

【乡村地理】

中国乡村地域系统可持续发展模拟仿真研究

马 历 龙花楼

【摘 要】乡村地域系统由社会、经济、资源、环境和政策五个子系统组成,各个子系统之间通过一个或多个变量相互作用和关联,形成具有特定功能的有机整体。文章在对乡村地域系统概念内涵和结构功能进行阐述的基础上,基于系统动力学模拟仿真软件 Vensim PLE,构建了中国乡村地域系统发展的系统动力学模型,模拟不同情境模式下系统社会、经济、资源和环境的发展演化趋势,以期为乡村多功能协调和振兴发展提供科学参考。结果表明:目前的乡村发展模式虽然能创造较高的经济附加值,但由于城镇化增长速度过快,可能带来结构性失业、资源短缺和环境污染等问题。未来城镇化增长速度可在当前1%的基础上适度放慢;乡村单纯的农业生产已无法满足资源节约和经济增长的双重目标,经济发展应更加注重产业结构的转型升级。加大科技投入力度,是提高乡村生产水平、增强资源环境承载力的有效途径;合理及时的调控政策是保障乡村社会经济可持续发展的重要防线,未来可通过调查、模拟研究乡村发展存在的问题和不足,保证政策子系统得到及时反馈。

【关键词】乡村地域系统;乡村振兴;系统动力学模型;可持续发展;乡村地理学

【作者简介】马历(1991-),女,四川宜宾人,博士,讲师,主要研究方向为乡村发展与土地利用,E-mail: mal.17b@igsrr.ac.cn,重庆大学公共管理学院(中国 重庆 400044),中国科学院地理科学与资源研究所/区域可持续发展分析与模拟重点实验室(中国 北京 100101);龙花楼(通讯作者)(1971-),男,湖南醴陵人,博士,研究员,主要研究方向为城乡发展与土地利用转型,E-mail: longhl@igsrr.ac.cn,中国科学院地理科学与资源研究所/区域可持续发展分析与模拟重点实验室(中国 北京 100101),中国科学院大学资源与环境学院(中国 北京 100049)。

【原文出处】《经济地理》(长沙),2020.11.1~9

【基金项目】国家自然科学基金项目(41731286、41971216)。

长期以来,人们只关注乡村的农业生产功能,直到1980年以来,乡村发展过程中的人口、就业和环境等诸多问题逐步显露,乡村可持续发展逐渐受到关注^[1]。农业生产可能导致土地退化、水质下降及周围流域生态系统功能和生物多样性的丧失^[2],在过去40多年里,中国的化肥施用量增长了近6倍,而化肥利用率仅为32%,远低于55%的世界平均水平,更导致了严重的环境污染问题。与此同时,乡村地区土地非农化、耕地非粮化、农业用水效率低下、环境污损化、城乡差距逐步拉大等现实问题日益凸显,成为制约区域社会经济可持续发展的重要因素^[3]。

农村地区是保障国家粮食安全和社会经济可持续发展的根基,其生产服务功能与支撑能力具有不

可替代性^[4]。2004-2020年,国家连续十七年发布以“三农”为主题的中央一号文件,强调了“三农”问题的重要地位,特别是党的“十九大”提出乡村振兴战略以来,乡村发展的相关研究受到各个领域的广泛关注。主要包括中国乡村地域系统及类型划分^[5]、乡村转型重构及振兴模式研究^[6-10]、乡村可持续发展研究^[11-12]、多功能视角下乡村振兴发展路径^[10,13]、乡村产业发展与土地利用^[14-16]及城乡融合发展^[17-18]等,但是对乡村地域系统未来发展趋势相关的模拟预测研究较为鲜见。城镇化增长的快慢将会给乡村产业结构、人口就业和资源利用带来影响,经济增长过快可能对资源环境承载力产生影响,耕地减少可能会威胁到农户生计及国家粮食安全,未来如何协调乡村

地域系统各要素间可能产生的冲突、识别乡村发展可能存在的问题,成为当前乡村振兴发展研究的重要科学命题。因此,本文在对乡村地域系统概念内涵和结构功能进行解析的基础上,运用系统动力学模拟仿真软件 Vensim PLE,从社会、经济、资源、环境和政策五个方面设置系统参数,通过调整参数设置不同的情景模式,模拟2017-2035年因社会经济发展、耕地利用转型而引致的乡村地域系统内部各要素、结构和功能的发展演化,甄别未来乡村发展演变的方向和问题,探讨乡村地域系统可持续发展的最优路径,以期资源可持续利用和乡村振兴发展提供理论支撑和科学依据。

1 乡村地域系统的概念内涵与结构功能

1880年代,乡村地理学逐步从农业地理学中脱离出来,开始进入独立、系统的发展阶段^[19]。英国学者 Hoggart 认为,“乡村地理学主要是研究由多种要素构成的乡村地区(低人口密度地区)所发生的社会、经济、土地利用及其空间变化的学科”^[20]。乡村地域系统则是乡村地理学的重要研究内容和载体,是由多个子系统组成的具有一定结构和功能的开放系统,系统在运行过程中与外界存在着物质、信息和能量的交换,除了具有区域性和综合性特征外,还具有脆弱性、风险性、恢复性和适应性等特征,涵盖了时间、空间的概念^[5, 21-24]。区域系统是由乡村系统和城镇系统两大子系统构成,其中乡村系统主要包括村庄、中心村、集镇和中心镇等村镇空间体系,由农村发展的内核系统和外援系统组成^[25]。乡村地域系统具有复杂性和多样性,系统重在反映农村的经济发展、农民生活、农产品生产和生态保育等以乡村地域空间为载体的基本功能^[10]。根据其内涵和结构特征,乡村地域系统可划分为社会、经济、资源、环境和政策五个子系统,各个子系统间通过信息、物质和能量的相互交换,实现生产、生活和生态功能的相互补充和有机整合^[21-22]。乡村地域系统的功能并不是各要素的简单总和,各子系统之间通过一个或多个变量相互作用和关联,形成具有特定功能的有机整体,在发展的过程中,由于受外部性的干扰,系统可能出现兴盛、衰退和退化现象。随着社会经济的不断发展以及人地关系的日趋复杂化,乡村地域功能类型

