

区域土地综合承载力个案分析：以长沙市为例

——基于系统动力学视角

周杨慧, 朱红梅*, 张玉平, 周 密

(湖南农业大学 资源与环境学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 根据系统动力学原理, 充分考虑耕地与建设用地创造的价值和生态用地对经济的约束, 进一步扩大土地承载力研究范围, 分析土地综合承载力的系统结构及其相互关系, 并构建土地综合承载力系统动力学仿真模型。在此基础上以2008年为基期, 对长沙市2009—2020年土地承载力变化进行仿真模拟, 其结果表明: 人口低速发展、经济稳步发展、粮食单产较快增长的发展模式是长沙市的最优选择, 其土地综合承载力最高。

关键词: 土地综合承载力; 系统动力学模型; 长沙市

中图分类号: F301.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-2013(2011)03-0023-06

Land resources synthetic carrying capacity in Changsha city: A systematic dynamics perspective

ZHOU Yang-hui, ZHU Hong-mei*, ZHANG Yu-ping, ZHOU Mi

(College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Based on the principles and methodology of system dynamics, land resource synthetic carrying capacity system dynamics model of Changsha city was established according to the analysis of land resource synthetic carrying capacity system, its structure and the interrelation inside the structure. Taking 2008 as the base year, we simulated the changes of land resource synthetic carrying capacity from 2009 to 2020 in Changsha city. The results show the model characterized by lowest population increasing rate, stable economic development and rapidly growth in grain yield per hectare is the best model for Changsha city.

Key words: land resource synthetic carrying capacity; Systematic Dynamic Model; Changsha city

一、问题的提出

资源承载力是指地球生物圈或区域的资源对人口增长和经济发展的支持能力。它是评价未来社会可持续发展最有效的评价指标。^[1]土地资源作为一项重要的资源, 其承载力的大小是判断人地关系是否协调和可持续发展的一个重要依据。土地承载力可作为区域土地资源安全及生态安全的衡量标准, 预警区域土地资源可持续开发利用当中面临的危机。^[2,3]因此, 采用正确的方法准确地估算一个地区的土地承载力一直以来都是学界研究的热点。由于研究者在立场、观点和研究方法上存在差异, 土

地承载力研究可分为生物生理的土地承载力研究、基于现实条件的土地承载力研究、土地的适度承载力研究等。^[4]总体来说, 传统的土地承载力研究以土地生产力的静态分析为主, 注重农用地特别是其中耕地的承载力研究, 忽略其他用地(建设用地和生态用地等)的承载力研究。随着社会的发展, 人们渐渐认识到土地是一种综合资源。土地综合承载力是指在当前经济社会发展阶段下, 以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据, 以可持续发展为原则, 以维护人类生态环境(安全)良性发展为前提, 土地资源可承受的最大人口和城镇发展规模。^[5]例如李月辉、黄国勇、哈斯巴根、杨晓鹏等^[6-9]根据系统动力学原理, 从种植业、畜牧业、水资源、消费、环境、人口等各系统之间相互影响、相互作用出发,

收稿日期: 2011-03-04

基金项目: 湖南省科技厅资助项目(2008FJ3044)

作者简介: 周杨慧(1982—), 女, 湖南安仁人, 硕士研究生。研究方向: 土地经济与可持续利用。*为通讯作者。

研究了科尔沁左翼后旗、甘南藏族自治州等西部农牧区土地综合承载力。受已有研究的启示,笔者拟进一步扩大土地承载力研究范围,充分考虑耕地与建设用地创造的价值和生态用地对经济的约束,根据系统动力学原理,分析土地资源承载力系统结构及各子系统相互关系,构建土地综合承载力动力学模型,以长沙市为个案模拟5种方案下的土地承载力状况。

长沙市处于湘江和浏阳河交汇的河谷台地,下辖5区3县1市,土地总面积 $1.18 \times 10^4 \text{ km}^2$,市区面积 556 km^2 ,土地以建设用地为主。2008年各类用地面积中住宅用地最多,达 $14\,473.7 \text{ hm}^2$,耕地面积只有 715.3 hm^2 ,占1.89%;2008年人口为658.56万人,国内生产总值为3000.98亿元,三次产业结构比为5.7:52.2:42.1,全年固定资产投资1873.33亿元;粮食作物种植面积 $35.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,全年粮食总产量 $248.01 \times 10^4 \text{ t}$ (图1)。随着经济和社会的发展,长沙市人地矛盾日益显现,正确分析和评价长沙市土地综合承载力,对于协调和解决人地矛盾,促进区域经济和社会的可持续发展具有重要意义。

