

# 乡村振兴背景下村镇土地变化与承载力多情景模拟\* ——以江苏省溧阳市社渚镇为例

Multi-scenario Dynamic Simulation of Township Land Change and Carrying Capacity under the Background of Rural Revitalization: A Case Study of Liyang City, Jiangsu Province

熊彬宇 李永浮 赵伯川 XIONG Binyu, LI Yongfu, ZHAO Bochuan

**摘要** 采用转移矩阵法分析江苏省溧阳市社渚镇多年土地利用变化,探索村镇资源环境承载力和土地利用变化模式,揭示土地利用变化模式与社会经济系统的相互关系,运用系统动力学方法,构建村镇土地利用变化SD模型,模拟出社渚镇至2035年不同政策情景下村镇主要地类变化差异明显:水田面积在耕地保护和现状发展情景下稳定增长,但经济优先情景与生态保护情景下出现增长缓慢的情况;采矿用地在耕地保护与生态保护情景下减少较快;镇建设用地在经济优先和耕地保护情景下增长较快,但在现状发展情景和生态保护情景中面积增长较慢或面积减少。研究表明,镇域村镇土地利用变化SD模型既能有效地模拟不同情景下土地利用变化情况,还可演绎土地利用与社会经济系统之间的复杂非线性关系,有利于测算村镇资源环境承载力与政策模拟调控。

**Abstract** This paper analyzes the land-use change in Shezhu Town, Liyang City, Jiangsu Province for many years by using the transfer matrix method, explores the resource and environmental carrying capacity and land-use change mode of villages and towns, reveals the coupling relationship between land-use change mode and socio-economic system, and constructs the SD model of land-use change of villages and towns by using the method of system dynamics. With different policy scenarios by 2035, the changes of primary land types of Shezhu Town are obvious. The paddy field increases steadily under the scenarios of cultivated land protection and current development, but the growth is slower under the scenarios of economic priority and ecological protection. The mining land decreases rapidly under the scenarios of cultivated land protection and ecological protection. The construction land of the town increases rapidly under the economic priority scenario and cultivated land protection scenario, but the area increases slowly or decreases in the current development scenario and ecological protection scenario. This study shows that the SD model can not only effectively simulate the land-use change under different scenarios, but also deduce the complex nonlinear relationship between land-use and socio-economic system, which is conducive to measuring the resource and environmental carrying capacity of villages and towns and policy simulation regulation.

**关键词** 乡村振兴;耕地保护;承载力;系统动力学;动态模拟

**Key words** rural revitalization; cultivated land protection; carrying capacity; system dynamics; dynamic simulation

文章编号 1673-8985 (2021) 06-0008-07 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20210602

## 作者简介

熊彬宇  
上海大学上海美术学院 硕士研究生  
李永浮(通信作者)  
上海大学上海美术学院  
教授,博士生导师,liyf@shu.edu.cn  
赵伯川  
上海大学上海美术学院 硕士研究生

当前我国村镇地区发展仍面临较多问题。我国人口众多,人均耕地面积少,耕地分布细碎且后备耕地资源匮乏。农用基础设施用地开发监管力度不严,耕地资源浪费情况日益加重。村庄居民点分布零散,建设用地利用粗放。土地是乡村社会经济发展的根本,土地资源的

有限性与社会需求的无限性客观上要求对区域土地利用结构进行优化配置<sup>[1]</sup>,而土地利用结构优化不仅是人类活动的结果,更作为政策工具指导人类社会经济活动,以实现可持续发展目标<sup>[2]</sup>。

土地利用结构优化是在一定投入与约束

\*基金项目:国家重点研发计划项目“村镇建设资源环境承载力综合测算平台研发及规划应用”(编号2018YFD1100105)资助。

条件下,通过对各种土地资源类型进行科学数量组合和空间优化布局<sup>[3]</sup>。早期土地利用结构优化理论是为了寻求适合西方企业型农业建立时代的合理生产方式而诞生的。德国农业经济学家杜能于1826年首先对农村土地利用展开研究,提出农业区位论的观点<sup>[4]</sup>。第二次世界大战后,城市建设进入高速发展期,全球人口数量膨胀,资源短缺、人地矛盾由此开始显现,针对资源承载力的研究日益增多<sup>[5]</sup>。一些国内学者引入资源环境承载力相关理论,将承载力理论与我国城乡土地利用结构优化相结合。在承载力评价指标体系方面,提出区域特殊性、系统协调性、综合性、层次性和可操作性的指标体系设计原则<sup>[6]</sup>,并不断完善承载力指标体系框架<sup>[7-8]</sup>。同时,在优化配置模型方面开展大量研究,研究内容经历了从定性到定量<sup>[9]</sup>、从线性到非线性<sup>[10-12]</sup>、从单目标优化到多目标优化<sup>[13]</sup>、从城市到城乡的过程转变<sup>[14-17]</sup>。由于乡村地区数据较难获取,村镇地区承载力研究成果相对较少。

