

重庆市生态环境 SD 仿真建模研究*

罗光斌^{1,2}, 何丙辉^{1,3}, 李成蓉¹

(1. 西南大学资源环境学院 三峡库区生态环境 教育部重点实验室, 重庆 北碚 400715;

2. 重庆市彭水第一中学校 Wawoo 俱乐部, 重庆 彭水 409600;

3. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要 城乡生态环境问题的准确仿真模拟, 对于更好地进行统筹发展政策设计与决策有着重要意义。基于系统动力学(System dynamics, SD)原理, 建立了城乡统筹发展背景下重庆市城乡生态环境系统 SD 仿真模型, 模型共涉及“人口”、“资金”、“污染指数”等 112 个变量及“ $PPI = FPFPI + FSPI + PFPI$ ”等 116 个方程, 并能够较好地模拟实际系统; 最后对模型进行了动态模拟和优化仿真。模拟结果表明, 模型能够较好地模拟实际系统, 仿真结果不仅可为进一步推进城乡统筹发展决策提供一定参考, 并且还可以在此基础上对系统的未来发展进行预测和政策试验。

关键词 重庆市; 生态环境; 城乡统筹; 系统动力学; 计算机模型

中图分类号: TP391.9; X171.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-669X(2012)06-0039-04

生态环境是人类赖以生存和发展的基本条件, 是经济社会发展的物质基础。如何保护并建设好生态环境, 合理开发利用自然资源是当今人类面临的共同问题。重庆作为全国城乡统筹综合配套改革试验区, 其大农村与大城市并存的城乡二元结构矛盾突出, 城乡生态环境的协调发展问题是全市城乡统筹发展过程中面临的众多急需解决的问题之一。

现在对城乡生态环境的研究, 一般的做法是在城乡统筹背景下对城市工业污染和农业面源污染进行分别讨论, 主要集中在政策性的宏观讨论和污染物的实证研究^[1-8], 少有将二者真正联系起来的研究。系统动力学(SD)隶属于系统科学的范畴, 它把研究对象看成一个系统, 从系统的内部结构出发研究系统的功能, 并集结自然科学和社会科学准则对研究对象进行定性与定量相结合的全面分析^[7]。生态环境系统是一个多因子、高阶次、非线性的复杂大系统^[10-11], 涉及的影响因素很多, 传统研究方法不再适用于这种复杂系统的研究^[12]。为此, 本文选用系统动力学原理和方法研究城乡统筹发展背景下重庆市生态环境问题, 对其行为特征的演变进行仿真模拟、预测预报和政策试验。

1 城乡背景下生态环境系统 SD 模型

系统动力学模型的建立需要建模软件的支持, 经比较、筛选和测试, 本文采用美国 VANTANA 公司的 Vinsim-PLE 系统动力学软件作为建模软件。

1.1 模型结构与系统边界

结合重庆市实际, 本文构建了重庆市城乡生态环境系统动力学模型的结构图(图 1), 在城镇生态环境子系统中重点考虑工业污染和城镇生活污染等两方面, 在乡村生态环境子系统中设置农业面源污染的各个方面, 两个子系统由人口和资金这两个体现城镇化进程的参量而联系。

1.2 模型因果关系图

综合分析重庆市生态环境系统、各子系统间及各子系统内部组成部分间相互影响关系之后, 构建了重庆市生态环境系统的因果关系回路图(图 2, 其中“+”示正反馈关系,“-”示负反馈关系), 它主要反映了系统各变量间的因果反馈关系。

1.3 模型流图及方程式

1.3.1 模型主要变量 模型中涉及状态变量、速率变量、辅助变量和常量等共 112 个变量, 现列出主要

* 收稿日期: 2011-09-03 网络出版时间: 2012-11-12 16:42:01

资助项目: 国家自然科学基金(No. 40971166)、国家科技支撑计划项目(No. 2008BAD98B01; No. 2009ZX07104-002-06)、西南大学生态学重点学科“211工程”建设项目(2006)