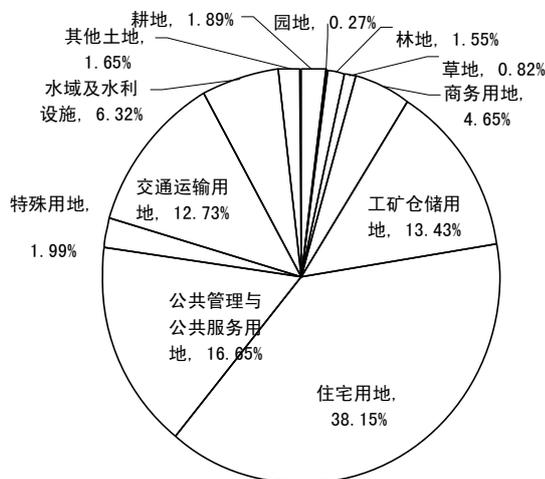


图1 2008年长沙市土地利用结构

二、系统分析与模型的建立

遵循系统结构决定系统功能的原理,笔者将构建结构与功能统一,利用反馈、调节和控制原理进一步设计反映系统行为的反馈回路,最终建立计算机仿真模型,并借助计算机仿真,定量研究高阶次、非线性、多重反馈复杂时变系统。^[10]相关数据资料

主要来源于1997—2008年长沙市土地利用变更调查数据、《长沙统计年鉴》及长沙市历年国民经济和社会发展统计公报。

1. 系统分析

土地综合承载力包括土地生产力承载力和土地经济社会承载力。土地生产力承载力需要考虑人口、粮食生产之间的关系;土地经济社会承载力需要考虑经济社会和建设建筑系统之间的关系。也就是说土地综合承载力的大小取决于土地生产力承载力和经济社会承载力的大小,它们之间呈正相关关系。经济社会承载力受地区生产总值和平均消费水平影响,它与地区生产总值呈正相关,与平均消费水平呈负相关;土地生产力承载力受粮食总产量和粮食消费水平影响,它与粮食总量呈正相关,与粮食消费水平呈负相关。因此,要提高土地综合承载力,需加强与它呈正相关的因素,抑制与它呈负相关的因素,即提高粮食单产增长率,提高经济增长率,提高生态用地比例,控制人口自然增长率,控制耕地减少比率,控制各种消费水平。随着经济的增长,建设用地不断增加,其他用地面积相应减少,因而,土地生产力承载力对土地综合承载力的贡献比率也将减少。

由于各个地方不同发展阶段土地生产力承载力和经济社会承载力对土地综合承载力的贡献率不一样,因此,本文根据现阶段长沙市相对资源承载力中相对土地资源承载力和相对经济资源承载力对综合承载力的贡献率,并结合专家意见,按耕地和经济对长沙市的重要性各占一半建议,本文确定土地生产力承载力和经济承载力在土地综合承载力中的权重各为0.5。

2. 模型的建立

(1) 系统变量的设置与系统流图。根据以上系统分析和长沙市的实际情况,笔者确定了土地利用结构系统模型变量,共包括5个状态变量,6个速率变量,21个辅助变量,7个表函数和8个常量。并使用系统动力学专用软件Vensim,构建长沙市土地综合承载力系统流图(图2)。

(2) 系统方程的建立。系统动力学结构方程是定量分析系统的动态行为,是计算机仿真程序的基本组成部分,主要有状态方程(L)、速率方程(R)、辅助方程(A)、常量方程(C)、初始值方程(N)。确定