## 1 研究方法数据来源

### 1.1 研究方法

系统动力学(System Dynamics, SD)建模方法,由美国MIT的Jay W. Forrester教授于1956年首创,在1960年代成型,后由他的学生进一步完善和推广应用。Forrester<sup>[18]</sup>的《城市动力学》、Dennis Meadows等<sup>[19]</sup>合著的《增长的极限》,以及John D. Sterman<sup>[20]</sup>所著的《商务动态分析方法》都是系统动力学理论和应用的经典著作。

系统动力学方法是从系统的微观结构出发建立系统的结构模型,用回路描述系统结构框架,用因果关系图和流图描述系统之间的逻辑关系,用方程描述系统要素之间的数量关系,用专门的仿真软件进行模拟分析,因此系统动力学方法包括因果关系图、流图、方程和仿真平台<sup>[21]</sup>。目前,广泛使用的微机版系统动力学工具软件有Stella、Vensim、Powersim、Anylogic等,其中Vensim软件在社会科学研究中使用较多。本文基于Vensim PIE 9.0.1版本

开展仿真模拟。

系统动力学的发展主要基于5种理论与技术:系统理论、信息反馈理论、决策理论、系统力学和计算机仿真模拟<sup>[21]</sup>。SD模型不同于传统的数理分析模型,它是根据反馈回路构建因果关系系统分析结构,以响应系统中的每个子系统,尤其擅于处理非线性的多重反馈复杂问题。这些特点正好适用于村镇地区耕地保护与承载力研究,可以从社会、经济等要素全方位模拟村镇土地利用变化和土地承载力。SD模型素有“战略与政策实验室”之誉,基于SD开展村镇土地承载力动态模拟研究,将有助于制定合理的村镇耕地保护政策,确保粮食生产安全,实现乡村振兴和区域可持续发展。

### 1.2 数据来源

2007年3月,社渚镇与周边城镇合并为新的社渚镇,行政区划变动造成社渚镇社会经济统计资料和村庄土地面积数据无法获取和统计口径不一致等问题。本文使用2009年—2017年数据资料,其中人口、社会经济数据等来源于《溧阳市统计年鉴(2009—2017年)》,土地利用数据来源于《溧阳市社渚镇土地利用变更调查(2009—2017年)》。

## 2 社渚镇土地利用变化分析

研究范围选取江苏省常州市溧阳市社渚镇。溧阳市位于江苏省西南部,与浙、皖二省接壤,东临宜兴,西与高淳、溧水相接,南与广德、郎溪毗邻,北接句容、金坛,总面积1 535.87 km<sup>2</sup>。社渚镇位于溧阳市西南部,距离市区约28 km,位于苏皖交界处,青虾养殖是当地的特色产业,也是当地农村经济支柱产业之一。但该地区养殖坑塘大多数是21世纪初由耕地转化而来,对粮食安全和生态安全造成一定的不利影响。因此,从耕地保护和生态安全的角度,有必要开展社渚镇的土地利用变化分析。

根据研究目的和国家土地类型分类标准,将溧阳市社渚镇土地利用类型分为坑塘养殖、旱地、水田、村建设用地、镇建设用地、设施农用地、其他农用地、其他建设用地、未利用地9

种。利用溧阳市2009—2017年土地利用现状变更数据得到这一时期的土地利用转移矩阵(见表1-表2)。

从主要地类面积增减变化来看,如表1所示,2009年至2013年间,耕地面积下降较多,旱地和水田面积分别减少2.41 hm<sup>2</sup>和20.53 hm<sup>2</sup>,下降0.17%与0.25%。镇建设用地与设施农用地面积增加较多,分别增加45.81 hm<sup>2</sup>和10.25 hm<sup>2</sup>,上升9.55%与46.71%。如表2所示,2013年至2017年间,旱地、水田、设施农用地和镇建设用地均有所增加,分别增加28.84 hm<sup>2</sup>、173.24 hm<sup>2</sup>、8.33 hm<sup>2</sup>和37.36 hm<sup>2</sup>,上升7.10%、2.11%、25.88%和7.11%。

从土地利用转移的流向情况看,2009年至2013年间,未利用地开发情况较好,大部分转变为其他农用地;村镇建设用地总面积均有增加,其中主要从水田与坑塘养殖中转化而来;设施农用地增加的面积主要来自其他农用地;耕地“非农化”情况较为严重,耕地与水田面积有所下降。2013年至2017年间,耕地面积有较大幅度增加;村建设用地总量减少,其中大部分转化为水田;其他建设用地总量减少,主要转化为旱地与水田;设施农用地面积的增加来源于其他农用地、水田和旱地;未利用地的开发速度有所减缓。

从上述分析可知,社渚镇地类转换主要分为农业用地内部转换和农业用地向建设用地的转换。加之全镇人口、社会和经济要素的影响分析,奠定全镇土地利用变化SD模型的基础,进而开展土地利用变化的仿真模型分析。

