

基于系统动力学的土地利用变化研究

秦 钟¹, 章家恩¹, 骆世明¹, 吴志峰²

(1 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642; 2 广东省生态环境与土壤研究所, 广东 广州 510650)

摘要:利用遥感图像结合 GIS 技术得到的广州市土地利用结构资料,根据 1990—2000 年土地利用转移概率矩阵,运用系统动力学模型 STELLA 对研究区域内土地利用动态变化进行了模拟,并对研究区未来土地利用演变趋势进行了预测. 结果表明,利用系统动力学模型对土地利用结构进行模拟和预测是一种可行的方法,未来 10 年广州市的土地利用结构表现为建设用地持续增加、耕地持续减少和未利用土地得到进一步开发的趋势,但其变动幅度将逐渐趋向平稳.

关键词:土地利用变化; 系统动力学模型; 预测

中图分类号: TP391.9; F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2009)01-0089-05

Study on the Trend of Land Use Based on System Dynamics

QIN Zhong¹, ZHANG Jia-en¹, LUO Shi-ming¹, WU Zhi-feng²

(1 College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Guangdong Institute of Eco-Environment and Soil Science, Guangzhou 510650, China)

Abstract: Based on the information of Guangzhou City's land use pattern provided by RS and GIS technique as well as the land use type transition probability matrix of 1990—2000, the dynamic model was developed with STELLA software to simulate possible land flows and predict the local land use structure. The results indicated that in the following ten years, the land use structure of Guangzhou City showed the trend of building land continual increasing while the cultivated land and un-used land continual decreasing. STELLA is a feasible method in modeling the temporal evolution of the spatial complex system.

Key words: land use change; the dynamic simulation model; predict

土地利用/土地覆盖是全球环境变化和可持续发展研究中的热点之一. 区域土地利用变化反映了人类在一定时间范围和空间区域内对土地的使用方式的改变,其研究对土地持续利用模式与区域战略等方面都具有重要意义. 自 20 世纪 90 年代以来,人们通过对不同时期遥感图像的分析、野外调查观测、采样分析、模型模拟和地理信息系统相结合,研究土地利用变化、驱动机制及其对区域生态环境和生态过程的影响,取得了一定的进展^[1-2]. 这其中,根据不同的研究目的、途径等构建土地利用变化模型已成为深入了解土地利用变化成因、过程,预测未来发展变化趋势及环境影响的重要途径,为许多研究土地利用变化的学者所普遍采用^[3-8].

土地利用及其变化是一个相当复杂的现象与过

程,描述土地利用变化的模型也多种多样,从不同的角度来区分不尽相同. 系统动力学模型也以现实存在的系统为前提,根据历史数据、实践经验和系统内在的机制关系建立的动态仿真模型,近年来在人地关系、土地利用/土地覆盖变化、土地利用规划等方面已成为一种不可或缺的技术手段. 本文利用系统动力学模型结合 GIS 技术,模拟了土地利用格局的变化并预测其未来的演变趋势,以期切实保护好现有的土地资源,促进土地利用结构的不断优化提供科学依据.

1 数据来源

本文所采用的基本资料来自于杨国清等^[9]. 土

收稿日期: 2007-12-28

作者简介: 秦 钟 (1973—), 女, 讲师, 博士; 通讯作者: 章家恩 (1968—), 男, 教授, 博士, E-mail: jeanzh@scau.edu.cn

基金项目: 广东省软科学研究项目 (2006B70103029); 华南农业大学校长基金 (4100-K06327)

地利用数据的原始信息源为1990年与2000年的Landsat TM(地面分辨率为30 m × 30 m)遥感图像,经过了辐射纠正、几何纠正及RGB假彩色合成,参照1:100 000地形图数据,在Idrisi软件的支持下对遥感影像进行目视判读解译,得到1990年和2000年土地利用矢量数据.在此基础上利用GIS空间叠置分析功能,将1990年与2000年土地利用矢量图叠置,统计得到10年间土地类型变化情况.