由单一向多元化发展并呈现明显的空间异质性,产业转型是乡村功能发展的主要动力^[26]。

2 中国乡村地域系统动态仿真

2.1 研究方法和数据来源

系统动力学是一门以控制论、信息论、决策论等有关理论为理论基础,以计算机仿真技术为手段,定量研究非线性、高阶次、多重反馈复杂系统的学科,由美国麻省理工学院的福瑞斯特教授于1956年首次提出^[27-28]。本文运用系统动力学的专业软件 Vensim PLE 进行建模,模型运行时间为2000-2035年,仿真步长为1年,变量数据主要来源于中国经济社会大数据研究平台(<http://data.cnki.net>)。其中,2000-2017年为模型仿真行为、状态的参考和验证模式,为模型仿真的科学性和精准性提供参考借鉴,2017-2035年为乡村地域系统的仿真模拟和未来情景预测,用于模拟预测系统未来发展演变的方向和路径。

2.2 乡村地域系统因果关系分析

乡村地域系统各要素间的因果关系主要表现为:随着人口数量的增多,人们对粮食和物质资本的需求量持续增加,从而加大了对耕地、水资源和能源的开发利用程度;为追求粮食和经济作物的高产,农民往往通过加大资源开发和探索的力度,如增加化肥和农药的使用以满足人类需求。但是,在开发利用的过程中,如果不加以保护和遏制,将会引起环境系统的污染、破坏和衰退,甚至带来生态服务价值总量下降和资源枯竭等严重后果,严重制约整个人地关系地域系统的可持续发展。此外,随着城镇化进程的加快,乡村产业由传统的农业生产转型为三产同步发展,大幅提高了农民收入,但是大量耕地转变为建设用地,给生态系统的生物多样性、农民的就就业保障和国家粮食安全带来了隐患。随着科技进步,相关工艺技术的研发和改进,在一定程度上提高了资源的利用效率及社会治理能力,从而维持各子系统的协调发展。在系统运行过程中,当资源、环境系统可持续发展受到威胁时,相关信息将反馈给社会和政策子系统,系统通过制定相应的政策措施,以协调各个系统之间的发展。然而,由于反馈机制的延迟效应及科技进步的时效性,相关的调控措施将会存在滞后现象,因此加强相关问题的模拟预测研究,对于预见性

地提出相应调控措施具有重要意义(图1)。

2.3 系统动力学模型构建

根据乡村地域系统各子系统间的结构、功能和各变量间的因果关系(图1),遵循科学性、可获取性、代表性和层次性等原则,选取能够表征乡村地域系统结构和功能的37个变量,构建中国乡村地域系统

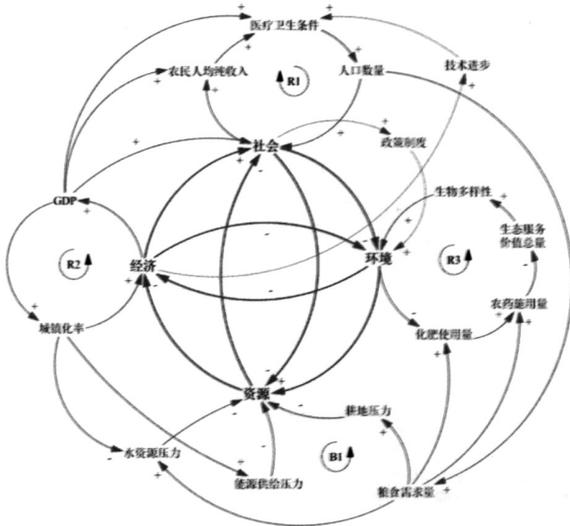


图1 乡村地域系统因果回路图

Fig.1 Causal circuit diagram of rural territorial system

注:R表示因果回路的极性为正,B表示因果回路的极性为负,箭头所指方向为因果回路所作用的方向。一个系统内存在多个因果回路,R1、R2、R3、B1分别表示一个因果反馈回路。

发展的动力学模型,并将水平变量、速率变量、辅助变量和常量作为模型构建的核心(图2)。

①社会子系统。社会子系统承载着乡村人口的就业与社会保障功能,随着城镇化进程的加快,中国乡村人口数量呈逐步减少的趋势,人们的生产、生活受经济发展阶段及资源、环境的共同影响,其中科技进步是推动社会子系统发展的重要因素,科学技术发展,有助于提高农业机械化水平和粮食产量,进而促进非农就业和人们生活水平的提高。此外,耕地还承载着为农民提供基本的就业载体、维护社会安定、保障粮食安全等功能,乡村人口增加或耕地减少将会加剧乡村地域系统人地关系的紧张程度。本文选取城镇化率和地均粮食产量作为水平变量,城镇化增长率和科技进步作为速率变量,人均粮食占有量、粮食产量、粮食劳动生产率和第一产业就业人数作为辅助变量,建立乡村社会子系统之间的互动关系。