## 3 土地利用变化SD模型构建

### 3.1 SD模型因果图构建

本文以社渚镇行政区划界限为空间边界。根据文献与实地调研,耕地变化主要受耕地承载力、土地政策和经济要素的影响。根据土地利用转移矩阵中得到的不同土地利用类型之间的流向关系,结合社渚镇社会经济等要素建立因果关系图(见图1)。

土地利用变化的SD模型既要考虑社会经济要素对各土地利用变化的影响,也要考虑各

表1 2009—2013年土地利用转移矩阵 (单位:hm<sup>2</sup>)

Tab.1 Land use transfer matrix from 2009 to 2013 (hm<sup>2</sup>)

2013年土地利用类型	2009年土地利用类型									
	坑塘养殖	旱地	水田	村建设用地	镇建设用地	设施农用地	其他农用地	其他建设用地	未利用地	变化量
坑塘养殖	2 985.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
旱地	0.00	1 446.17	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	5.22	0.00	5.27
水田	3.51	0.08	8 213.22	0.00	0.00	0.00	0.00	11.62	0.01	15.21
村建设用地	6.17	0.21	0.79	1 249.02	0.00	0.00	1.37	0.00	0.07	8.60
镇建设用地	5.20	3.90	28.19	3.30	479.87	0.00	4.32	0.58	0.37	45.87
设施农用地	0.55	1.29	0.95	0.00	0.00	21.94	7.41	0.04	0.01	10.25
其他农用地	1.18	2.09	5.81	0.03	0.02	0.00	3 519.02	0.15	186.64	195.92
其他建设用地	0.12	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	753.47	0.00	0.79
未利用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	633.00	0.00
变化量	16.71	7.68	35.74	3.33	0.05	0.00	13.67	17.62	187.10	281.92
净变化量	-16.71	-2.41	-20.53	5.27	45.81	10.25	182.25	-16.83	-187.10	0.00

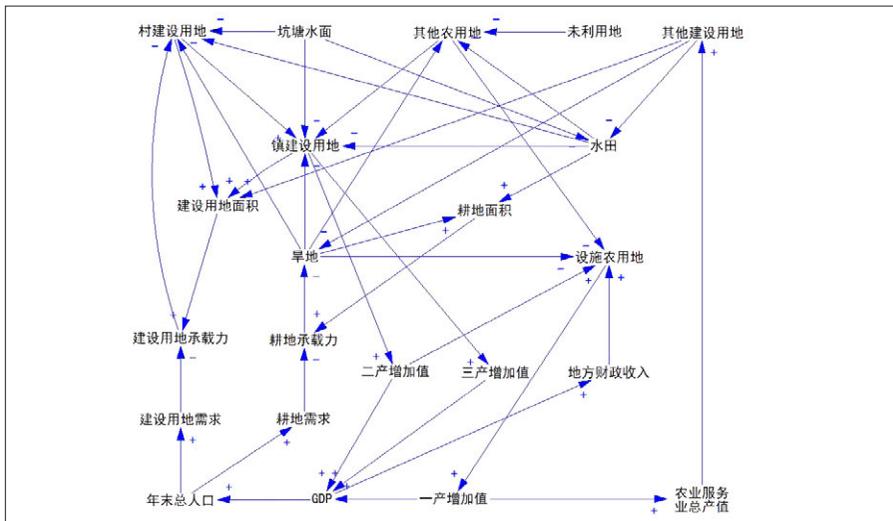
资料来源:笔者自制。

表2 2013—2017年土地利用转移矩阵 (单位:hm<sup>2</sup>)

Tab.2 Land use transfer matrix from 2013 to 2017 (hm<sup>2</sup>)

2017年土地利用类型	2013年土地利用类型									
	坑塘养殖	旱地	水田	村建设用地	镇建设用地	设施农用地	其他农用地	其他建设用地	未利用地	变化量
坑塘养殖	2 836.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
旱地	0.00	1 440.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.92	0.00	39.92
水田	136.86	0.00	8 179.06	38.73	0.00	0.00	8.30	37.53	1.19	222.61
村建设用地	0.45	0.83	0.32	1 211.95	0.00	0.00	0.79	2.77	0.03	5.20
镇建设用地	3.26	4.16	21.17	6.78	525.74	0.01	1.84	0.00	0.14	37.36
设施农用地	0.15	1.10	2.44	0.00	0.00	32.19	4.49	0.00	0.16	8.34
其他农用地	0.90	0.68	4.22	0.00	0.00	0.00	3 691.08	0.00	0.04	5.83
其他建设用地	6.54	4.31	21.23	0.15	0.00	0.00	11.59	673.92	2.11	45.93
未利用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	443.08	0.00
变化量	148.16	11.07	49.38	45.67	0.00	0.01	27.01	80.21	3.69	365.20
净变化量	-148.16	28.84	173.24	-40.47	37.36	8.33	-21.18	-34.28	-3.69	0.00