2 研究方法步骤

2.1 构建概念模型

根据研究目的和国家土地类型分类标准,将广州地区土地利用类型分为建设用地、耕地、林地、园地、水域和未利用地6种.在利用系统动力学模型建模时,可将这6类土地利用类型视为该区域土地利用系统中的6个“库(stock)”,它们之间的相互转化可视为“流”,影响状态变量变化的因素即为“流速变量”(即本研究中的状态转移概率),其他因素则作为辅助变量或常量,各土地利用类型间的相互转化即构成系统内部的反馈关系,由此而建立的概念模型如图1所示.

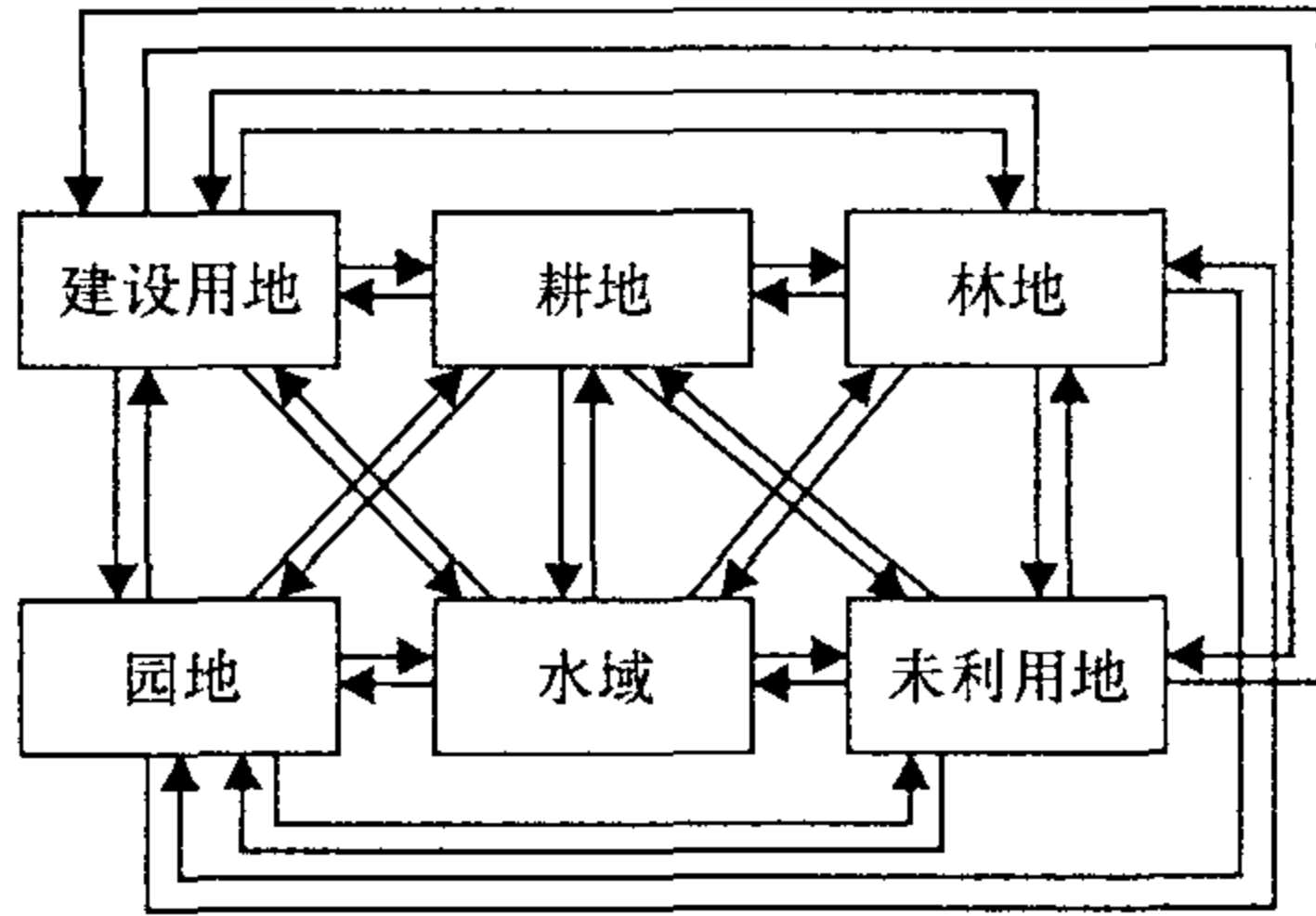


图1 广州地区土地利用类型变化的概念模型

Fig. 1 Concept model of land use type transition in Guangzhou

2.2 模型参数赋值

为了定量地分析各子系统间(库)的相互转换关系,利用广州市1990—2000年土地利用现状变更数据(表1),计算这一时期各类型土地的平均转化率即转移概率.例如要计算耕地转移到其他土地类型的概率,可先分别计算出各年耕地转移到园地、林地、建设用地等其他土地类型的数量之和,得到耕地在该时间段内分别转移到其他土地类型的平均值,再将这些平均值除以耕地在该时间段内的平均面积,即得到耕地在该时间段内转移到其他土地类型的概率,这些概率之和等于1.依此类推,得到初始状态转移概率矩阵(表2).

2.3 模型检验

为了检验模型的准确性,首先以1990年广州地

区土地利用格局为初始状态,向已经建立的概念模型输入已知数据,利用系统动力学模拟软件STELLA进行仿真.

表1 1990—2000年广州地区土地利用类型面积变化¹⁾

Tab. 1 Change of land-use type in Guangzhou during 1990—2000 km²

土地类型	1990年		2000年		10年间变化值	10年间变幅/%
	面积	占比/%	面积	占比/%		
耕地	2 185.91	30.45	1 946.59	27.11	-239.32	-10.95
林地	2 930.97	40.82	2 888.38	40.23	-42.59	-1.45
园地	751.29	10.46	759.01	10.57	7.72	1.03
