

基于系统动力学城市边缘区土地利用变化模拟与预测^①

——以南京市江宁区为例

李志, 周生路, 陆长林, 李达, 王晓瑞

(南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210093)

摘要: 以江宁区为例, 在 VENSIM 软件平台上, 构建城市边缘区土地利用变化动态系统模型并进行仿真模拟及预测, 以为揭示城市边缘区土地利用变化特征及预防可能的土地利用问题提供参考。研究表明: ①研究区耕地变化仍处于“土地洛伦兹曲线”的前段, 耕地仍将持续减少, 在加大农村建设投入情况下, 直至 2015 后耕地面积才开始回升; ②2013 年后, 耕地减少的主要动力将从城市经济发展驱动转为农村居民生产生活需求驱动方面, 因此农村建设投入及调控、农村土地利用管理应列入今后政府及土管部门的重点工作内容。

关键词: 系统动力学; 城市边缘区; 土地利用变化模拟; 江宁

中图分类号: F301.2

城市边缘区是城市化过程中最前沿、土地利用变化最为复杂迅速的地区^[1]。当前国外对城市边缘区土地利用问题的研究尚处于概念论证阶段, 国内虽已积累了大量案例, 但是在研究思路和方法上主要集中在“静态陈述”上, “动态及系统描述”不足^[2-5], 因此, 加强对该类区土地利用变化内在机制动态系统的研究具有重要的理论及实践意义。有鉴于此, 本文以江宁区为例, 以有别于以往的各种“黑箱”模拟方法, 在系统动力学软件 VENSIM 平台上, 仿真模拟城市边缘区土地利用变化的内在机制并进行动态预测, 探索城市边缘区土地利用变化趋势及特征, 以期管理部门预防土地利用问题, 提高管理水平提供帮助。

1 研究区域及方法

1.1 研究区域

江宁区位于南京市中南部, 从西、南、东三面环抱南京主城, 介于 30°38' ~ 32°13'N, 东经 118°31' ~ 119°04'E 之间, 东西宽 33 km, 南北长 57 km, 总面积 1 572.96 km²。近年来, 受南京主城区辐射及经济社会自身发展需求, 该地区的工业化城镇化步伐明显加快, 与之响应的则是快速的土地覆被变化和景观格局的改变。因此, 模拟研究该区土地利用变化演变机制对探

索城市边缘区土地利用变化趋势及防范土地利用问题具有一定典型意义。

1.2 研究方法思路

系统动力学 (System Dynamics) 是一门分析研究信息反馈系统的学科, 也是一门认识系统问题和解决系统问题交叉的综合性的新学科。它采用模拟技术, 改进以往的功能模拟 (也称黑箱模拟) 法, 从构造系统的基本结构入手, 进而模拟与分析系统的动态行为, 并提供给人们解决问题的方法和途径。其强调系统、整体、联系、发展、运动的观点及建模方法为探索土地利用变化内在逻辑规律提供理论依据和可信的科学方法, 具有强大的生命力, 它已用于多个领域的研究^[6-7]。

本文以江宁区 1996—2004 年土地利用变化数据作为仿真学习数据, 以 2004 年为建模检测时刻, 对不同情景下的 2009—2020 年土地利用动态变化作出预测, 限于篇幅, 本文针对城市边缘区土地利用变化中最为迅速的耕地、独立工矿用地及农村居民点用地变化趋势及可能发生的土地利用问题进行说明及解释。

2 土地利用变化仿真及预测

2.1 土地利用变化的仿真学习及检验

①基金项目: 南京市国土科技项目 (2007KJ011) 资助。

* 通讯作者 (zhousl@nju.edu.cn)

作者简介: 李志 (1985—), 男, 江西星子人, 硕士研究生, 主要从事土地资源经济与管理研究。E-mail: mg0727124@smail.nju.edu.cn