资料来源:笔者自制。



注:图中“→”表示两变量间的因果链,描述了两变量之间的因果关系。“+”表示两变量变化方向一致,为正因果链。“-”表示两变量变化方向相反,为负因果链。

图1 社渚镇土地利用变化SD模型因果关系图

Fig.1 Causality diagram of SD model of land-use change in Shezhu Town

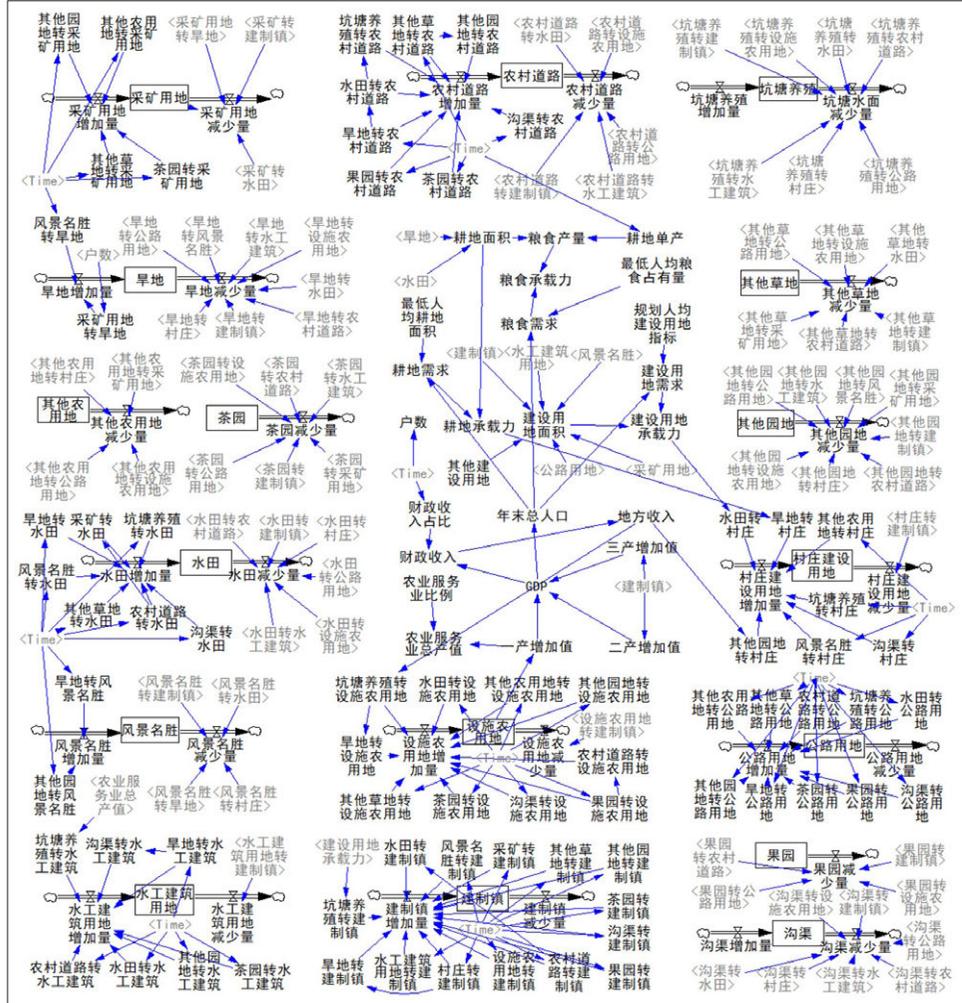
资料来源:笔者自绘。

地类转换对社会经济要素的反作用,也就是两者之间形成的互反馈关系,从而在SD模型中形成多个反馈回路。

其中,全镇建设用地/耕地面积的供需平衡状态有3种可能:超载、平衡或可载<sup>[22]</sup>。这种平衡状态可以表征建设用地/耕地的承载能力。如果未来社会经济活动所需的建设用地面积/耕地面积远超建设用地/耕地的实际供给能力,表明全镇土地承载能力不可持续,必须对人口—社会—经济系统做相应调整。

### 3.2 土地利用变化的SD模型流图构建

对社渚镇土地利用变化因果关系图加以充实,使其更加具体化。通过Vensim-PLE软件,根据每个变量的性质,用状态变量、速率变量、辅助变



注：图中矩形符号表示状态变量，是系统中具备累积效应的变量。“Δ”表示速率变量，表示单位时间内状态变量的变化量。“Time”表示模型的时间，负责确定模型中表函数变量的取值。“∞”表示系统的外部世界。

图2 社渚镇土地利用变化SD模型系统流图  
Fig.2 Flow chart of land-use change system in Shezhu Town

资料来源：笔者自绘。

量、表函数、常量描绘出系统的结构，可得社渚镇土地利用变化SD模型系统流图（见图2）。

模型中部分变量间的方程关系是固定的数量关系，可以直接写出系统方程式，有些变量之间没有直接的数量关系，则需要运用SPSS软件对历年数据进行回归分析得到。社渚镇土地利用变化系统部分方程如下：

$$\text{建设用地承载力(单位:hm}^2\text{)} = (\text{建设用地面积} - \text{年末总人口} \times \text{规划人均建设用地指标}) / 10\,000 \quad (1)$$

$$\text{耕地承载力(单位:hm}^2\text{)} = \text{耕地面积} / 10\,000 - \text{年末总人口} \times \text{最低人均耕地面积} / 15 \quad (2)$$

$$\text{粮食承载力(单位:t)} = \text{粮食产量} - \text{最低人均粮食占有量} \times \text{年末总人口} / 1000 \quad (3)$$