②经济子系统。经济子系统以商品性产出为农民家庭提供经济收入及促进国民经济发展,以粮食性产出为农民提供基本的口粮供给及保障国家粮食安全。经济子系统包括农业经济、乡村工业经济、服务业及其他经济活动,系统的强大与否主要由农业总产值、农民人均纯收入表征。农业总产值越高,对整

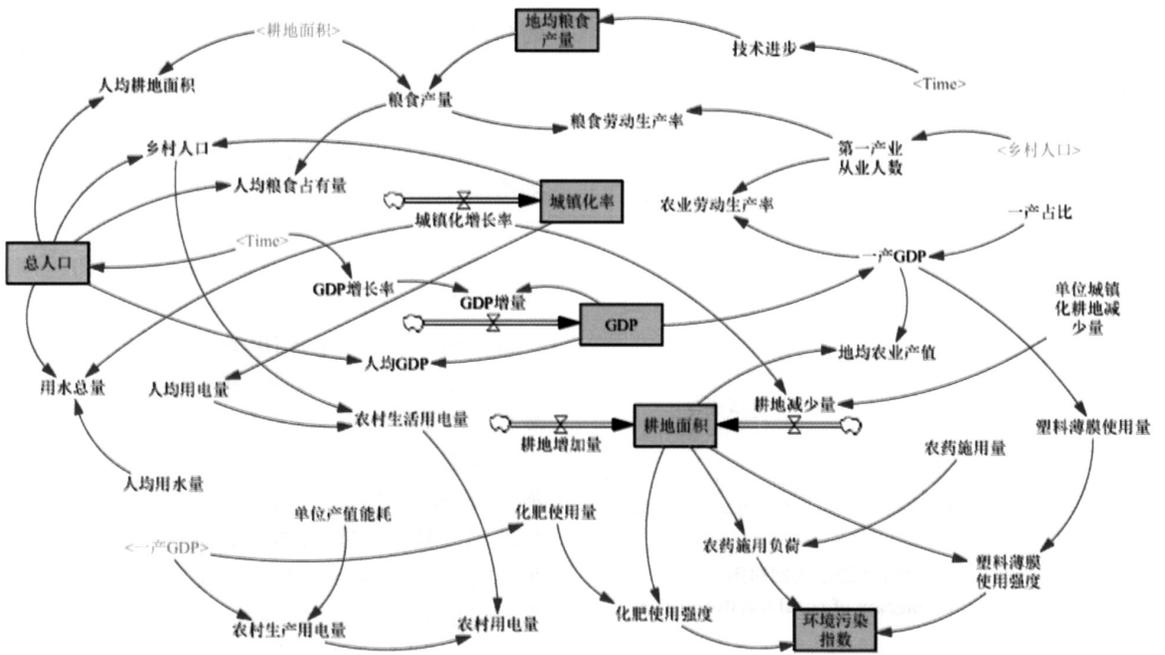


图2 乡村地域系统的动力学模型

Fig.2 The system dynamic model of rural territorial system

个系统的经济贡献率越大,而农业劳动生产率和地均农业产值的提高对于农业总产值的提高具有正向的促进作用。另一方面,经济子系统的发展也将通过资本投入正向反馈于其他子系统,如增加技术研发的资金投入力度、增强环境治理的投入力度、开发新能源等,以提升乡村地域系统资源环境的承载能力,促进系统多功能间的协调发展。本文选取GDP作为水平变量,GDP增长率和一产占比作为速率变量,GDP增量、第一产业GDP、农业劳动生产率、地均农业产值作为辅助变量,建立乡村经济子系统的互动关系。

③资源子系统。资源子系统由水资源、土地资源、能源及其他资源组成。资源子系统作为乡村各项活动的基本载体,支撑着社会、经济子系统的发展,也是环境子系统的基本组成要素。在社会经济发展过程中将会对各类资源产生消耗,如在农业生产过程中,农民通过开采地下水对作物进行浇灌,导致地下水位的严重下降和地表的盐碱化、沙化,对资源子系统造成过度消耗和破坏。水土资源是农业生产活动的必备要素,水土资源的合理开发利用与否,对于协调区域社会经济发展、保障国家粮食安全和实现生态文明具有重要的现实意义。人均水资源拥有量、人均耕地面积、垦殖指数和单位面积水资源量则是反映区域资源富裕程度的重要指标。由于矿产资源种类繁多,数据获取难度较大,因此本文着重探讨社会经济活动对耕地资源、水资源和乡村用电量三种资源的消耗。选取耕地面积作为水平变量,耕地增加量、耕地减少量、人均用水量、单位产值能耗作为速率变量,用水总量、农村生产用电量、人均用电量、农村生活用电量、农村用电量、人均耕地面积等变量作为辅助变量,建立乡村资源子系统的互动关系。

④环境子系统。环境子系统包括乡村人文环境和生态环境。人文环境即乡村作为传统文化的主要积淀地和保留地,承载着乡村多样性文化遗产、传统农耕文明和历史文化价值等多项功能。生态环境是指影响人类生存与发展的水资源、土地资源、生物资源以及气候资源数量与质量的总称。由于乡村人文环境的作用相对较为缓慢,且在研究过程中量化存在较大的困难,因此本文重点关注生态环境的变化。环境子系统具有自我净化的能力,它通过自身

的新陈代谢不断接收与净化生产、生活所产生的污染废弃物,当污染物排放量和强度超过环境子系统自身的承载力,将会威胁整个乡村地域系统的可持续发展。环境子系统的状态是判断乡村地域系统是否可持续发展的重要依据。相对于城镇地域系统,乡村所受的污染相对较小、污染源相对较为单一,主要包括农业生产过程农药、化肥的不合理使用所带来的残留物、秸秆焚烧所造成的空气污染、大量畜禽养殖所造成的粪便污染、塑料薄膜污染,以及乡村生产生活污水对环境的破坏。由于部分指标量化存在较大的困难,本文选取化肥施用量、化肥施用强度、农药施用量、农药施用负荷、塑料薄膜使用量、塑料薄膜使用强度和环境污染指数作为辅助变量,研究乡村生产、生活过程对环境子系统的影响。