水域	504.46	7.03	506.69	7.06	2.23	0.44
建设用地	685.23	9.54	973	13.55	287.77	42.22
未利用地	133.93	1.87	118.11	1.65	-15.82	-11.82

1)表中数据引自杨国清^[9]

表2 1990—2000年广州地区土地利用类型转移概率矩阵

Tab. 2 Transition probability matrix of land-use types in Guangzhou during 1990—2000 %

土地类型	建设用地	耕地	林地	园地	水域	未利用地
建设用地	98.01	0.44	0.62	0.86	0.06	0
耕地	7.96	87.21	0.28	4.07	0.08	0.40
林地	1.29	0.44	97.53	0.51	0.02	0.21
园地	5.67	1.72	1.61	90.43	0.28	0.29
水域	0.15	0.15	0.18	0.07	99.44	0
未利用地	16.83	2.75	4.83	0.05	0	75.55

2.4 土地利用类型的系统动力学预测

类似地,为了预测2010年广州地区各土地利用类型面积的状况,以2000年广州地区土地利用格局为初始值,向经过验证的STELLA模型输入已知数据,进行系统动力学预测.

3 结果与分析

广州地区1990—2000年间建设用地增加了42%.未利用地、耕地、林地依次减少,其中耕地减少幅度达到10.95%,反映耕地资源下降很快;未利用地总面积较小,但面积缩小了11.82%,说明研究区后备土地资源不足.园地和水域总面积有少量增加.

根据表1的结果,得到土地利用类型转移概率矩阵(表2),利用系统动力学模型模拟软件STELLA进行仿真,结果见图2.运行时间段为1990—2000年,微分方程的求解用Euler法.因为状态变量的变化每经过10年即为一步,故当 $n=1$ 时,预测年份为2000年.模型运行的结果见表3.2000年建设用地的预测值比实际值少了35.5 km²,误差最大,而对林地、水域这2种土地利用类型预测的效果最好,相对误差为±0.03%.总体来看,模型的模拟结果与实际基本相符(表3),可用于进一步的分析.