本文以构建系统动力模型所必要范式，以江宁区 1997—2010 年土地利用总体规划确定的耕地且规划执行条件较好的情况下作为参考模式，确定以经济发展、人口系统、土地面积等系统界限作为仿真系统的边界，以大系统理论分解协调原则把总系统分解为耕地与农村居民点用地子系统、耕地与独立工矿用地子

系统、耕地与林地子系统、耕地与城镇用地子系统、耕地与交通运输用地子系统五大子系统，确定系统运行的状态及速率变量并最终构建系统运行的各种积分、时滞、反馈方程 72 个。限于篇幅，本文仅对耕地与独立工矿用地子系统的仿真学习进行描述（图 1）。

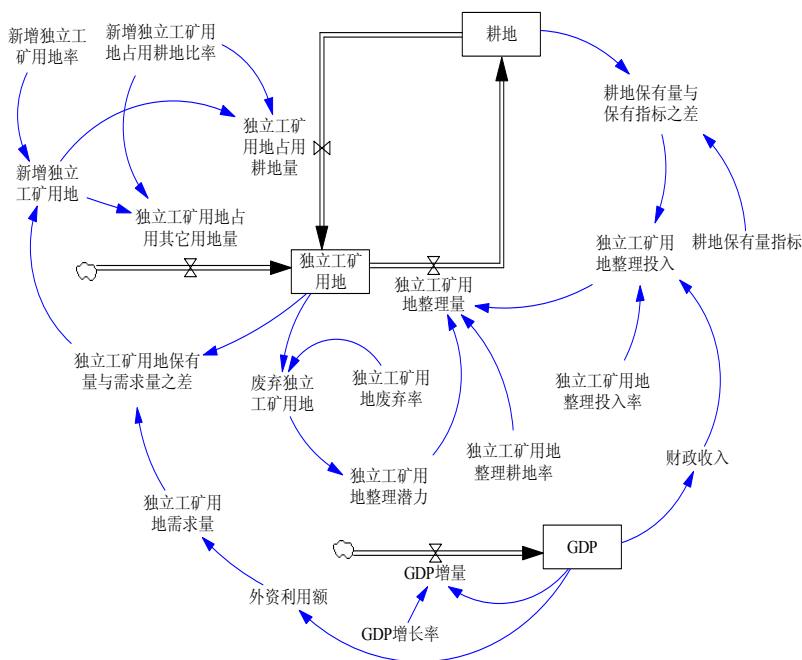


图 1 独立工矿企业与耕地相互转换系统流程图

Fig. 1 System flow chart of conversion between independent industrial land and cultivated land

独立工矿用地和耕地间的相互转换系统，是研究区内土地利用变化的主要的核心系统之一。子系统的 3 个最主要核心状态变量为独立工矿、GDP 及耕地，独立工矿占用耕地及其整理复垦是保持子系统的平衡流，GDP 增加财政收入及增进外资吸引能力即影响耕地保有量指标也提高独立工矿用地的需求。根据系统结构反馈流图，构建系统的方程式及说明如下（表 1）。

系统动力学模型的校验主要为：①理论校验。主要研究模型是否合理、模型变量之间的关系是否有现实意义、参数取值是否有实际意义以及方程量纲是否一致。②历史仿真校验。选定某一时刻，将仿真得到的结果与实际结果比照，考察这两者是否吻合，以验证模型是否能有效代表实际系统^[8-9]。本文以 2004 年作为历史校验时刻，检验系统动力学模型。检验结果表明，农村居民点用地、独立工矿用地和林地的仿真结果非常接近真实结果，最大误差仅为 0.03%，而交通运输用地、城镇用地和耕地的仿真不足，最大误差

为 5%，但仍然处于模型有效范围内，因此系统构建有效，可以进行预测。

2.2 土地利用变化的仿真预测

在预测土地变化时，本文对两种假定情景进行了模拟：①假设政府对农村建设用地投入率保持近期状况不变情景下模拟；②政府对农村建设用地投入率逐渐增加情景下模拟，见图 2。