该模型内反馈回路有以下3类：

①耕地承载力→旱地转村庄→旱地减少量→旱地→耕地面积→耕地承载力。该回路是一条负反馈，反映了耕地向村庄建设用地变化过程中，耕地变化趋于平稳的特征，能使得耕地总量相对满足村镇居民生活需要。

②建设用地承载力→坑塘养殖转建制镇→建制镇增加量→建制镇→建设用地面积→建设用地承载力。该回路是一条负反馈，反映了坑塘养殖用地向城镇建设用地变化过程中，

建设用地变化趋于平稳的特征，能使得城镇建设用地保持相对平稳增长，在一定程度上进行集约高效利用。

③GDP→财政收入→地方收入→坑塘养殖转设施农用地→设施农用地增加量→设施农用地→一产增加值→GDP。该回路是一条正反馈，反映了在现代农业发展过程中，政府加大设施农用地建设后对经济增长的影响过程。

### 3.3 模型运行检验

为保证本文所构建模型的真实性和有效性，需要对模型进行历史检验。模型的历史检验方法主要是判断仿真结果与历史数据的相对误差是否超过合理范围，如果误差小于该范围，则说明模型有效，能较为精准地预测未来的发展趋势，否则需要对模型进行结构或参数上的修改，直到通过历史模拟检验。相对误差的计算公式如下：

$$D_t = \frac{P_t - S_t}{S_t} \times 100\% \quad (4)$$

式中： $D_t$ 为相对误差； $P_t$ 为时间 $t$ 下的模拟值； $S_t$ 为时间 $t$ 下的真实值。当 $D_t$ 绝对值小于10%时，认为模型模拟结果较好，通过了历史检验。

由于2017年土地利用数据与之前年份差距较大，因此采用2009—2016年相关历史数据进行模型检验。以2009年为模型模拟起始年份，2009—2016年为验证期，对模型中的年末总人口、村庄建设用地、旱地和水田进行模型历史检验，检验结果如表3所示。

模拟结果表明：该系统模型相对误差率不超过10%，在误差允许范围内<sup>[23]</sup>。这说明社渚镇土地利用变化系统模型的模拟结果可靠，符合建模要求，可以用来模拟不同情景下土地利用变化情况和变化趋势，能够通过调节关键参数进行仿真模拟实验。

## 4 土地承载力SD模拟与多情景模式分析

### 4.1 SD模型的仿真模拟

在综合考虑深阳市社渚镇的社会经济情况后，结合对社渚镇未来发展规模和前景的预

表3 模拟结果与相对误差统计表

Tab.3 Statistical table of simulation results and relative error

年份	年末总人口			村庄建设用地			旱地			水田		
	预测值/人	真实值/人	误差/%	预测值/hm <sup>2</sup>	真实值/hm <sup>2</sup>	误差/%	预测值/hm <sup>2</sup>	真实值/hm <sup>2</sup>	误差/%	预测值/hm <sup>2</sup>	真实值/hm <sup>2</sup>	误差/%
2009	72 559	72 350	0.29	1 252.35	1 252.35	0.00	1 453.85	1 453.85	0.00	8 248.96	8 248.96	0.00
2010	72 705	72 404	0.42	1 254.52	1 260.26	-0.46	1 451.80	1 453.13	-0.09	8 249.04	8 245.92	0.04
2011	72 832	73 290	-0.62	1 254.42	1 259.46	-0.40	1 452.28	1 452.98	-0.05	8 246.52	8 238.97	0.09
2012	72 994	72 941	0.07	1 253.61	1 258.17	-0.36	1 453.52	1 454.79	-0.09	8 242.47	8 232.05	0.13
2013	73 177	73 194	-0.02	1 252.66	1 257.62	-0.39	1 455.96	1 451.44	0.31	8 236.38	8 228.44	0.10
2014	73 306	73 366	-0.08	1 253.16	1 258.11	-0.39	1 461.44	1 466.78	-0.36	8 236.91	8 231.86	0.06
2015	73 436	73 663	-0.31	1 253.85	1 259.03	-0.41	1 468.61	1 465.68	0.20	8 235.07	8 227.41	0.09
2016	73 703	73 663	0.05	1 247.44	1 213.49	2.80	1 474.10	1 469.82	0.29	8 367.01	8 392.39	-0.30