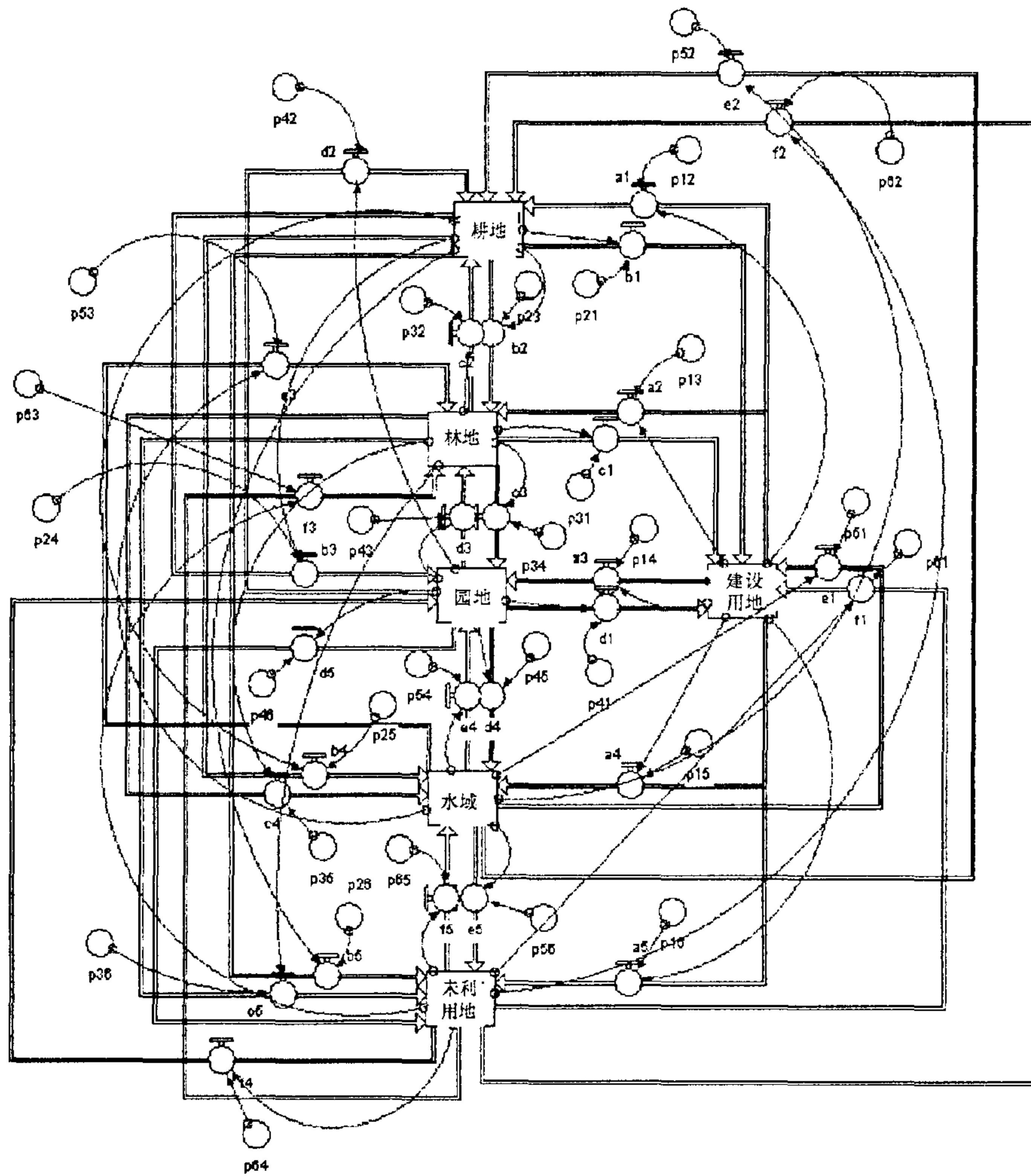


图 2 广州地区土地利用类型变化动态模型

Fig. 2 Dynamic model of land-use type in Guangzhou

模型主要的动力学方程:

$$\text{建设用地: } \text{construction_land}(t) = \text{construction}(t - dt) + (b1 + c1 + d1 + e1 + f1 - a3 - a2 - a4 - a5 - a1) * dt$$

$$\text{耕地: } \text{cultivated_land}(t) = \text{cultivated_land}(t - dt) + (a1 + c2 + d2 + e2 + f2 - b1 - b2 - b3 - b4 - b5) * dt$$

$$\text{林地: } \text{forest_land}(t) = \text{forest_land}(t - dt) + (a2 + b2 + e3 + d3 + f3 - c1 - c2 - c3 - c4 - c5) * dt$$

$$\text{园地: } \text{garden_land}(t) = \text{garden_land}(t - dt) + (a3 + b3 + c3 + e4 + f4 - d1 - d2 - d4 - d5 - d3) * dt$$

$$\text{未利用地: } \text{unused_land}(t) = \text{unused_land}(t - dt) + (a5 + b5 + c5 + d5 + e5 - f1 - f2 - f3 - f5 - f4) * dt$$

$$\text{水域: } \text{water_area}(t) = \text{water_area}(t - dt) + (a4 + b4 + c4 + d4 + f5 - e1 - e2 - e3 - e4 - e5) * dt$$

上述方程中出现的参数如 $a1, a2, a3, a4, b1, b2, b3$ 和 $b4$ 等表示各土地利用类型之间相互转化的面积,即模型中的“流”变量, t 表示时间(年). 以建设用地的预测方程为例,建设用地在一定时间内转化

为耕地、林地、园地、未利用地的面积分别用 $b1, c1, d1, e1, f1$ 表示,耕地、林地、园地、未利用地在一定时间内转化为建设用地的面积分别用 $a1, a2, a3, a4, a5$ 表示,各土地利用类型相互转化的面积可通过该时期各类型土地的面积与平均转化率(即转移概率)之积求得,仍以建设用地向其他土地利用类型的转化为例:

$$b1 = \text{cultivated_land} * p21/100$$

$$c1 = \text{forest_land} * p31/100$$

$$d1 = \text{garden_land} * p41/100$$

$$e1 = \text{water_area} * p51/100$$

$$f1 = \text{unused_land} * p61/100$$

上式中 $p21, p31, p41, p51, p61$ 分别表示建设用地在一定时间内向耕地、林地、园地、未利用地转化的转移概率.

根据 STELLA 系统动力学软件的模拟预测结果(表 4),到 2010 年,广州地区建设用地、耕地、林地、园地、水域和未利用地面积分别为 1 199、1 745、2 848、785、509、106 km^2 .

表3 2000年土地利用格局的STELLA预测结果与实测值
Tab.3 Results of land-use pattern by measurement and modeling with STELLA km²

土地类型	实测值	模拟值	相对误差/%
建设用地	973.00	937.50	-3.65
耕地	1 946.59	1 954.53	0.41
林地	2 888.38	2 889.28	0.03
园地	759.01	784.40	3.35
水域	506.69	506.56	-0.03
未利用地	118.11	119.53	1.20

表4 广州地区土地利用系统动力学仿真结果

Tab.4 Dynamic simulation of land use system in Guangzhou km²

模拟步长 ¹⁾	建设用地	耕地	林地	未利用地	园地	水域
0(2000)	973	1 946	2 888	118	759	506
0.05	984	1 935	2 886	117	760	506
0.10(2001)	996	1 925	2 884	116	762	506
0.15	1 008	1 914	2 882	116	763	507
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.8(2008)	1 155	1 782	2 856	108	780	508
0.85	1 166	1 773	2 854	107	781	508
0.90(2009)	1 177	1 763	2 852	107	782	508
0.95	1 188	1 754	2 850	106	783	508
final(2010)	1 199	1 744	2 848	106	784	508