⑤政策子系统。政策子系统在乡村地域系统中主要起调节作用,国家政府通过颁布相关的法律法规、政策措施等行政干预手段保障乡村地域系统各功能间的协调发展。政策子系统本文主要用耕地增加量和技术进步因子来表征。

2.4 系统动力学模型参/系数确定

函数的确定是系统动力学模型的重要组成部分,本文在参考前人相关研究和专家意见的基础上,采用算术平均法、趋势外推法、回归分析法、二次平滑指数法和表函数等方法确定模型参数,得到各变量的计算方程式(表1)。

3 仿真结果分析

3.1 仿真模型检验

为确保模型的科学性、有效性和精确性,从社会子系统、经济子系统、资源子系统和环境子系统分别选取第一产业从业人数、GDP、人均用电量和化肥施用量4个具有代表性的变量进行历史性检验,时间为2000-2017年。相关研究认为检验误差在-10%至15%之间变动均可以接受^[29],检验结果表明:各变量误差值在-8%至8%之间波动,近17年第一产业从业人数、GDP、人均用电量和化肥施用量模拟值的平均误差分别为1.813%、0.431%、-2.243%和0.261%。模拟结果与系统发展的现实情况基本一致,说明该模型结构合理、拟合的精度较高,基本能反映乡村地域系统发展的真实情况。

3.2 情景设置与分析

在对仿真模型进行检验的基础上,选取城镇化增长率、第一产业占GDP比重、人均用水量、单位产值能耗、耕地增加量和技术进步因子6个变量作为模

型的调控参数(下页表2),从城镇化发展速度、未来经济结构、政策落实和科技进步多个方面,设计了未来乡村地域系统发展的自然增长、高速发展、保护发展和协调发展4个模式,对中国乡村地域系统未来18

表1 各子系统变量计算方程式
Tab. 1 Variable calculation formula of each subsystem

子系统	因变量	方程	方程来源
社会子系统	总人口	根据联合国预测,time的表函数	联合国预测
	乡村人口	$y = \text{总人口} \times (100 - \text{城镇化率}) / 100$	/
	城镇化率	$y = \text{INTEG}(\text{城镇化率} \times \text{城镇化增长率})$	/
	城镇化增长率	常量	调节变量
	第一产业从业数	$y = -4E-06 \times (\text{乡村人口})^2 + 1.3436 \times \text{乡村人口} - 43119$	回归分析法
	粮食产量	$y = \text{地均粮食产量} \times \text{耕地面积}$	/
	人均粮食产量	$y = \text{粮食产量} / \text{总人口}$	/
	地均粮食产量	$y = \text{INTEG}(\text{地均粮食产量} \times \text{技术进步因子})$	/
	粮食劳动生产率	$y = \text{粮食产量} / \text{第一产业从业人员}$	/
经济子系统	GDP	$y = \text{INTEG}(\text{GDP} \times \text{GDP增长率})$	/
	GDP增长率	辅助变量,time的表函数	二次平滑指数法
	GDP增量	$y = \text{GDP} \times \text{GDP增长率}$	/
	人均GDP	$y = \text{GDP} / \text{总人口}$	/
	一产GDP	$y = \text{GDP} \times \text{一产占比}$	/
	一产占比	常量	调节变量
	地均农业产值	$y = \text{一产GDP} / \text{耕地面积}$	/
	农业劳动生产率	$y = \text{一产GDP} / \text{第一产业从业人数}$	/
资源子系统	耕地面积	$y = \text{INTEG}(\text{耕地面积} + \text{耕地增加量} - \text{耕地减少量})$	/
	耕地减少量	$y = \text{城镇化率增长率} \times 19.13 + 30$	趋势外推法
	单位城镇化耕地减少量	常量	相关研究
	人均耕地面积	$y = \text{耕地面积} / \text{总人口}$	/
	人均用水量	常量	/
	用水总量	$y = \text{人均用水量} \times \text{总人口} + 32 \times \text{城镇化增长率}$	相关研究
	人均用电量	$y = 0.6116 \times (\text{城镇化率})^2 - 34.06 \times \text{城镇化率} + 555.37$	回归分析法
	农村生活用电量	$y = \text{人均用电量} \times \text{总人口}$	/
	单位产值能耗	常量	常量
	农村生产用电量	$y = \text{单位产值能耗} \times \text{一产GDP}$	/
	农村用电量	$y = \text{农村生产用电量} + \text{农村生活用电量}$	/
环境子系统	化肥施用量	$y = 1264.2 \times \ln(\text{一产GDP}) - 7892.5$	回归分析法
	化肥施用强度	$y = \text{化肥施用量} / \text{耕地面积}$	/
	农药施用量	$y = -5E-08 \times (\text{一产GDP})^2 + 0.0049 \times (\text{一产GDP}) + 64.201$	回归分析法
	农药施用强度	$y = \text{化肥施用量} / \text{耕地面积}$	/
	塑料薄膜使用量	$y = 79.394 \times \ln(\text{一产GDP}) - 619.71$	回归分析法
	塑料薄膜使用强度	$y = \text{塑料薄膜使用量} / \text{耕地面积}$	/
	环境污染指数	$y = \text{化肥施用强度} + \text{农药施用强度} + \text{塑料薄膜使用强度}$	/
政策子系统	技术进步	常量,time的表函数	调节变量
	耕地增加量	常量	调节变量