资料来源:笔者自制。

表4 发展情景方案

Tab.4 Development scenarios

控制变量名称	现状发展	耕地保护	生态保护	经济加速增长
风景名胜转旱地	=	-	=	=
旱地转农村道路	=	+	=	=
旱地转水工建筑用地	=	+	=	+
旱地转公路	=	-	=	=
农村道路转水田	=	-	=	=
风景名胜转水田	=	-	=	=
水田转公路用地	=	=	=	=
水田转水工建筑用地	=	=	=	+
设施农用地转镇建设用地	=	=	=	+
其他园地转水工建筑	=	=	=	=
水工建筑用地转镇建设用地	=	=	=	+
沟渠转村庄	=	=	-	+
沟渠转镇建设用地	=	=	-	+
沟渠转农村道路	=	=	-	=
其他园地转公路用地	=	=	-	=
其他园地转风景名胜	=	=	-	=
其他园地转采矿用地	=	+	-	=
其他园地转镇建设用地	=	=	-	+
其他草地转公路用地	=	=	-	=
其他草地转水田	=	+	-	=
其他草地转农村道路	=	=	-	=
其他草地转采矿用地	=	=	-	=
其他草地转设施农用地	=	-	-	=
采矿转镇建设用地	=	=	=	+
果园转镇建设用地	=	=	-	+
其他农用地转村庄	=	=	=	+
坑塘养殖转村庄	=	+	+	=
风景名胜转村庄	=	-	=	+
坑塘养殖转公路用地	=	+	+	-
坑塘养殖转水田	=	+	+	-
耕地单产	=	Max	=	Max

注:“=”代表取2009—2016年间的平均值;“+”代表取2009—2016年间平均值的1.5倍值;“-”代表取2009—2016年间平均值的0.5倍值;“Max”代表取2009—2016年间的最大值。

资料来源:笔者自制。

期,尝试对研究区土地利用变化系统中未来地类之间的变化情况进行调整,再通过对社渚镇土地利用变化模型进行多情景模拟,可以得到

不同参数组合下的情景仿真模拟结果。本文模拟的时间边界为2017—2035年,时间间隔为1年,共选取31个控制变量,涵盖对各类土地面

积变化和承载力指标影响较大的参数。模拟方案共设计出4种典型发展情景,代表社渚镇未来土地利用方向且具有一定的可实施性(见表4),即(1)现状发展模式;(2)耕地保护模式;(3)生态保护模式;(4)经济加速增长模式。模型中以社渚镇2009年的数据为每个状态变量的初始值,为模型输入各控制变量在4种发展情景中的取值,得到各变量的仿真模拟结果。对比分析这4种发展情景下变化较大的状态变量及人口模拟结果(见表5),可见在不同因素影响下土地利用与承载力指标的变化情况(见图3)。

#### 4.2 多情景模式分析

##### (1) 现状发展模式

现状发展模式是假定各地类间转化情况不变设置的情景。在此情景下并没有高效集约利用土地资源。从模拟结果来看,这是一种高消耗、高耕地占用、低效益的发展情景。所以从可持续发展的角度审视,该情景并不能适应溧阳市社渚镇未来的发展。因此未来在编制社渚镇国土空间规划时,不应延续当前的发展策略。

##### (2) 耕地保护模式

耕地保护模式加强了旱地、水田、设施农用地和其他农用地的转入量,减少了此类用地的转出量。这相对其他3种方案而言是一种低土地资源消耗、低耕地占用、低效益的发展模式。该情景虽然不能适应溧阳市社渚镇未来的发展,但仍具有一定的政策价值。未来国土空

表5 社渚镇人口与部分土地利用变化情景模拟结果

Tab.5 Simulation results of population and partial land-use change in Shezhu Town

发展情景	年份	年末总人口/人	旱地/hm <sup>2</sup>	镇建设用地/hm <sup>2</sup>	水田/hm <sup>2</sup>	设施农用地/hm <sup>2</sup>
现状发展模式	2009年	72 559	1 453.9	479.9	8 249.0	21.9
	2020年	74 459	1 519.6	600.1	8 415.5	44.7
	2025年	75 778	1 618.2	685.5	8 497.6	54.5
	2030年	76 518	1 757.8	731.4	8 585.2	66.3
	2035年	77 262	1 937.5	777.2	8 672.7	79.3
耕地保护模式	2009年	72 559	1 453.9	479.9	8 249.0	21.9
	2020年	74 534	1 521.1	605.1	8 456.9	44.8
	2025年	76 164	1 621.1	711.1	8 608.2	55.3
	2030年	76 905	1 760.6	756.8	8 766.6	67.9
	2035年	77 652	1 938.9	802.5	8 924.9	81.8
生态保护模式	2009年	72 559	1 453.9	479.9	8 249.0	21.9
	2020年	74 448	1 519.5	599.4	8 456.9	44.7
	2025年	75 773	1 617.3	685.2	8 608.2	54.4
	2030年	76 492	1 755.2	729.7	8 766.6	66.1
	2035年	77 215	1 932.4	774.1	8 924.9	79.0
经济加速增长模式	2009年	72 559	1 453.9	479.9	8 249.0	21.9
	2020年	74 472	1 519.5	601.0	8 388.5	44.6
	2025年	75 794	1 618.7	686.6	8 425.7	54.3
	2030年	76 558	1 759.7	734.2	8 468.2	66.0
	2035年	77 328	1 941.7	781.7	8 510.7	79.0