作者简介: 罗光斌, 男, 硕士, 研究方向为生态系统调控原理与方法、系统动力学仿真应用等; 通讯作者: 何丙辉, E-mail: hebinghui@swu.edu.cn

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20121112.1642.201206.39_009.html

变量如表 1 所示。

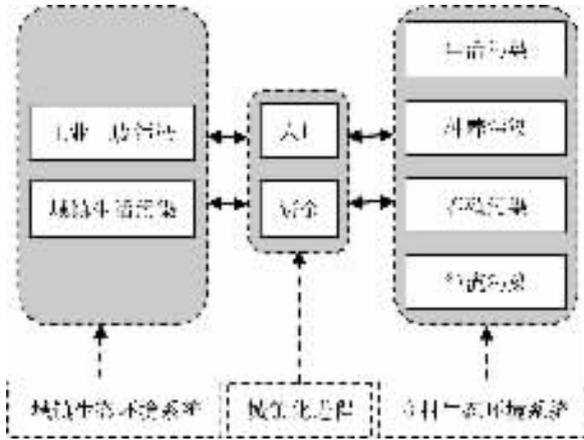


图 1 重庆市城乡生态环境系统动力学模型边界
 Fig. 1 The boundary of eco-environmental system of Chongqing city

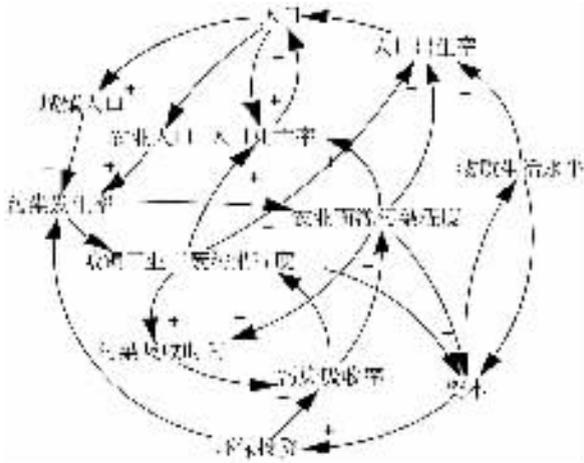


图 2 重庆市生态环境系统的因果关系回路
 Fig. 2 The causal loops of eco-environmental system of Chongqing city

1.3.2 模型混合流图 本文将城乡统筹发展背景下重庆市生态环境系统处理为城镇和乡村两个子系统。城镇生态环境子系统侧重于工业污染对生态环境产生的负荷,其次是城镇生活污染,而乡村生态环境子系统则侧重考虑农业面源污染对生态环境的影响。两个子系统主要通过人口、资金等 2 个主要参量来进行耦合。最后,构建了重庆市生态环境系统动力学模型混合流图(图 3)。

1.3.3 模型主要参数估计及方程式 在建好模型后和进行模型模拟前,须构建模型方程式,并对模型所涉及的参数进行估计并赋值,然后再导入到模型中。参数的估计可以直接从调查统计数据得到,或利用相关方法对已有数据进行转化推导得到。最终构建方程共 116 个,主要方程见表 2。

表 1 生态环境系统 SD 模型主要变量

Tab. 1 The main variables of eco-environmental system

变量名	简称	变量名	简称
地膜污染量	FPFPL	工业产值	IV
地膜污染指数	FPFPI	硫化物排放系数	SCEI
养殖污染量	CPL	温室气体排放系数	GGEI
养殖污染指数	CPI	烟尘	SDL
废水污染指数	WWPI	总人口	TP
面源污染指数	ANPPI	城镇人口	UTP
生活污水	LWWL	农业人口	RTP
工业废水	IWW	城镇化率	UR
污染指数	PI	煤矸石产生系数	CGLCR
农化污染量	PFPL	三废污染指数	IPI
废水污染	WWP	种植污染指数	PPI
农化污染指数	PFPI	大气污染	GP
固废污染	SWP	大气污染指数	GPI
煤矸石	CGL	固废污染指数	SWPI
粉煤灰	FAL	冶炼渣	MWL
秸秆污染量	FSPL	粉尘排放系数	DEI
秸秆污染指数	FSPI	氮化物	NCL
烟尘排放系数	SDEI	硫化物	SCL
氮化物排放系数	NCEI	温室气体	GGL