1) 括号内为步长对应的年份

2000—2010年,广州市建设用地增加、耕地和未利用地减少。其中建设用地面积增幅最大,净增加226.16 km²,增幅为23.24%,反映了21世纪前10年广州城市化趋势较为明显,期间耕地面积将减少9.89%,耕地保护任务十分艰巨;未利用地的面积将继续减少10%,显示出了较大的开发利用潜力,从而也说明广州市土地利用的城镇化主要是以开发未利用地和耕地的丧失为代价。林地面积下降的幅度较低,仅为1.39%,这与近年来森林保育工作的强化是密不可分的。此外,水域面积基本保持稳定,处于动态平衡状态中,园地面积略有上升,可能是与近年来热带水果产业不断发展,果园面积增加有关。

将以STELLA软件对2010年土地利用格局预测的结果与杨国清等^[9]利用CA-Markov模型预测的结果相比较。结果(表5)发现,2种模拟结果在园地、建设用地2种类型所占面积上的偏差最大也不超过0.9%,对林地、园地而言,二者得到的结果几乎没有差别,可见,STELLA模拟软件对土地利用类型

表5 2010年土地利用格局的STELLA与CA-Markov模型预测结果比较

Tab.5 Results of land-use pattern by modeling with STELLA and CA-Markov km²

土地类型	STELLA 模拟结果	CA-Markov 模型 预测结果 ¹⁾	相对误差 /%
建设用地	1 199.16	1 188.97	0.86
耕地	1 744.69	1 746.15	-0.08
林地	2 848.17	2 848.19	0.00
未利用地	106.29	106.32	0.03
园地	784.72	784.61	0.01
水域	508.76	508.61	0.03

1) 表中CA-Markov模型预测值引自杨国清^[9]

转化的预测具有较高精度,模拟结果比较可信。

STELLA模型与CA-Markov模型用于土地利用结构预测时,均应该满足3个条件:①转移概率矩阵P逐期保持不变;②研究期间的土地利用系统的结构具有相对稳定性,土地利用的几种类型不会发生大的改变,如某一种土地利用类型突然消失或突然出现;③土地利用状态的转移仅受前一时期的影响,而与前一时期以前的状况无关。STELLA模型对系统结构的分析和计算机仿真来反映系统结构、功能和动态行为之间的相互作用关系,也可用于考察该系统在不同条件下的变化行为和趋势,以达到提供决策的目的。相比之下,STELLA模拟软件更能直观而清晰地将复杂系统内部各要素间相互关系表达出来,参数物理意义明确,易于理解和掌握。

20世纪90年代以来,随着广州市经济的快速发展和城市化的不断推进,广州市的土地利用结构发生了较为显著的变化,各种用地类型之间的比例关系发生了较大幅度的消长。但在1997年以后国家实施严格的土地管理政策影响下,广州市政府通过一系列经济发展宏观调控手段和科学合理的土地利用规划,使耕地得到了有效保护,建设用地侵占耕地的情况得到了一定程度控制。广州市未来10年各种用地类型的变化幅度将逐渐降低。除园地之外,各地类的年平均增减率在2000—2010年这一时间段内均低于1990—2000年这一时间段。可见,广州市土地利用结构将随着时间的推移逐渐趋向平稳。

4 结论

本文在系统总体分析及内部相关关系分析基础上,利用系统动力学模拟软件STELLA对广州市土

地利用系统进行仿真. 结果表明 STELLA 模拟具有很好的开放性和灵活性, 能够有效地模拟土地利用变化的格局, 在土地利用规划方面具有良好的应用前景, 是极具推广价值的模拟工具之一.

在有关土地利用变化研究中, 利用对土地利用变化的遥感观测数据和景观生态学的分析方法, 综合考虑社会、经济、文化等多种驱动机制, 构建土地利用驱动机制定量分析模型, 通过分析土地利用的时空变化及其与导致这种变化的驱动力之间的因果反馈关系, 才能充分揭示人地系统相互作用的内在机制并以此来预测未来发展趋势. 本文在利用 STELLA 软件进行模拟时, 并未对社会、经济等因子对土地利用格局的驱动力贡献进行定量分析和模拟, 也未考虑土地利用的空间演变特征, 这也就给模型的分析能力造成了一定影响. 实际上 STELLA 模拟软件可以与 GIS 技术融合进行空间分析与模拟, 描述复杂的土地利用系统及其反馈的动力学机制也是 STELLA 软件的突出功能之一, 有待于进一步的挖掘和利用.