资料来源:笔者自制。

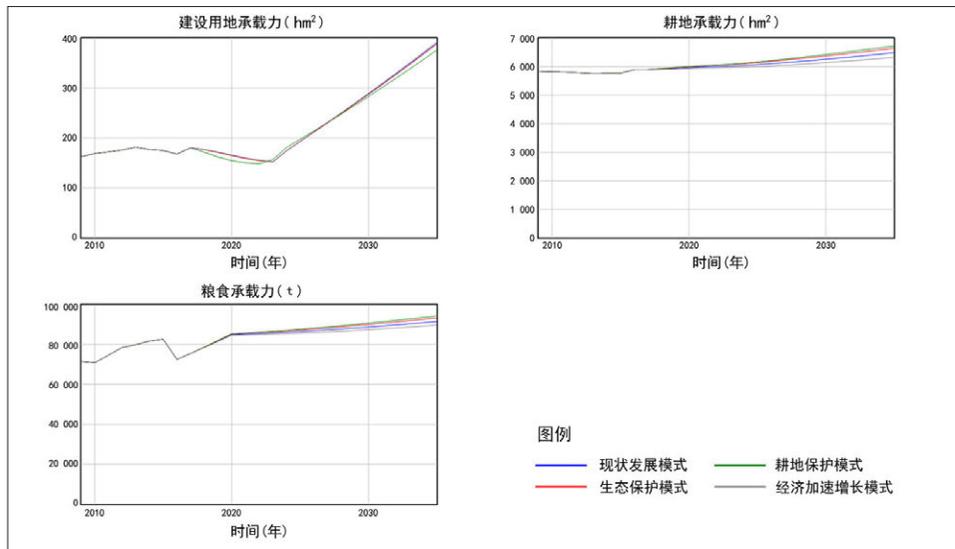


图3 社渚镇承载力指标情景模拟图

Fig.3 Scenario simulation of carrying capacity index of Shezhu Town

资料来源:笔者自绘。

间规划不仅要加大在水田与设施农用地上的政策投入,还需要平衡好粮食安全与经济发展之间的矛盾。

(3) 生态保护模式

生态保护模式减少了其他园地、沟渠、其

他草地、果园的转出量,提升了坑塘养殖的转出量。该发展模式从模拟结果来看,具备低土地资源消耗、中耕地占用、较高效益的特点。该情景虽然比较能适应溧阳市社渚镇未来的发展,但粮食承载力水平在4种情景中较低。因此

在国土空间规划中需要平衡好粮食安全与生态保护之间的矛盾。

(4) 经济加速增长模式

经济加速增长模式减少了坑塘养殖的转出量,提升了水工建筑用地、村庄建设用地、镇建设用地的转入量。这相对其他3种方案而言是一种高土地资源消耗、高耕地占用、较高效益的发展模式。该情景虽然比较能适应溧阳市社渚镇未来经济建设的发展需要,但需要平衡其与生态保护的矛盾。从可持续发展的角度来看,不推荐此发展模式。

5 结语

本文中构建的镇域村镇土地利用变化SD模型不仅能模拟不同情景下村镇土地利用变化情况,还可演绎出土地利用与社会经济系统之间的复杂非线性关系,从而测算资源环境承载力、土地利用动态变化,以及开展政策模拟调控分析。溧阳市社渚镇的SD模拟结果表明,目前全镇发展模式存在土地资源粗放式管理的问题,必须结合耕地保护模式、生态保护模式以及水田和设施农用地的保护政策,寻求具有较优综合效益的切实可行的国土空间规划方案。本文的研究仅仅是初步工作,村镇尺度的数据获取比较困难,模型还需要进一步完善,但对国土空间规划、乡村振兴政策以及村镇资源环境承载力测算的研究,仍具有一定参考价值。

参考文献 References

[1] 刘彦随,杨子生.我国土地资源学研究新进展及其展望[J].自然资源学报,2008,23(2):353-360.  
LIU Yansui, YANG Zisheng. New progress and its prospects of land resources sciences research in China[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(2): 353-360.