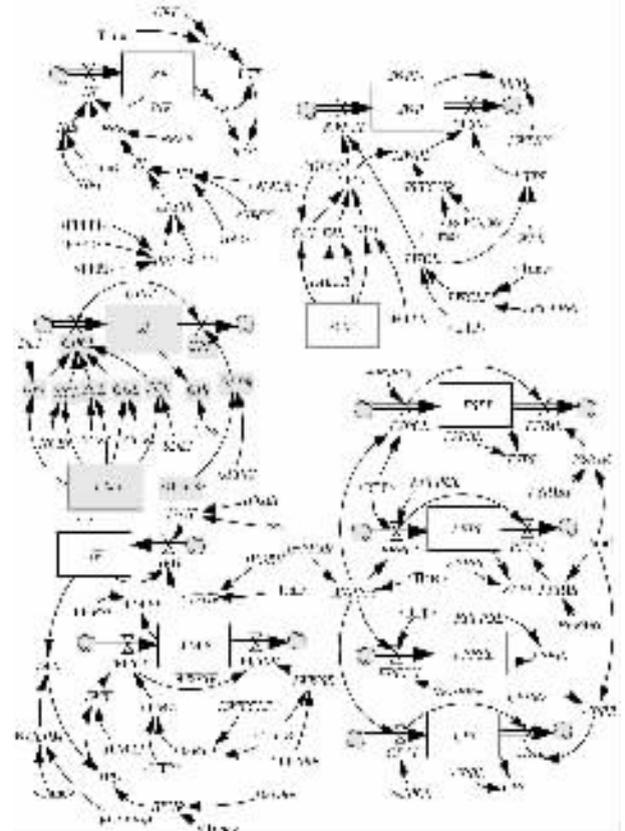


图 3 生态环境系统 SD 模型混合流图
 Fig. 3 The mixed flowgraph of eco-environmental system

表 2 生态环境系统 SD 模型主要方程式

Tab.2 The main equations of eco-environmental system

编号	方程
001	$ANPPI = CPI + PPI$
002	$CPI = CPL/CPBL$
003	$CPL = INTEG(+CPCL-CPAL, CPBL)$
004	$FPFPI = FPFPL/FPFBL$
005	$FPFPL = INTEG(FFPFN, FPFBL)$
006	$FSPAL = INTEG(+FSPCL-FSPAL, FSPBL)$
007	$GP = INTEG(+GPCL-GPP, GPIV)$
008	$GPI = GP/GPS$
009	$IPI = GPI + WWPI + SWPI$
010	$PFPI = PFPL/FPFBL$
011	$PFPL = INTEG(+PFPC-PPAL, PFPBL)$
012	$PPI = FPFPI + FSPI + PFPI$
013	$RP = INTEG(+NI, PIV)$
014	$WWP = INTEG(+WWCL-WWPL, WWPIV)$

2 模型的实证分析——以重庆市为例

2.1 模型的运行与检验

结合参考相近研究文献和重庆市具体情况对重庆市生态环境大系统作了较为全面分析,反复循环地考虑模型的结构,并收集数据进行核对分析。最后在 Vensim-PLE 建模窗口中“Model”菜单下执行“Check Model”命令对模型结构进行检验,结果显示:“Model is OK”,即模型结构检验通过。