参考文献:

- [1] 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): 81-97.
- [2] 黄秋昊, 蔡运龙. 国内几种土地利用变化模型述评[J]. 中国土地科学, 2005, 19(5): 25-30.
- [3] 赵庚星, 王人潮, 尚建业. 黄河三角洲垦利县土地利用的系统动力学仿真模拟研究[J]. 浙江农业大学学报, 1998, 24(2): 141-147.
- [4] PRUESS J A. Assessment of interactions between land use change and carbon and nutrient fluxes in Ecuador[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 85(1-3): 269-279.
- [5] SCHOORL J M. Linking land use and landscape process modelling: A case study for the Álorá region (south Spain) [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 85(1-3): 281-292.
- [6] VELDKAMPA, LAMBIN E F. Predicting land - use change [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 85(1-3): 1-3.
- [7] BATTY M. Modeling urban dynamics through GIS based cellular automata [J]. Computer, Environment and Urban Systems, 1999, 23(3): 205-233.
- [8] WARD D P. A stochastically constrained cellular model of urban growth [J]. Computer, Environment and Urban Systems, 2000, 24: 539-558.
- [9] 杨国清, 吴志峰, 祝国瑞. 广州地区土地利用景观格局变化研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 218-221
- [10] 王红宁, 刘书亮, 陶勇, 等. 规模化猪场致病性大肠杆菌、沙门氏菌药敏区系调查[J]. 西南农业学报, 2000, 13(增刊): 84-90.
- [11] 杨国清, 吴志峰, 祝国瑞. 广州地区土地利用景观格局变化研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 218-221
- [12] 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): 81-97.
- [13] 雷连成, 江文正, 韩文瑜, 等. 致病性大肠杆菌的耐药性监测[J]. 中国兽医杂志, 2001, 37(1): 12-13.
- [14] 刘梦元, 吴斌, 刘建杰, 等. 规模化猪场大肠杆菌的耐药性监测及血清流行病学调查[J]. 中国兽医学报, 2004, 24(1): 16-18.
- [15] GORGE G, KHACHATOURIANS B A. Agricultural use of antibiotics and the evolution and transfer of antibiotic-resistance bacteria [J]. Canadian Medical Association, 1998, 159(9): 1129-1136.
- [16] MATHEW A G, UPCHURCH W G, CHATTIN S E. Incidence of antibiotic resistance in fecal *Escherichia coli* isolated from commercial swine farms [J]. American Society of Animal Science, 1998, 76(2): 429-424.
- [17] CHRISTINE M, JOHN M F, SADJIA B, et al. Antimicrobial resistance genes in enterotoxigenic *Escherichia coli* O149: K91 isolated obtained over a 23-year period from pigs [J]. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 2003, 47(10): 3214-3221.
- [18] JOHN P H, RENATE R, TAKASHI A, et al. M49 - P Methods for broth dilution susceptibility testing of bacterial isolated from aquatic animals; proposed guideline [S]. Pennsylvania: Clinical and Laboratory Standards Institute, 2005.
- [19] 杨汉春, 陈声, MENG Jiang-hong, 等. 鸡源大肠杆菌对氟喹诺酮类药物的多重耐药性[J]. 畜牧兽医学报, 2003, 34(4): 398-404.
- [20] 孟庆玲, 乔军, 夏成柱. 禽致病性大肠埃希氏菌与金黄色葡萄球菌的药物敏感性调查[J]. 中国家禽, 2004, 26(5): 13-14.
- [21] 王红宁, 刘书亮, 陶勇, 等. 规模化猪场致病性大肠杆菌、沙门氏菌药敏区系调查[J]. 西南农业学报, 2000, 13(增刊): 84-90.

【责任编辑 周志红】

【责任编辑 柴 焰】

(上接第 88 页)