参数的方法主要有以下几种: 1) 应用统计资料、调查资料确定参数; 2) 运用一些常用的数学方法, 重点是经济计量学方法; 3) 从模型中部分变量关

系中确定参数值; 4) 根据模型的参考行为特征估计参数值; 5) 专家评估。系统的模型是由多组动态方程有机地组合构成的。当数据不足或函数关系

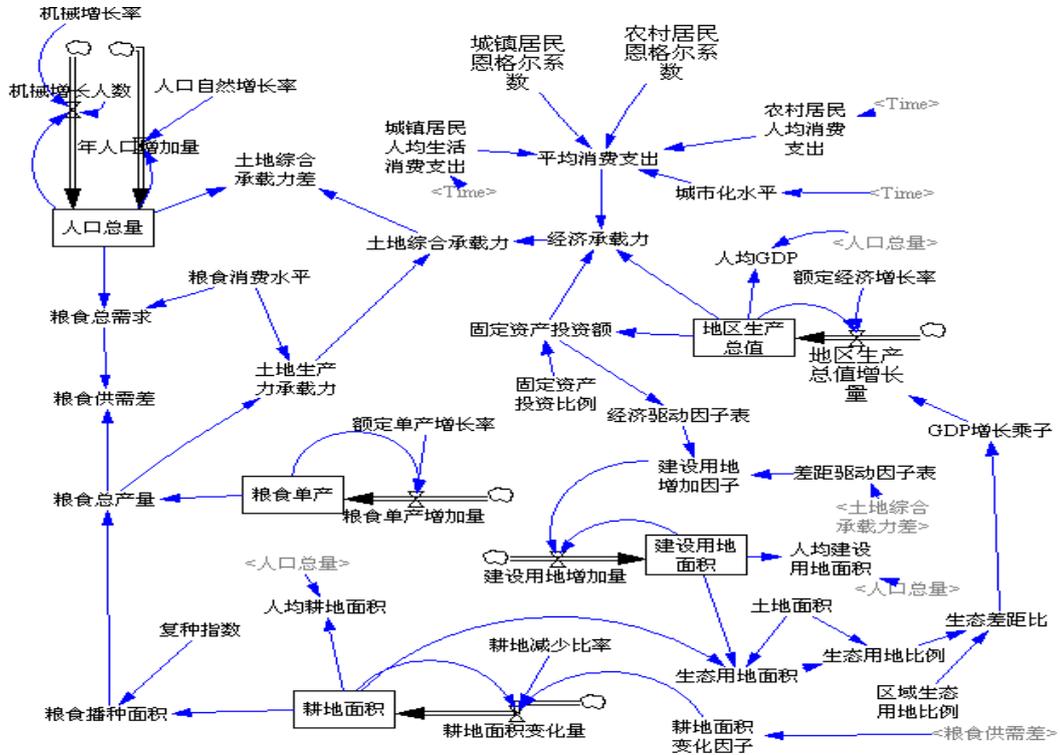


图2 长沙市土地综合承载力系统流图

复杂时, 各变量之间的关系可以用表函数来表达。

整个系统的关系式:

土地综合承载力=土地生产力承载力×0.5+经济社会承载力×0.5

土地生产力承载力=粮食总产量/粮食消费水平

经济社会承载力=(地区生产总值-固定资产投资额)×1E8/平均消费支出

粮食生产系统的主要方程式:

L 粮食单产= INTEG (粮食单产增加量, 615 204)

R 粮食单产增加量=粮食单产×额定单产增长率/100

L 耕地面积= INTEG (耕地面积变化量, 2 806.87)

R 耕地面积变化量=耕地面积×耕地面积变化因子/100×耕地减少比率

A 耕地面积变化因子= WITH LOOKUP (粮食供需差, [(1,-1)-(10,1)],(1,0.98), (2,0.896), (3,0.832),

(4,0.812),(5,0.765),(6,0.716),(7,0.654),(8,0.423), (9,0.315),(10,0.31))

人口系统的主要方程式:

L 人口总量= INTEG (年人口增加量+机械增长人数, 6.585 6E6)

R 年人口增加量=人口总量×人口自然增长率/1 000

R 机械增长人数= 人口总量×机械增长率/1 000

经济社会系统的主要方程式:

L 地区生产总值=INTEG(地区生产总值增长量, 3 000.98)

R 地区生产总值增长量=地区生产总值×额定经济增长率×GDP 增长乘子

A GDP 增长乘子=WITH LOOKUP(生态差距比, [(1,0.4)-(10,1)],(1,0.926), (2,0.937) ,(3,0.951), (4,0.953), (5,0.968),(6,0.978),(7,0.982),(8,0.989),(9,0.995),(10,0.997))

建设建筑系统的主要方程式:

L 建设用地面积= INTEG (建设用地增加量, 1458.04)