为体现模型历史行为检验的可信性和代表性,本文于此选择模型中“总人口”、“工业产值”和“地膜污染量”3个参量以对模型进行历史行为检验,检验时段为2000—2007年,共8年时间,检验结果表明模型中所选变量模拟值与实际系统历史值大致相符,相对误差不超过±15%(系统动力学模型所允许的模拟误差在±15%之内),模型能够较好地模拟实际系统,此模型是有效的。

2.2 模型模拟运行结果与分析

依所建模型的动力学方程式调试、运行模型,模拟基准年为2000年,仿真模拟时间段为2000—2020年,模拟时间步长为

1年,得到模型的基本仿真输出结果,如图4、图5所示。

分析图4可知,未来10年内,全市总人口呈逐步增长态势,到2020年将增加到约3860.14万人,城镇人口将增至大约2478.21万人,农业人口逐步减少至1312.83万人,城镇化率达到0.642,工业产值有大幅度增加。城乡统筹发展试点政策推动下,重庆市城镇化进程较快。

由图5可看出,在重庆市城乡统筹发展过程中的未来10年内,伴随着城镇化进程的不断推进,生态环境总污染中,城镇工业三废污染比农业面源污染更为严重,农业面源污染没有表现出进一步严重恶化的趋势,但总的污染情况趋于严重。

2.3 模型仿真优化结果与分析

以2010年为政策试验时间起点,对模型进行政策模拟试验研究表明:1)统筹重庆市城乡发展,必

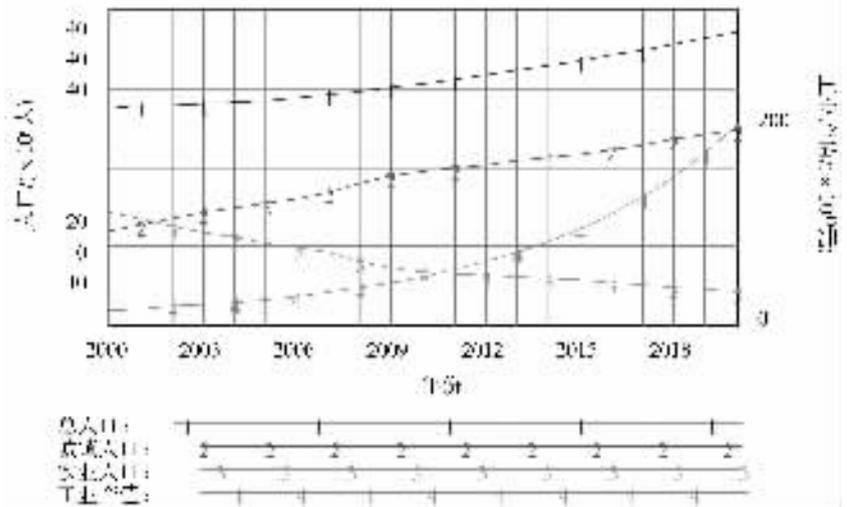


图 4 系统人口-工业产值仿真预测结果

Fig.4 The simulation results of population and industrial output value of the system

