0.47	1011.82	2325.6
	B	56.49	6.13	0.65	36.71	0.02		
林地	A	99.82	383.36	2.51	72.30	0.28	174.91	558.27
	B	17.88	68.67	0.45	12.95	0.05		
水域	A	75.40	0.80	877.05	50.71	0.1	127.01	1004.06
	B	7.51	0.08	87.35	5.05	0.01		
建设用地	A	97.81	21.44	3.04	770.50	0.44	122.73	893.23
	B	10.95	2.40	0.34	86.26	0.05		
未利用地	A	0.11	2.10	0.13	3.55	0.55	5.89	6.44
	B	1.71	32.61	2.02	55.12	8.54		
转入		273.14	166.85	20.80	980.28	1.29		
合计		1586.92	550.21	897.85	1750.78	1.84		4787.6

注:表中行表示 2000 年无锡市*i* 种土地利用类型,列表示 2010 年无锡市*j* 种土地利用类型;A 表示 2000 年的土地利用类型转变为 2010 年各种土地利用类型的面积,单位:km²;B 表示 2000 年*i* 种土地利用类型转变为 2010 年*j* 种土地利用类型的比例,单位:%。

10 a 间,耕地、林地、水域和未利用地比例均有不同程度的减少,分别由 2000 年的 48.58%,11.66%,18.66%,0.13%减少到 2010 年的 33.15%,11.49%,18.75%,0.00%。其中,林地面积在这 10 a 间的变化不大,但是其与耕地之间的转换比较大,这与近 10 a 来的农地整理和农业结构调整有关;水域的面积有所减少,一部分转移为耕地,另一部分则转移为建设用地,从遥感图像中可以看到无锡市长江沿岸新建了一些港口,同时区内的一些水塘被填埋用作建设用地;2010 年未利用地几乎全部被利用,说明随着无锡城市化的发展,后备土地资源已十分紧张;10 a 间,耕地面积减少幅度最为剧烈,2010 年相比 2000 年减少了 738.68 km²,占到了 2000 年耕地面积的 31.76%。

用地面积唯一增加的是建设用地,10 a 间增加了将近一倍,其中大部分来源于耕地。这与无锡市城市化速度较快有直接关系,由于经济的发展和人口的增加导致了居民对住房、居住环境、道路交通和公共设施要求的提高,从而使得城镇用地不断扩张。同时,

随着经济的发展,大量乡镇企业的兴建,以及外资工厂的兴建,都占用了一定量的耕地资源。

3.2 土地利用结构变化驱动因子分析

总结已有的关于经济发达地区土地利用结构变化驱动因子的研究,根据研究区现状,本文选取自然、社会经济、人口和可达性 4 个方面 10 个驱动因子(表 3),提取其栅格属性信息并导入到 SPSS 软件中,采用 Logistic 逐步回归模型对无锡市 2000 年到 2010 年土地利用变化的相关驱动因子进行分析,并对所得结果进行 ROC 检验,筛选出对土地利用变化有显著影响的因子,进而分析其驱动机制,为元胞自动机提供转换规则。各地类 ROC 检验值均达到了 0.9 以上,表明 Logistic 回归模型对无锡市土地利用类型的驱动因子的分析较为准确可信(表 4)。

表 3 Logistic 回归模型驱动因子

自然因子	社会经济因子	人口因子	可达性因子
高程	GDP	人口总数	到国道的距离
坡度	第一产业生产总值	人均收入	到铁路的距离
	第二产业生产总值		到城镇的距离

表 4 土地利用类型及驱动因子 Logistic 回归模型系数

土地利用类型	DEM	SLP	GDP	PIP	SIP	POP	PCI	GUO	RAIL	CITY	ROC
耕地	2.24	2.36	-19.52	24.34	-3.26	-26.84	-18.55	-10.42	-9.23	62.56	0.921
林地	18.63	16.91	-54.98	9.62	-40.35	-33.52	-30.89	-18.22	-19.65	-33.59	0.968
水域	1.89	3.67	10.25	4.69	1.20	9.88	8.67	-2.26	-3.56	-0.56	0.972
建设用地	0.64	-3.68	15.63	-13.56	18.41	22.31	20.49	8.69	5.36	95.88	0.902
未利用地	10.36	18.75	-2.41	1.38	-4.80	-6.37	-5.33	-0.59	0.24	0.13	0.988

注:DEM、SLP、GDP、PIP、SIP、POP、PCI、GUO、RAIL、CITY 分别表示数字高程、坡度、GDP、第一产业产值、第二产业产值、人口、人均收入、与国道的距离、与铁路的距离、与城镇的距离。