- [2] CHANG Y, KO T. An interactive dynamic multi-objective programming model to support better land use planning[J]. *Land Use Policy*, 2014, 36(1): 13-22.
- [3] 谢高地,肖玉,鲁春霞. 生态系统服务研究:进展、局限和基本范式[J]. *植物生态学报*, 2006, 30(2): 191-199.  
XIE Gaodi, XIAO Yu, LU Chunxia. Study on ecosystem services: progress, limitation and basic paradigm[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(2): 191-199.
- [4] 约翰·冯·杜能. 孤立国同农业和国民经济的关系[M]. 吴衡康,译. 北京:商务印书馆, 1986.  
VON THÜNEN J H. The relationship between isolated countries and agriculture and national economy[M]. WU Hengkang, translate. Beijing: Commercial Press, 1986.
- [5] UNESCO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Carrying capacity assessment with a pilot study of Kenya: a resource accounting methodology for exploring national options for sustainable development[R]. 1985.
- [6] 王书华,毛汉英. 土地综合承载力指标体系设计及评价——中国东部沿海地区案例研究[J]. *自然资源学报*, 2001(3): 248-254.  
WANG Shuhua, MAO Hanying. Design and evaluation on the indicator system of land comprehensive carrying capacity[J]. *Journal of Natural Resources*, 2001(3): 248-254.
- [7] 郭志伟. 北京市土地资源承载力综合评价研究[J]. *城市发展研究*, 2008(5): 24-30.  
GUO Zhiwei. Comprehensive evaluation on land resources carrying capacity for Beijing City[J]. *Urban Studies*, 2008(5): 24-30.
- [8] 刘殿生. 资源与环境综合承载力分析[J]. *环境科学研究*, 1995(5): 7-12.  
LIU Diansheng. Analysis of comprehensive carrying capacity of resources and environment[J]. *Research of Environmental Sciences*, 1995(5): 7-12.
- [9] 刘震,贾汉彭,李其祥. 刘家沟流域土地利用结构优化模型设计[J]. *山西水土保持科技*, 1984(4): 4-13.  
LIU Zhen, JIA Hanpeng, LI Qixiang. Optimization model design of land use structure in Liujiagou watershed[J]. *Soil and Water Conservation Science and Technology in Shanxi*, 1984(4): 4-13.
- [10] 王建华,江东,顾定法,等. 基于SD模型的干旱区城市水资源承载力预测研究[J]. *地理学与国土研究*, 1999(2): 19-23.  
WANG Jianhua, JIANG Dong, GU Dingfa, et al. Prediction of urban water resources carrying capacity in arid area based on SD model[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 1999(2): 19-23.
- [11] 耿红,王泽民. 基于灰色线性规划的土地利用结构优化研究[J]. *武汉测绘科技大学学报*, 2000(2): 167-171, 182.  
GENG Hong, WANG Zemin. Research on optimization of land use structure based on gray linear programming[J]. *Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*, 2000(2): 167-171, 182.
- [12] 刘艳芳,李兴林,龚红波. 基于遗传算法的土地利用结构优化研究[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2005(4): 288-292.  
LIU Yanfang, LI Xinglin, GONG Hongbo. Optimization for land use structure based on genetic algorithms[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005(4): 288-292.
- [13] 董杰. 土地利用结构目标规划优化模式初探——以河南省禹州市为例[J]. *地域研究与开发*, 1991(2): 23-27, 35-64.  
DONG Jie. The optimization model of land use structure target planning: a case study of Yuzhou City in Henan Province[J]. *Areal Research and Development*, 1991(2): 23-27, 35-64.
- [14] 王爱萍,郑新奇. 基于SD的土地利用总体规划——以无棣县为例[J]. *山东师大学报(自然科学版)*, 2001(4): 437-442.  
WANG Aiping, ZHENG Xinqi. General land use planning based on SD: a case study of Wudi County[J]. *Journal of Shandong Normal University (Natural Science)*, 2001(4): 437-442.
- [15] 崔和瑞,赵黎明,王伟. 基于系统动力学机制的县域土地资源利用系统研究[J]. *河北农业大学学报*, 2004(1): 96-99.  
CUI Herui, ZHAO Liming, WANG Wei. The study of the land resources utilizing system in the county based on dynamic simulating mechanism[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2004(1): 96-99.
- [16] 杨莉,何腾兵,林昌虎,等. 基于系统动力学的黔西县土地利用结构优化研究[J]. *山地农业生物学报*, 2009, 28(1): 24-27, 31.  
YANG Li, HE Tengbing, LIN Changhu, et al. Structure optimization of land utilization based on system dynamics in Qianxi County[J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2009, 28(1): 24-27, 31.
- [17] 鲜晓军. 村庄转型的系统动力学仿真研究[D]. 西安:西北大学, 2019.  
XIAN Xiaojun. System dynamics simulation of village transformation[D]. Xi'an: Northwest University, 2019.
- [18] FORRESTER J. *Urban dynamics*[M]. Cambridge MA: Pegasus Communications, 1969.
- [19] MEADOWS H D, RANDERS J, MEADOWS L D, et al. *The limits to growth*[M]. New York: Universe Books, 1972.
- [20] STERMAN J. *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*[M]. New York: McGraw-Hill Education, 2000.
- [21] 李旭. *社会系统动力学:政策研究的原理、方法和应用*[M]. 上海:复旦大学出版社, 2009.  
LI Xu. *Social system dynamics: principles, methods and applications of policy research*[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2009.
- [22] 封志明,李鹏. 承载力概念的源起与发展:基于资源环境视角的讨论[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(9): 1475-1489.  
FENG Zhiming, LI Peng. The genesis and evolution of the concept of carrying capacity: a view of natural resources and environment[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(9): 1475-1489.
- [23] 王其藩. *系统动力学*[M]. 上海:上海财经大学出版社, 2009.  
WANG Qifan. *System dynamics*[M]. Shanghai: Shanghai University of Finance and Economics Publishing House, 2009.