注:因篇幅所限,本文变量和参数设置的详细过程未在文中呈现。

年的调控策略进行多情景模拟分析。

比较分析多个情景模式下,各变量的预测值 and 变化趋势(表3),甄别关键要素及可能对乡村地域系统产生的影响,选取最优发展模式,为实现乡村地域系统多功能协调和社会经济可持续发展提供参考借鉴。得到四种情景模式下主要变量的变化趋势图(图3)。

3.2.1 自然增长模式

自然增长模式是对2000年以来中国乡村地域系统发展状态的进一步延伸,2017年为基准值,对应参数借鉴相关研究成果与方法进行估算,探讨按照目前发展趋势下,乡村地域系统社会、经济、资源和环境的相互作用情况。从图3可知,在自然发展模式下,中国城镇化水平呈现出快速增长的态势,到2035年,城镇化率达到76.52%;如果经济结构与目前保持不变,第一产业GDP为271566亿元;并且按照现

有的耕地保护措施,耕地面积和人均耕地面积将呈现出持续下降的趋势,到2035年,我国耕地面积为13120.5万 hm^2 (19.68亿亩),相比2017年减少369.5万 hm^2 ,人均耕地面积为1.39亩/人。虽然耕地面积有所减少,但随着科技的进步,地均粮食产量稳步提升,粮食产量仍呈上升趋势,到2035年达76963.4万t,人均粮食产量为546.87kg/人。乡村生产用电量呈较快的增长趋势,而生活用电量将随着城镇化进程中乡村人口的减少呈现出先增加后降低的趋势,在2033年达到最大值5085.83亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,随后逐步降低。用水量也呈现出先增后降的趋势,到2028年达到最大值6124.97亿 m^3 ,占水资源总量的21.30%。在整个模拟阶段,化肥使用强度、塑料薄膜使用强度和环境污染度均呈现上升趋势,说明该模式仍需进一步优化。

3.2.2 高速发展模式

与自然增长模式相比,高速发展模式城镇化发

表2 乡村地域系统动力学模型不同情境参数设置
 Tab. 2 Parameter setting in different situations of system dynamic model of rural territorial system

指标	自然增长	高速发展	保护发展	协调发展
城镇化增长率(%)	1	1.1	0.4	0.7
一产占比(%)	7.9	10.8	6	4
人均用水量(m^3 /人)	430	450	430	410
单位产值能耗($\text{kW}\cdot\text{h}$ /万元)	180	200	180	145
耕地增加量(万 hm^2 /年)	28.6	28.6	40	40
技术进步因子(%)	1	1	0.8	1

注:自然增长模式以2017年为基期,各参数以相关资料为参考;高速发展模式、保护发展模式和协调发展模式中的相关参数是根据各方案设计,以自然发展模式中的参数为基准值,进一步进行调整所得;单位产值能耗=乡村生产用电量/第一产业增加值。

表3 2035年不同情景模式下主要变量预测值
 Tab. 3 The predicted values of main variables under different scenarios in 2035

变量	自然增长	高速发展	保护发展	协调发展
城镇化率(%)	76.52	78.32	65.72	71.12
一产GDP(亿元)	271566	371255	206253	137502
耕地面积(万 hm^2)	13121	13086	13532	13429
人均耕地面积(亩/人)	1.40	1.39	1.44	1.43
粮食产量(万t)	76963.4	76761.4	76596.8	78773
人均粮食产量(kg/人)	546.87	545.43	544.26	559.73
用水总量(亿 m^3)	6083.61	6368.28	6064.41	5792.54
乡村生产用电量(亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$)	4873.8	7425.1	3701.62	1993.78
乡村生活用电量(亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$)	5056.5	5001.9	4624.28	4985.14
化肥施用强度(t/hm^2)	0.604	0.636	0.560	0.526
塑料薄膜使用强度(t/hm^2)	0.028	0.030	0.026	0.024
环境污染强度(t/hm^2)	0.644	0.678	0.597	0.561