R 建设用地增加因子=差距驱动因子表×经济驱动因子表/100

A 建设用地增加量=建设用地面积×建设用地增加因子

三、模型检验与仿真分析

模型中涉及参数众多,而且有的不容易确定,本文大部分参数是通过统计调查资料及模拟试验来确定的。模拟试验即在参数值的变化范围内先粗略地试用一些参数进行模型调试,如果模型行为无显著变化则可以确定该参数值。基于粮食耕种面积不太可能出现大的增长的实际,根据长沙市近10年人口和经济变化率情况(人口自然增长率基本保持在2‰-5‰之内,机械增长率6.3‰;GDP年平均增长率为16.11%),粮食单产必须年均增长1%以上,才能与人口和消费增长供需平衡,^[11]结合长沙市的特点和未来的发展趋势,本文设定三种增长趋势下的粮食单产水平、人口增长率和经济增长水平(表1)。

表1 三种增长趋势下常数值的设定 %

常数项	快速增长	稳定增长	低速增长
人口增长率			
机械增长率	9.65	7.3	6.3
自然增长率	5	3.4	3
经济增长水平	18	16	11
粮食单产水平	1.3	1.2	1.12

为准确地计算土地综合承载力,本文将大众的消费分为两部分,即食物和货币消费。食物主要以粮食为单位确定,根据中国食物安全目标(粮食部分)规定:基本小康社会人均占有391kg、全面小康社会人均占有437kg、向富裕阶段过渡时期人均占有472kg。^[12]货币消费是指人民除了食品消费之外,还有衣着、设备、医疗、居住、娱乐等消费支出。恩格尔系数是衡量一个国家和地区人民生活水平的一个重要指标。根据联合国粮农组织提出的标准,恩格尔系数在59%以上为贫困,50%—59%为温饱,40%—50%为小康,低于40%为富裕、30%以下为最富裕。

近年来,长沙市城乡居民发展型和享受型消费

比重不断提高,食品支出比重持续下降。城镇居民的恩格尔系数由1998年的42.5%下降到2008年的36.9%,下降了5.6个百分点;农村居民的恩格尔系数由1998年的54%下降到2008年的41.7%,下降了12.7个百分点。随着汽车进入家庭,电脑和手机等电子产品的普及,交通通信这些发展型和享受型消费比重将不断增加,恩格尔系数也会继续下降。根据长沙提出的2015年率先在全省建成全面小康社会的目标,恩格尔系数低于40%。本文设定的全面小康型消费水平如下:粮食消费水平为437kg/人、城镇居民恩格尔系数为34.1%、农村居民恩格尔系数为35.4%。

1. 仿真方案的设计

土地资源综合承载力受到自然因素、社会因素和政策法规因素等多方面的影响,且在不同时期内这些影响还不一样,从而导致土地资源承载力也不断地变化。因此,本文以发展的观点,应用动态仿真的思想,根据未来可能出现的社会、经济和政策条件提出不同的方案,以确保仿真方案的弹性、可调性、可操作性。笔者在对1998—2007年数据进行模拟的基础上,以长沙市实际情况和中国未来整体发展情况为基础,考虑土地利用实行耕地占补平衡的政策,根据GDP、人口、粮食单产和不同消费水平等发展指数的组合设定,设置仿真方案(表2)。

表2 长沙市土地综合承载力仿真方案

方案	方案说明
1	人口快速增长、经济高速发展、粮食单产快速增长
2	人口稳定发展、经济稳步发展、粮食单产快速增长
3	人口低速发展、经济稳步发展、粮食单产较快增长
4	人口稳定发展、经济稳定发展、粮食单产较快增长
5	人口低速发展、经济低速发展、粮食单产较慢增长

2. 模型的历史检验

历史仿真检验是指选定某一时刻,将仿真得到的结果与实际结果比照,观察其偏差程度大小,从而验证所建立的模型是否有效。^[10]当模拟误差较小,即可认定结论可靠、模型有效。如果所建立模型运行输出结果与实际偏差较大,那么就应对模型进行修正。现以1998年为基期,取步长 $dt=1$ 年进行仿真,得出长沙市土地综合承载力模型模拟结果。再根据公式:

$$\text{相对误差} = [(\text{仿真值} - \text{历史值}) / \text{历史值}] \times 100\%$$

计算得知,除了 2007 年地区生产总值的相对误差为 9.61%外,其余年份均小于 5%。表 3 是长沙市土地综合承载力模型模拟结果对比 2006 年和

2007 年的数据。由此可见,该模型所描述的系统行为与实际系统行为基本相符,具有一定的代表性和可行性。

表 3 长沙市土地综合承载力模型模拟结果对比

	年份	实际人口数/万人	单产/(kg·hm ⁻²)	耕地/hm ²	建设用地/hm ²	生态用地/hm ²	地区生产总值/亿元
实际数据	2006	630.99	6 703.47	2 818.32	1 380.63	7 620.52	1 798.96
	2007	637.36	6 796.75	2 809.81	1 412.00	7 597.64	2 190.25
仿真数据	2006	628.15	6 721.90	2 816.23	1 366.91	7 636.36	1 724.21
	2007	634.87	6 796.65	2 810.60	1 421.84	7 587.06	1 979.67
相对误差/%	2006	0.45	0.27	0.07	0.99	0.21	4.15
	2007	0.39	0.00	0.03	0.70	-0.14	9.61

3. 仿真结果分析

笔者以长沙市 2008 年数据作为初始值,对长沙市土地承载力系统进行仿真模拟。模拟的区间为

2009—2020 年,时间步长为 1 年,得到 5 种仿真方案下的土地承载力及各类用地面积发展动态图(图 3)。

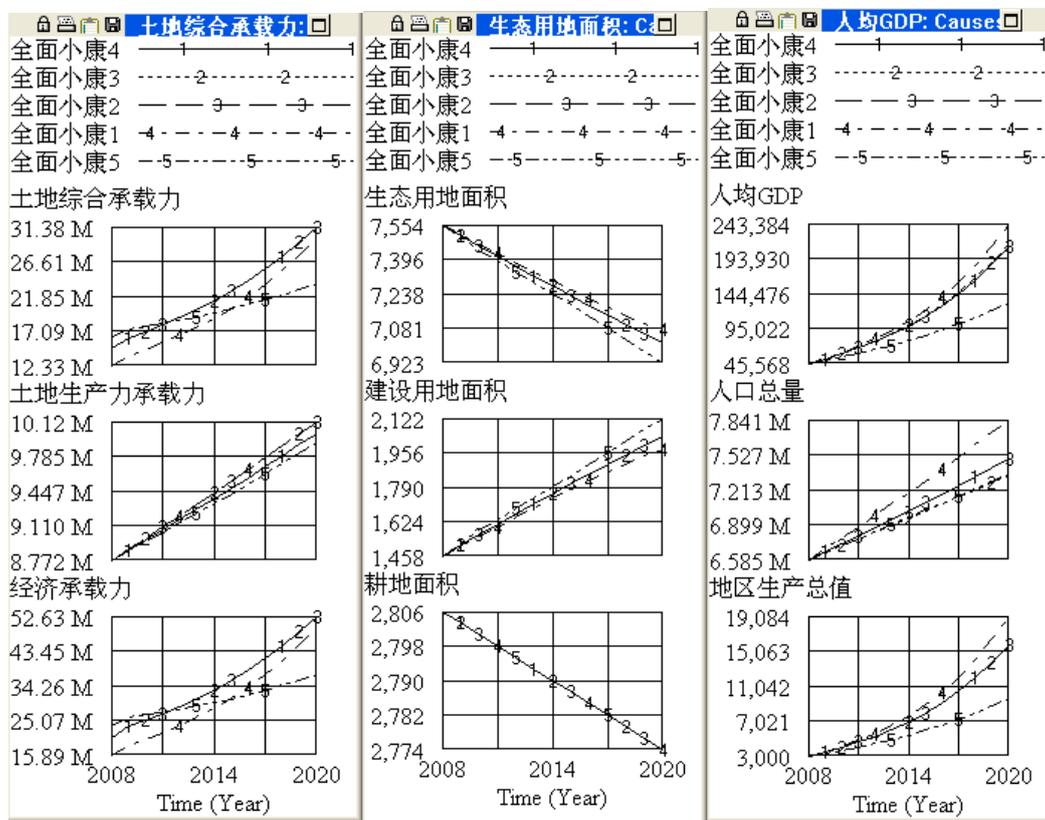


图 3 长沙市土地综合承载力主要指标预测结果

比较五种方案可以看出:方案 1,土地生产力承载力、人均国内生产总值和生态用地面积最高,建设用地和人均耕地面积最少,生态用地最多,但土地综合承载力和经济承载力较低,2020 年分别为 2 986.58 万人和 4 960.83 万人;方案 2 和方案 3 的土地综合承载力、土地生产力承载力和经济承载力最高(2020 年分别为 3 138.1 万人、1 012.32 万人和