由以上两种情景假设预测：若维持现在政府及管理部门对农村建设投入水平情况下，江宁区耕地面积将会持续减少，年平均减少速度为 10.51%，至 2020 年耕地面积不足全区面积的 10%，同时农村居民点用地面积也将增大，且增加速度较快。按照此趋势至 2020 年农村人均拥有建筑面积将达 220 m²，这一数值是远远高于现有国家标准，与倡导土地集约节约利用方式不符，不利于土地可持续发展；若管理部门加大对农村建设水平投入，耕地面积将在 2015 年后有所回升，同时农村居民点用地也开始回落。从情景 B 发现：研究区基础设施、城镇扩展及生态保护用地在现

表 1 独立工矿用地和耕地间的相互转换子系统主要方程及说明

Table 1 Conversion between independent industrial land and cultivated land among subsystem and description of main equations

序号	主要方程	单位	说明
1	FINAL TIME = 2 021	年	模型的最终模拟时间定为 2021 年
2	GDP = INTEG (GDP 增量, 75.84)	亿元	函数 INTEG 为累计时间积分函数, 下同
3	GDP 增量 = GDP 增长率 × GDP	亿元	
4	GDP 增长率 = 0.150 5	-	参考《南京市江宁区国民经济和社会发展“十一五”规划纲要》确定此值
5	外资利用额 = 0.043 × GDP - 2.103	亿美元	利用 SPSS 进行线性回归分析所得方程。分析结果通过检验以上回归方程有效
6	废弃独立工矿用地 = 独立工矿用地废弃率 × 独立工矿用地	hm ²	
7	总人口 = 1 / (1 / 1.2e+006 + 5.8e+025 × EXP(Time × LN(0.963 77)))	人	以时间为自变量, 总人口为因变量, 利用 SPSS 进行 logistic 回归分析。分析结果通过检验, 回归方程有效
8	独立工矿用地 = INTEG (独立工矿用地占用其他用地量 + 独立工矿用地占用耕地量 - 独立工矿用地整理量, 3 619.48)	hm ²	
9	独立工矿用地占用其他用地量 = 新增独立工矿用地 × (1 - 新增独立工矿用地占用耕地比率)	-	
10	独立工矿用地废弃率 = 0.003	-	常数当前独立工矿用地废弃地占总量的比例
11	独立工矿用地整理投入 = IF THEN ELSE (耕地保有量与保有指标之差 < 0, 财政收入 × 独立工矿用地整理投入率 × 10 000, 0)	万元	IF THEN ELSE 为假设条件函数, 下同
12	独立工矿用地整理投入率 = 0.002	-	依研究区近期独立工矿用地整理投入资金估算
13	独立工矿用地整理潜力 = 废弃独立工矿用地 × 0.8	hm ²	此值根据研究区实际情况估算
14	独立工矿用地整理耕地率 = 0.95	-	此值根据研究区实际情况估算
15	独立工矿用地整理量 = IF THEN ELSE (独立工矿用地整理投入 / 15 < 独立工矿用地整理潜力, 独立工矿用地整理投入 / 15 × 独立工矿用地整理耕地率, 独立工矿用地整理潜力 × 独立工矿用地整理耕地率)	hm ²	15 万元是每公顷独立工矿用地整理需求投入的成本
16	独立工矿用地需求量 = 1 / (1 / 16738 + 0.000 248 × EXP(外资利用额 × LN(0.81)))	hm ²	利用 SPSS 进行 logistic 回归分析。分析结果通过检验, 回归方程有效
17	耕地 = INTEG (农村居民点用地整理量 + 独立工矿用地整理量 - 交通运输用地占用耕地量 - 农村居民点用地占用耕地量 - 城镇用地占用耕地量 - 林地占用耕地量 - 独立工矿用地占用耕地量, 78 082.3)	hm ²	
18	耕地保有量与保有指标之差 = 耕地 - 耕地保有量指标	hm ²	
19	财政收入 = 0.303 × GDP - 19.751	亿元	用 SPSS 进行线性回归分析。分析结果通过检验, 回归方程有效