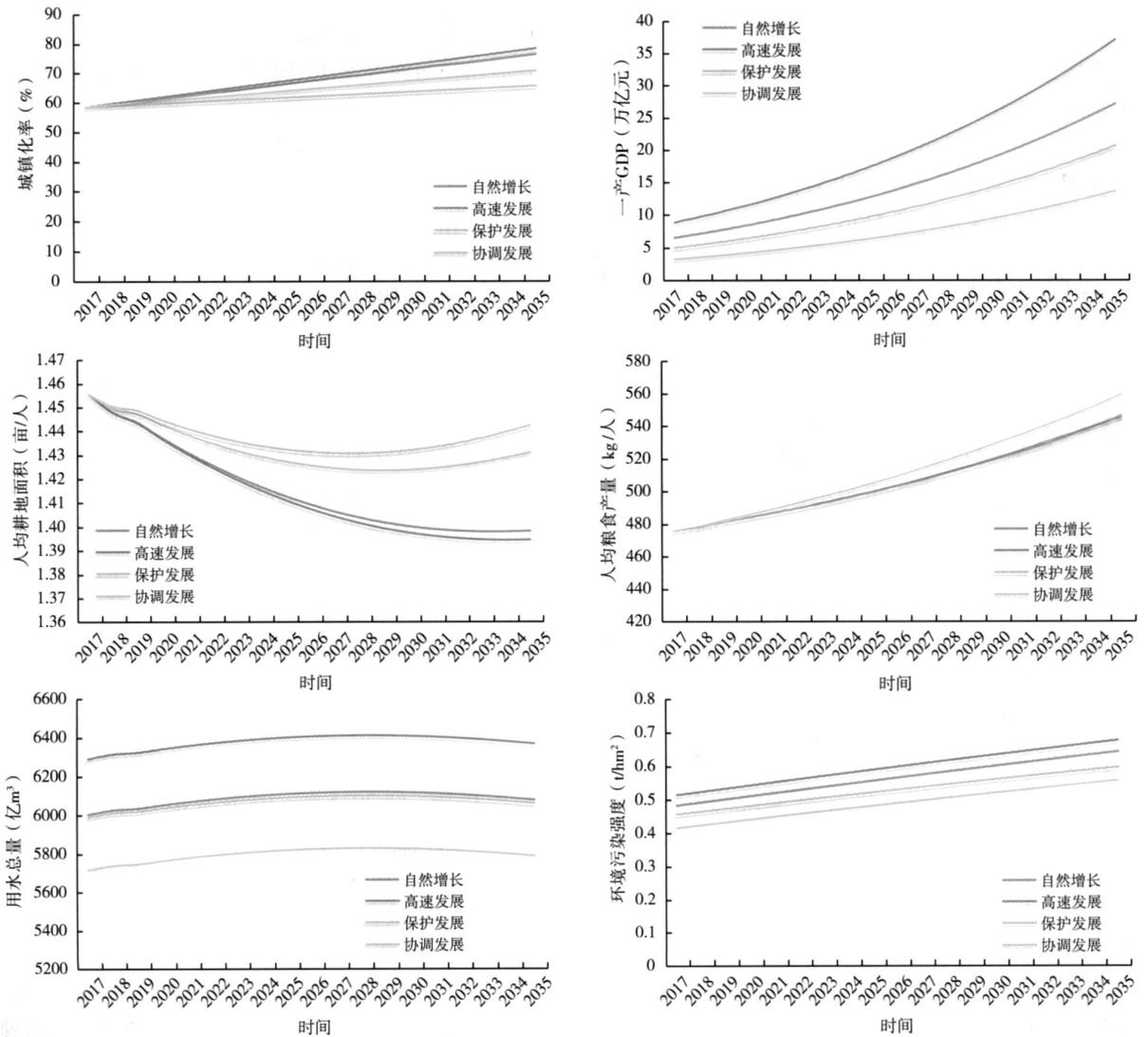


图3 不同情景模式下乡村地域系统主要变量的变化趋势

Fig. 3 The change trend of the main variables in the rural territorial system under different scenarios

展速度将更快,乡村经济发展力度更大,在GDP总值不变的情况下,第一产业GDP占国民生产总值的比重增加到10.8%,此外,由于高速的城镇化和经济发展,势必会带来能源消耗的浪费和技术供给不足,体现在人均用水量和单位产值能耗增加。由图3可知,在高速发展模式下2035年中国城镇化率将达到78.32%,第一产业GDP为371255亿元,乡村经济发展迅速。但是耕地面积却快速下降,到2035年,我国耕地面积和人均耕地面积分别为13086万hm²和1.395亩/人,进而间接影响到中国的粮食产量,粮食产量和人均粮食产量在四种模式中排最后一位,威胁到我国的粮食安全。在经济快速增长的同时,高

速发展模式也给能源供给带来了巨大压力,从图3可知,到2035年乡村生产用电量将增长为协调发展模式用电量的3.72倍,用水量将在2028年达到最大值6411.57亿m³,占水资源总量的22.29%。此外,环境也面临着巨大的压力,化肥使用强度、塑料薄膜使用强度和环境污染强度在四种模式中均排第一位。说明高速发展模式虽然能快速带动乡村地域系统经济的增长,但是可能会出现增长过快导致政策子系统来不及反应,科技进步因子无法同步发展的困境,从而威胁到系统的可持续发展。

3.2.3 保护发展模式

保护发展模式可理解为一种相对保守的发展模

式,设定此模式城镇化增长率降低为平均每年增长0.4个百分点,一产占GDP比重在2017年的基础上降低为6%,人均用水量及单位产值能耗均与自然增长模式持平,由于更加注重保护发展,耕地年增加量由自然增长模式的28.6万 hm^2 /年增加为40万 hm^2 /年。此外,由于此模式侧重保护,技术进步因子将不受重点关注,因此在自然增长模式的基础上设为平均每年增长0.8个百分点。由图3可知,保护发展模式下城镇化率和第一产业GDP增长值增长缓慢,但是耕地资源得到了有效保护。2035年,城镇化率和第一产业GDP分别为65.72%和206253亿元,耕地面积为13532.3万 hm^2 (20.30亿亩),人均耕地面积呈先下降后上升的趋势,与高速发展和自然增长模式相比,耕地利用呈现出良性发展的趋势;由于技术进步相对较为缓慢,保护发展模式下,粮食产量增长的优势尚不明显。在保护发展模式下,乡村社会经济发展对资源环境的影响相对较小,乡村生产、生活用电量均处于较低水平,用水总量略低于自然增长模式,对环境污染的强度仅高于协调发展模式。说明保护发展模式在控制城镇化速度和一产增长速度的情景下,对于保护资源和环境起到了较好的效果,但是较低的粮食产量和经济增长水平可能无法满足人民日益增长的物质文化需求。