5 263.89 万人),人均国内生产总值较高,建设用地、生态用地较多,方案 2 实行宽松型人口政策,致使总人口数高于方案 3,人均资源占有量(如人均建设用地)高于方案 1;方案 4,经济承载力较强,建设用地、生态用地及人均耕地面积较多,但土地综合承载力和土地生产力承载力不如方案 2 和方案 3;方案 5,土地综合承载力、土地生产力承载力、经

济承载力和人均国内生产总值最低,建设用地最高,生态用地最少,很明显这是一种不可取的高耗费低效益发展模式。

从可持续发展长远目标出发,方案3是最优发展方案,它既考虑到了长沙市的国民经济的持续稳定增长,又兼顾了自然资源的合理开发利用与保护;既保证了经济发展的总量水平与速度水平,又考虑到了经济发展造成的环境污染与生态破坏限度,并把人口规模控制在经济发展与生态环境许可的范围内。

在实行耕地占补平衡政策和全面小康社会发展水平条件下,长沙市土地综合承载力5种仿真方案主要指标的预测结果表明:随着建设用地的不断增加,生态用地面积逐渐缩小;人口、地区生产总值不断增长,土地综合承载力、经济承载力和土地生产力承载力也呈增长态势。

四、结论

本文采用Vensim软件,建立了长沙市土地综合承载力SD模型,在通过历史有效性检验后,模拟5种方案下2010年至2020年的土地综合承载力,依据经济、资源、生态、环境可持续发展原则,方案3为最优方案,即人口低速增长(机械增长率和自然增长率6.3‰,3.0‰)、经济稳定发展(16%)、粮食单产快速增长(1.4%)。方案3的模拟结果显示:2010年和2020年长沙市人口为670.64万人和734.45万人;在全面小康型消费水平下,土地生产可承载的人口为898.42万和1 012.32万人,经济社会可承载人口分别为2 492.18万人和5 263.89万人,综合承载人口为1 695.3万人和3 138.1万人。

土地综合承载力系统是一个由各类土地在自然和社会因素综合作用下的复杂系统,土地综合承载力的大小不仅仅是自然地理环境特点的反映,也取决于人类社会、经济技术的发展水平,人类对于土地资源的有效利用和生态环境的改善状况^[5]。文中所构建的长沙市土地综合承载力系统

动力学模型仅考虑了承载力中的几个主要因子,是一个土地—经济—人口—消费水平的简化模型。全面考虑各类用地、社会经济贡献、自然因素限制和政策因素影响,提高模型的模拟能力,有待于今后进一步研究。

参考文献:

- [1] 中国21世荐议程管理中心.21世纪议程:中国21世纪人口、环境与发展白皮书[M].北京:中国环境科学出版社,1994:111-116.
- [2] 吴次芳,鲍海君.土地资源安全研究的理论与方法[M].北京:气象出版社,2004:59-67.
- [3] 高志强,孙希华.基于中国资源环境数据库的土地资源承载力研究[J].中国人口资源与环境,2000,10(10):1-3.
- [4] 封志明.土地承载力研究的过去、现在与未来[J].中国土地科学,1994,8(3):2-9.
- [5] 申元村.土地人口承载能力研究理论与方法探讨[J].自然资源,1990(1):11-15.
- [6] 李月辉,赵羿,胡远满,等.科尔沁沙地东部农牧交错带土地承载力研究——以科尔沁左翼后旗为例[J].生态学杂志,2003,22(3):23-28.
- [7] 黄国勇,陈兴鹏.甘南藏族自治州土地承载力的系统动力学分析[J].兰州大学学报:自然科学版,2003(4):75-79.
- [8] 哈斯巴根,李百岁,宝音,等.区域土地资源人口承载力理论模型及实证研究[J].地理科学,2008,2(28):189-194.
- [9] 杨晓鹏,张志良.青海省土地承载力的系统动力学研究[J].地理学与国土研究,1992,8(4):16-22.
- [10] 王其藩.复杂大系统综合动态分析与模型体系[J].管理科学报,1999,2(2):15-21.
- [11] 农业部.国家最高科技奖获得者、小麦育种专家李振声院士认为:粮食单产年增1%可以实现[EB/OL].(2009-01-08) http://www.agroinfo.hi2000.com/art_detail.php?cateID=23&id=61608.
- [12] 卢良恕.新时期的中国食物安全[J].中国农村科技,2004(1):4-5.

责任编辑:李东辉