由表 4 可知,耕地的分布主要受到坡度、GDP、第一产业产值、人口、国道和城镇的影响。自然地理要素中,海拔较高,坡度较大的区域不适合耕种,多转化

为经济林地。经济和社会人口要素中,耕地多分布于 GDP 较低,第一产业产值较高,人口较少的区域。可达性要素中,耕地多分布在国道和铁路周边,距离城

镇较远,距离农村居民点较近的区域。

林地主要分布在海拔、坡度较高的丘陵区。受到 GDP、人口、人均收入、到城镇距离的负影响,而第一产业产值对林地的分布有着积极的作用。

无锡作为鱼米之乡,水域密集分布于海拔低,无坡度的平原地区。水域距城镇较近,这一区域人口较多,收入较高。由于铁路和国道不便通过水域,所以水域与铁路和国道的距离较远。

作为快速城市化地区,无锡的建设用地增长较快,与城镇的分布有重要关系。坡度较高的丘陵地区鲜有分布,多分布在坡度较低的平原地区。GDP、第二产业产值、人口、人均收入对建设用地的分布有着积极的正影响。同时,建设用地距离国道和铁路的距离较近,可以极大地方便建设。

未利用地主要与高程、坡度、人口、与铁路的距离有关。多分布在海拔较高、坡度较大、人口稀少、铁路周边的区域。

3.3 土地利用结构情景模拟

采用 IDRISI 软件中的 CA-Markov 模型预测无锡市 2020 年土地利用结构的步骤如下:(1) 以 2010 年无锡市土地利用图为模拟的基础图像,即以 2010

年为预测的起始时刻。由于土地利用结构变化分析选取的两个时期间隔 10 a,即预测的步长为 10,为了保证预测精度,取预测的下一个时期为 2020 年;(2) 根据以上 Logistic 回归分析模型,确定每个栅格单元土地利用类型概率即元胞自动机的转换规则,从而得到土地利用类型的空间分布概率适宜图。借助 IDRISI 软件中的 Markov 模块,设定反映下一个时期各土地利用类型转换为其他土地利用类型的概率矩阵(比例误差设为 0.15);(3) 定义元胞自动机滤波器以确定改变元胞状态所依据的邻域元胞结构,本文采用 5×5 的滤波器,认为一个元胞周围 5 个×5 个元胞组成的矩形空间对该元胞状态的改变具有显著影响;(4) 确定预测时期与初始时期的时间间隔,即元胞自动机迭代次数,已确定下一个预测期为 2020 年,故迭代次数为 10,模拟的结果是 2020 年无锡市土地利用结构。

依据无锡市制定的相关政策以及无锡市土地利用总体规划修编等资料,本文通过修正不同地类之间的转移概率^[8],按目前趋势发展、进行生态环境保护和综合发展 3 种情景模拟和预测无锡市 2020 年土地利用结构,结果见表 5 和附图 7。

表 5 无锡市 2020 年不同情景下土地利用结构					km ²
情景	耕地	林地	水域	建设用地	未利用地
目前趋势发展情景	1032.58	530.77	879.43	2344.41	0.41
生态环境保护情景	1730.28	593.47	1071.45	1390.57	1.82
综合发展情景	1401.71	527.64	893.51	1963.92	0.82

目前趋势发展情景:该种情景下,土地利用结构按照 2000—2010 年土地利用结构变化趋势发展,各地类之间的转移概率不发生变化。通过对比可知,从数量上看,耕地面积仍在减少,减幅达 33.82%,但相对于 2000—2010 年的减幅有所减缓;林地、水域的面积变化不大,分别减少了 5%,2.42%。由于经济发展的需求以及人口的不断增加,未利用地面积进一步减少,全市基本再无大面积的地块可供开发利用;建设用地不断增加,不过增幅有所减缓,增加了 577.06 km²,增幅为 32.67%。

生态环境保护情景:该种情景旨在使研究区生态环境的恶化趋势得到缓解,因此在转移矩阵中规定耕地、林地、水域不再转变为建设用地。从附图 7 和表 5 中可以看到,建设用地的区域范围与 2010 年基本相似,表明其扩张得到了较好的控制;统计结果表明其面积略有减少,一部分建设用地转变为耕地、林地以及水域,这对于控制生态环境的恶化将起到良好的作用。

综合发展情景:要实现区域可持续发展,必须在

发展好经济的同时,保护好生态环境,因此在该种情景中,将耕地转化为建设用地的速率减缓 50%。结果表明,建设用地略有增加,耕地面积减少较少,林地与水域面积基本没有减少;而从空间上看,建设用地的扩张也得到了很好的控制,其地物分类界限更加清晰,表明用地趋于集聚,这将有利的未来的土地集约和节约利用,有利于缓和人地矛盾,达到生态环境和经济协调发展的局面。