3.2.4 协调发展模式

党的十九大报告指出,2020–2035年我国基本实现社会主义现代化,经济实力、科技实力将大幅跃升,跻身创新型国家前列。对照这个目标和要求,本文通过进一步加强产业结构的转型升级、加大科研的投入力度,设计了乡村地域系统未来发展的协调发展模式。借鉴西方发达国家城镇化进程的规律及相关学者的研究成果^[30],将城镇化增长率调节为每年增长0.7个百分点,并且加大我国产业转型的力度,假设到2035我国第一产业增加值占GDP比重为4%,且由于政策制度的完善和科研投入力度的加大,人均用水量和单位产值能耗均有降低,耕地年增加量与保护发展模式相同。从图3可知,在协调发展模式下,城镇化率增长速度相对较为缓慢,2035年,中国城镇化率为71.12%,由于产业加速转型的缘故,第一产业GDP为137502亿元,产值仅为高速发

展模式的37.04%。在此模式下,耕地面积呈现出缓慢减少的趋势,减少量仅高于保护发展模式,人均耕地面积变化的规律与保护发展模式相似,在下降到最小值(1.42亩/人)后逐步增加;而粮食产量和人均粮食产量在四种模式中均为最高值,分别为78773万t和559.73kg/人,能够较好地保障人民的口粮需求和国家粮食安全。在能源消耗方面,由于产业的转型发展,农村生产用电量在四种模式中消耗最低,而生活用电量仅高于保护发展模式;用水总量远低于其他三种模式,在2028年达到最大值5831.98亿 m^3 后逐步降低。在环境污染方面,从化肥使用强度、塑料薄膜使用强度和环境污染指数3个指标可以看出协调发展模式给环境子系统带来的压力最小。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本文从宏观尺度构建了中国乡村地域系统发展的概念框架及动力学模型,并引入政策模拟进行仿真,为乡村可持续发展研究提供了新思路。乡村地域系统作为一个复杂开放的巨系统,其发展演化受诸多因素的共同作用,不同区域变量间的相互作用程度可能存在差异。未来可从更细尺度探索乡村各变量的发展演化趋势,甄别典型区域乡村发展所存在的问题和不足,通过政策调控、技术改进和替代资源等方式协调乡村社会经济的可持续发展。

比较分析以上四种模式发现:单纯的追求经济增长或资源保护,均难以满足乡村地域系统“社会—经济—资源—环境—政策”子系统的协调发展。目前的自然增长模式,虽然创造了较高的经济附加值,但是由于城镇化增长速度过快,可能会带来城市就业岗位无法满足乡村快速转移进城的非农劳动力,造成结构性失业;此外,自然增长模式较大程度上威胁到了乡村资源环境的可持续发展,亟需进一步对该模式进行调整。从乡村经济发展的角度看,高速发展模式效果最好,它能实现短时间内城镇化水平的快速提升和经济的快速增长,但却是以加速牺牲乡村资源环境承载力为代价,无法满足可持续发展的目标,同时也不利于保障国家粮食和耕地安全。从资源保护的角度看,保护发展模式的效果最好,其通过降低城镇化发展速度和减缓乡村经济发展速

度,在很大程度上避免了资源的过度开发和占用,与自然增长模式相比,减小了经济发展对资源、环境所带来的压力,但是较低的生产水平可能无法满足人民日益增长的物质文化需求。不难发现,协调发展模式的效果最好,它在GDP不变的情况下,实现了三次产业结构的调整及转型,虽然第一产业增加值在四种模式中不是最高,但是适中的城镇化增长速度保障了非农转移的劳动力在城市充分就业的机会,同时给政策子系统制定相应的调控方案,为技术改进留有缓冲的时间;协调发展模式在确保乡村地域系统资源环境可持续发展的基础上,最大程度地保障了国家的粮食安全,这一发展路径与西方发达国家所经历的路径较为接近。

4.2 结论

①乡村地域系统由社会、经济、资源、环境和政策五个子系统组成,各个子系统之间通过一个或多个变量相互作用和关联,形成具有特定功能的有机整体,驱动着乡村地域系统的发展演化。当资源、环境系统可持续发展受到威胁时,可将信息反馈给社会和政策子系统,通过系统间的调节,以实现系统多功能协调发展。然而,由于反馈机制的延迟效应及科技进步的时效性,相关的调控措施可能存在滞后现象,因此加强相关问题的模拟预测研究,对于预见性地提出相应调控措施具有重要意义。

②基于系统动力学模拟仿真软件Vensim PLE,从社会、经济、资源、环境和政策五个层面设置变量参数和函数关系式,模拟乡村地域系统各变量的发展演化趋势。在对仿真模型进行检验的基础上,本文设置了自然增长模式、高速发展模式、保护发展模式和协调发展模式,对乡村地域系统未来发展的情景进行仿真。结果表明:如果不采取相应的优化调控措施,到2035年,中国城镇化水平将达到76.52%;耕地面积为19.68亿亩,相比2017年减少369.5万 hm^2 ;用水量呈现出先增后降的趋势,到2028年达到最大值6124.97亿 m^3 ,占水资源总量的21.30%;乡村资源环境承载力呈逐步增大趋势,说明未来乡村地域系统的发展路径还需进一步优化。

③通过情景模式对比,认为未来城镇化增长速度可在当前1%的基础上适度放慢;单纯的农业生产

已无法满足资源节约与经济增长的双重目标,乡村经济发展应注重产业结构的转型升级。加大科技投入力度,是提高生产力水平、增强资源环境承载力的有效手段;合理有效的调控政策是保障乡村社会经济可持续发展的重要防线,通过调查研究探索乡村发展存在的问题和不足,保证政策子系统得到及时反馈。

参考文献:

- [1]周扬,郭远智,刘彦随.中国乡村地域类型及分区发展途径[J].地理研究,2019,38(3):467-481.
- [2]Beardmore L, Heagney E, Sullivan C A. Complementary land use in the Richmond River catchment: evaluating economic and environmental benefits[J]. Land Use Policy, 2019, 87: 104070.
- [3]张英男,龙花楼,戈大专,等.黄淮海平原耕地功能演变的时空特征及其驱动机制[J].地理学报,2018,73(3):1-17.
- [4]Ge D, Long H, Zhang Y, et al. Farmland transition and its influences on Grain Production in China[J]. Land use Policy, 2018, 70: 94-105.
- [5]刘彦随,周扬,李玉恒.中国乡村地域系统与乡村振兴战略[J].地理学报,2019,74(12):1-18.
- [6]龙花楼,屠爽爽.土地利用转型与乡村振兴[J].中国土地科学,2018,32(7):1-6.
- [7]陈秧分,刘玉,王国刚.大都市乡村发展比较及其对乡村振兴战略的启示[J].地理科学进展,2019,38(9):1-9.
- [8]屠爽爽,龙花楼,张英男,等.典型村域乡村重构的过程及其驱动因素[J].地理学报,2019,74(2):1-17.
- [9]朱琳,黎磊,刘素,等.大城市郊区村域土地利用功能演变及其对乡村振兴的启示——以成都市江家堰村为例[J].地理研究,2019,38(3):578-594.
- [10]马历,龙花楼,屠爽爽,等.基于乡村多功能理论的贫困村域演变特征与振兴路径探讨——以海南省什寒村为例[J].地理科学进展,2019,38(9):1435-1446.
- [11]曹智,李裕瑞,陈玉福.城乡融合背景下乡村转型与可持续发展路径探析[J].地理学报,2019,74(12):1-12.
- [12]李玉恒,闫佳玉,宋传焱.乡村振兴与可持续发展——国际典型案例剖析及其启示[J].地理研究,2019,38(3):595-604.
- [13]谷晓坤,陶思远,卢方方,等.大都市郊野乡村多功能评价及其空间布局——以上海89个郊野镇为例[J].自然资源学报,2019,34(11):2281-2290.
- [14]龙花楼,张英男,屠爽爽.论土地整治与乡村振兴[J].地理学报,2018,73(10):1-13.

[15]陈秧分,刘玉,李裕瑞.中国乡村振兴背景下的农业发展状态与产业兴旺途径[J].地理研究,2019,38(3):632-642.

[16]孔雪松,王静,金志丰,等.面向乡村振兴的农村土地整治转型与创新思考[J].中国土地科学,2019,33(5):95-102.

[17]刘彦随.中国新时代城乡融合与乡村振兴[J].地理学报,2018,73(4):637-650.

[18]陈坤秋,龙花楼.中国土地市场对城乡融合发展的影响[J].自然资源学报,2019,34(2):221-235.

[19]周心琴,张小林.我国乡村地理学研究回顾与展望[J].经济地理,2005,25(2):285-288.

[20]Hoggart Keith, Buller Henry. Rural development: A geographical perspective[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2017, 100(11): 6789-6794.

[21]石忆邵.乡村地理学发展的回顾与展望[J].地理学报,1992,47(1):80-88.

[22]章家恩,徐琪.退化生态系统的诊断特征及其评价指标体系[J].长江流域资源与环境,1999,8(2):215-220.

[23]龙花楼,屠爽爽.论乡村重构[J].地理学报,2017,72(4):563-576.

[24]刘彦随.新时代乡村振兴地理学研究[J].地理研究,2019,38(3):461-466.

[25]张富刚,刘彦随.中国区域农村发展动力机制及其发展模式[J].地理学报,2008,63(2):115-122.

[26]唐林楠,刘玉,唐秀美.北京市城乡转型与乡村地域功能的时序特征及其关联性[J].人文地理,2016,31(6):123-129.

[27]Richardson G P, Pugh A L. Introduction to system dynamics modeling with Dynamo[J]. Journal of the Operational Research Society, 1997, 48(11): 1146-1146.

[28]Forrester J W. Advertising: a problem in industrial dynamics[J]. Harvard Business Review, 1959, 37(2): 100-110.

[29]刘志强,陈渊,金剑,等.基于系统动力学的农业资源保障及其政策模拟——以黑龙江省为例[J].系统工程理论与实践,2010,30(9):1586-1592.

[30]陆大道.中速增长:中国经济的可持续发展[J].地理科学,2015,35(10):1207-1219.

Simulation on Sustainable Development of Rural Territorial System in China

Ma li Long Hualou

Abstract: The rural territorial system is composed of five subsystems of society, economy, resources, environment and policy. Each subsystem forms an organic whole with specific functions through the interaction and correlation of one or more variables. Based on the description of the concept connotation and structure function of the rural territorial system, this paper builds a system dynamics model for the sustainable development of the rural territorial system in China, based on the system dynamics simulation software Vensim PLE. Simulate the development and evolution trend of the system society, economy, resources and environment under different scenario models, with a view to providing a scientific reference for the multifunctional coordination and revitalization of rural. The results show that: Although the current rural development model can create high economic added value, it may cause structural unemployment, resource shortage and environmental pollution due to the rapid growth of urbanization. In the future, the growth rate of urbanization should be slowed down on the basis of the current 1%. Simple agricultural production can no longer meet the dual goals of resource conservation and economic growth, so rural economic development must focus on the transformation and upgrading of industrial structure. Increasing investment in science and technology is an effective way to improve the level of rural production and enhance the bearing capacity of resources and environment. Reasonable and timely control policies is an important line of defense to ensure the sustainable development of rural local economy. In the future, we can investigate and simulate the problems and deficiencies of rural development to ensure the timely feedback of policy subsystem.

Key words: rural territorial system; rural vitalization; system dynamic model; sustainable development; rural geography