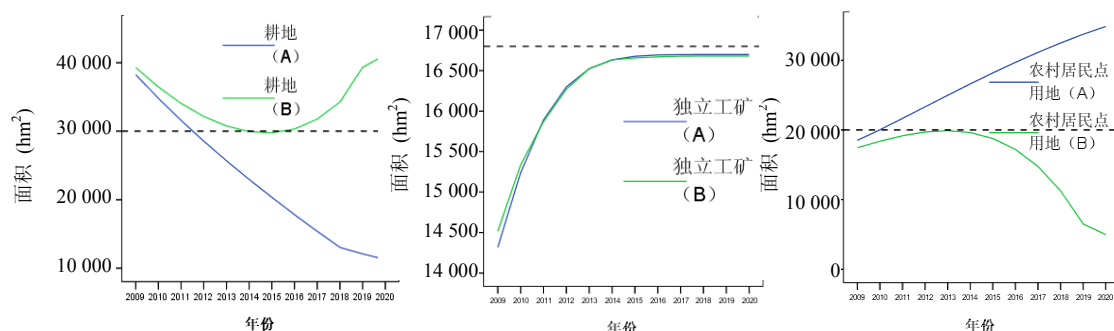


图 2 2009—2020 年江宁区两种情景下的耕地、独立工矿及农村居民点用地预测

Fig. 2 Forecast of independent industrial land and rural residential land in 2009-2020 under two scenarios in Jiangning

有经济、社会、管理系统正常运转情况下都将保持缓慢合理增长的趋势, 维持良性发展。在两种情景假设条件下, 独立工矿用地面积变化趋于一致,

2013年前保持较快增长, 而此后开始保持缓慢增长趋势, 于2015年后趋于稳定将保持在16 700 hm²。

(表2)

表2 研究区2009—2020年土地利用变化情景仿真结果表(单位: hm²)

Table 2 Scenario-simulation of land-use change in 2009-2020 in Jiangning

年份 (年)	耕地 (A)	耕地 (B)	农村居民点 用地 (A)	农村居民点 用地 (B)	独立工矿 用地 (A)	独立工矿 用地 (B)	交通运输 用地	城镇用地	林地
2009	38 253	39 300	18 504	17 457	14 318	14 319	4 571	10 472	32 464
2010	34 799	36 455	20 033	18 377	15 239	15 239	4 645	10 707	34 100
2011	31 567	34 057	21 655	19 164	15 891	15 892	4 696	10 870	35 736
2012	28 540	32 148	23 317	19 709	16 300	16 300	4 737	11 002	37 371
2013	25 685	30 760	24 977	19 902	16 524	16 525	4 774	11 120	39 007
2014	22 963	29 941	26 607	19 629	16 632	16 633	4 809	11 234	40 643
2015	20 347	29 759	28 185	18 773	16 677	16 678	4 844	11 344	42 279
2016	17 822	30 320	29 699	17 201	16 693	16 694	4 878	11 453	43 915
2017	15 385	31 761	31 135	14 759	16 698	16 699	4 911	11 559	45 550
2018	13 043	34 258	32 482	11 267	16 699	16 700	4 944	11 664	47 186
2019	12 099	39 317	33 726	6508	16 699	16 700	4 976	11 766	47 186
2020	11 275	41 159	34 851	4968	16 699	16 700	5 007	11 867	47 186

联合从情景A与B的耕地、居民点用地、独立工矿用地等各项数据变化来看, 这三类用地变化将在2015年处于拐点的关键时刻, 相关部门应予以重视; 同时从两个情景的独立工矿与耕地面积变化趋势可以推测, 2013年以前农村居民点用地及独立工矿用地是耕地减少的主要流向, 而2013年后, 农村居民点占用耕地将成耕地减少主要原因, 这一因素将不容忽视。