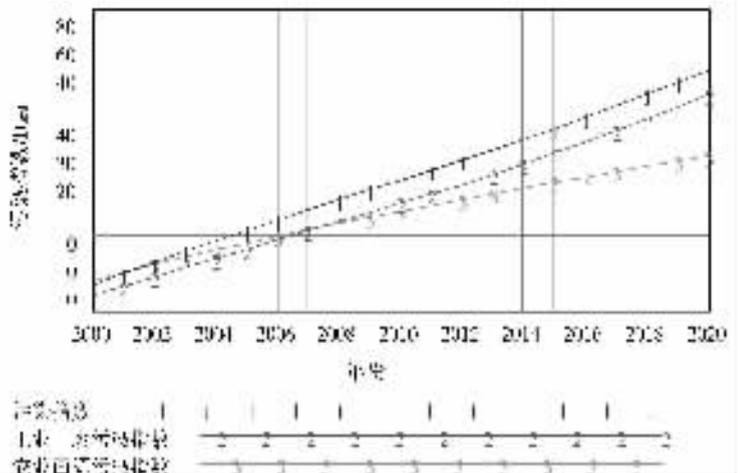


图 5 系统总污染情况仿真预测结果

Fig.5 The simulation results of total pollution of the system

须严格控制好人口和资本两个因素,以实现城乡生态环境的协调发展。对于人口一要控制好总量规模达到 3 831.57 万人左右,二要逐步提高城镇化率到 0.698 左右;对于资本要素,要特别注意控制好农业投资比例(最好控制在 0.250 左右^[12])以免间接引起农业面源污染加重。2)控制城镇工业三废污染要注意调整产业结构,从源头上控制污染的发生,同时提高污染处理率、资源重复利用率并降低生产能耗,优化模拟认为系统中生活排污也应引起足够重视,并应在基本方案的基础上减少 40% 左右。3)控制农业面源污染要着重控制养殖污染物的排放和农药化肥的施用,并加大对面源污染物的有效处理和利用,优化方案建议逐步提高 10% ~ 15%。

3 结语

从模型的运行检验和仿真模拟结果可以看出,此模型在一定程度上较为真实地反映了城乡统筹发展背景下重庆市生态环境系统,表明可用该模型分析城乡统筹发展背景下重庆生态环境系统的结构特点,并对实际系统进行评价,为进一步推进城乡统筹发展决策提供一定依据,并在此基础上对未来系统的发展进行展望、预测和政策试验。

参考文献:

- [1] 周丽娟,陈玉成,陈庆华,等.重庆市城乡统筹发展中的农业面源污染防治[J].环境管理,2008(2):92-96.
- [2] 韩彦东.改善农村环境质量,实现统筹城乡发展[J].生产力研究,2005(12):53-54.
- [3] 黄桂平,李素若.新农村建设中生态环境问题与工作思路[J].湖北农业科学,2006,45(6):690-692.
- [4] 贾后明.以科学发展观统筹城乡环境保护[J].农村经济,2006(11):29-32.
- [5] 熊小青.流域生态环境安全与城乡统筹发展创新思考[J].农村经济,2006(12):93-95.
- [6] 朱德明.城乡统筹发展的环境保护对策[J].经济研究参考,2005(71):13-14.
- [7] 罗光斌.城乡统筹发展背景下重庆市生态环境系统 SD 仿真研究[D].重庆:西南大学,2010.
- [8] 王其藩.系统动力学[M].北京:清华大学出版社,1993.
- [9] 王其藩.高级系统动力学[M].北京:清华大学出版社,1995.
- [10] 罗光斌,何丙辉,刘光平,等.重庆市农业面源污染 SD 仿真研究[J].西南大学学报:自然科学版,2010,32(9):77-82.

Resources , Environment and Ecology in Three Gorges Area

System Dynamics Simulation on Eco-Environment System of Chongqing City

LUO Guang-bin^{1,2}, HE Bing-hui^{1,3}, LI Cheng-rong¹

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Beibei Chongqing 400715;

2. Pengshui No. 1 Middle School, Mawoo Club, Pengshui County, Bengshui Chongqing 400600;

3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Yangling Shanxi 712100, China)

Abstract: The coordinative development of the eco-environment is one of the key problems that faced with in the progress of coordinating urban-rural development. The accurate simulation of eco-environmental problems in urban-rural areas is of great importance to the policy design and decision-making. Through the theory of "System Dynamics", the system dynamics simulation model of the eco-environment system of Chongqing city based on the background of balancing rural and urban development was established, and the simulation and optimization results were obtained. Simulation showed that the model could be better to simulate the system, and the simulation results will not only promote reference for the coordinating urban-rural development, also prospect, predict and test the future behaviors of the system.

Key words: Chongqing city; eco-environment; urban and rural development; system dynamics; computer simulation model