4 结论

在 RS 和 GIS 技术的支持下,本文采用 Logistic-CA-MARKOV 模型对无锡市土地利用结构变化及趋势进行了模拟,结论如下:

(1) 对 2000 到 2010 年研究区内土地利用面积变化和土地利用类型转移情况的研究表明,无锡市建设用地面积增加明显,其他地类面积均有不同程度的减少;土地利用结构变化主要表现为耕地与建设用地之间的转换,林地、水域和未利用地变化相对较小。对 2020 年三种情景下的模拟预测表明,综合发展情

景的模拟结果相对于其他两个情景来说,是一种比较理想的发展模式,对今后地区土地利用规划管理具有一定的借鉴意义。

(2) 本文应用 Logistic-CA-MARKOV 模型,对研究区土地利用结构进行情景模拟。其优点在于省去了人为选取因子、进行权重确定和空间叠加的过程,更具有客观性。与传统模型相比,该方法能够反映城市土地利用变化的复杂性和随机性,表述其中的时空信息,并且简单易行,能真实地模拟和预测城市土地利用变化,模拟结果可信。

(3) 为了能更好地为土地政策的制定提供可靠的数据支持,今后研究中需要进一步提高模型的模拟精度。首先,元胞尺度越小,预测结果在数量和空间上的预测精度就越高,未来研究拟使用高分辨率的遥感影像,从而获得更加准确的土地利用数据。其次,要对各种土地利用类型转变的驱动因子反复进行论证,以取得最具代表性的驱动因子进行回归分析,为确定元胞转换规则提供可靠依据。再次,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,要正确评价各种土地利用类型转变的难易程度,据此确定元胞转换规则。

参考文献:

- [1] 罗鼎,许月卿,邵晓梅,等.土地利用空间优化配置研究进展与展望[J].地理科学进展,2009,28(5):791-797.
- [2] Wang X, Yu S, Huang G H. Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level[J]. Landscape Urban Plan,2004,66(2):61-74.
- [3] Manson S. Agent-based modeling and genetic programming for modeling land change in the Southern Yucatan peninsular region of Mexico[J]. Agriculture, Ecosystems & Environ,2005,111(1/2/3/4):47-62.
- [4] Evans T P, Kelley H. Multi-scale analysis of household level agent-based model of landcover change[J]. J. Environ. Manage.,2004,72(1/2):57-72.
- [5] Agarwal D, Silander J J, Gelfand A, et al. Tropical deforestation in Madagascar: Analyses using hierarchical, spatially explicit, Bayesian regression models[J]. Ecological Modelling,2005,185(1):105-131.
- [6] 刘荣,高敏华,谢峰.基于 Logistic 回归模型的土地利用格局模拟分析[J].水土保持研究,2009,16(6):74-78.
- [7] Howard D M, Howard P J A, Howard D C. A markov model projection of soil organic carbon stores following land use changes[J]. Journal of Environmental Management,1995,45(3):287-302.
- [8] 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.
- [9] 王剑,徐美.基于马尔柯夫模型的漾濞江流域土地利用变化预测[J].水土保持研究,2011,18(5):91-95.
- [10] 鄢铁平,廖炜.丹江口库区土地利用结构与格局优化[J].水土保持研究,2012,19(1):11-15.
- [11] 杨娟,王昌全,夏建国.基于元胞自动机的土地利用空间规划辅助研究:以眉山市东坡区为例[J].土壤学报,2010,47(5):847-856.
- [12] 谢花林,李波.基于 Logistic 回归模型的农牧交错区土地利用变化驱动力分析:以内蒙古翁牛特旗为例[J].地理研究,2008,27(2):294-304.
- [13] Wu F. Calibration of stochastic cellular automata: The application to rural-urban land conversions[J]. International Journal of Geographical Information Science,2002,16(8):795-818.
- [14] 冯永玖,刘妙龙,韩震.集成遥感和 GIS 的元胞自动机城市生长模拟:以上海市嘉定区为例[J].长江流域资源与环境,2011,20(1):9-13.
- [15] 陆张维.土地利用总体规划中心城区建设用地布局研究:基于城市复杂系统的视角[D].杭州:浙江大学,2012.
- [16] 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.
- [17] 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,1999.
- [18] 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.
- [19] IDRISI 中国[EB/OL]. <http://www.idrisi.cn/ks.html>.