3 结论与讨论

(1) 从以上预测结果来看, 城市边缘区经济发展, 总是先粗放后精细, 研究区也不例外, 符合经济发展与土地间的“洛伦兹曲线”一般规律, 这是由于经济发展生产要素中, 城市边缘区前期土地要素相对成本较低, 而资金、技术成本相对较高, 生产只能以土地换资金及技术, 因而即使该地区政府对耕地实行保护及积极改善农村建设情况下, 耕地在一定时期内仍将不断减少。

(2) 从两种情景假设条件预测土地利用变化结构来看, 2015年前后, 研究区内土地利用变化将处于关键阶段, 将会暴露很多问题, 所以必须在此之前有所防范。

(3) 在2013年后, 耕地减少的主要动力将从城市经济驱动转为农村居民生活生产驱动方面, 这一需求造成的耕地面积减少持续时间长并且破坏性强。因此,

对于政府及土地管理部门而言, 应将研究区农村建设投入及调控、农村居民土地利用管理列入今后管理重点内容, 及时防范可能造成的土地利用问题和社会问题。

(4) 本文在构建的土地利用变化动态系统模型过程中, 由于整体系统的复杂性与外界联系性, 对系统的开放性予以考虑不足, 这也可能使得部分模拟的结果误差明显, 变化过于突出, 因此作者在今后的研究中将加强给予这方面的关注, 提高模拟精度为管理部门提供更准确的决策依据。

参考文献:

- [1] 魏伟, 周婕. 中国大城市边缘区的概念辨析及其划分. 人文地理, 2006(4): 29-33
- [2] Moran EF. News on the land project. Global Change News Letter, 2003(54): 19-21
- [3] 杨山. 城市边缘区空间动态演变及机制研究. 地理学与国土研究, 1998, 14(3): 19-23
- [4] 史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制研究. 地理学报, 2000, 55(2): 151-160
- [5] 刘盛和, 何书金. 土地利用动态变化的空间分析测算模型. 自然资源学报, 2002, 17(5): 533-540
- [6] 朱敏, 关忠良, 陈景艳. 系统动力学方法在环境经济学中的应用. 数量经济技术经济研究, 2000(10): 59-61

- [7] 陈成群, 严广乐. 我国水资源可持续发展系统动力学模型研究. 上海理工大学学报, 2000, 22(2): 154-159
- [8] 江景波, 华楠. 城市土地利用总体规划——方法、模型、应用. 上海: 同济大学出版社, 1997: 80-88
- [9] 张增峰, 黄克龙. 城乡结合部土地利用问题及对策探讨. 南京师大学报(自然科学版), 2001, 24(2): 110-118
- [10] 李世峰, 白人朴. 城乡结合部土地利用问题的战略性思考. 农业现代化研究, 2003, 24(4): 248-251

Simulation and Prediction of Land-Use Change in Urban Marginal Zone Based on System Dynamics Model

——A Case Study of Jiangning County, Nanjing

LI Zhi, ZHOU Sheng-lu, LU Chang-lin, LI Da, WANG Xiao-rui

(*School of Geographic and Oceanographic Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China*)

Abstract: This paper took Jiangning district of Nanjing City, Jiangsu Province for example, simulated and predicted the land-use changes in urban marginal zone in a dynamic system model to prevent the potential land-use issues by using VENSIM software. The results showed that: 1) the area of cultivated land will decrease from 2009 to 2014, but will increase in 2015 due to the increasing investment in rural construction; 2) after 2013, the main driving force for the reduction of cultivated land will transfer from the city's economic development to the demand for the production and living of rural residents, therefore, the investment, regulation and control of the rural development, as well as the management of rural land-use should be focused in the future work of the government and land management departments.

Key words: System Dynamics, Urban marginal zone, Land-use change simulation, Jiangning