

DOI: 10.5846/stxb201604260791

方创琳, 贾克敬, 李广东, 王岩. 市县土地生态-生产-生活承载力测度指标体系及核算模型解析. 生态学报, 2017, 37(15): 5198-5209.

Fang C L, Jia K J, Li G D, Wang Y. Theoretical analysis of the index system and calculation model of carrying capacity of land ecological-production-living spaces from county scale. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(15): 5198-5209.

市县土地生态-生产-生活承载力测度指标体系及核算模型解析

方创琳^{1,2,*}, 贾克敬³, 李广东², 王 岩²

1 新疆大学经济研究所, 乌鲁木齐 830046

2 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

3 中国土地勘测规划院, 北京 100672

摘要: 土地同时具有生态功能、生产功能和生活功能, 相应地具有生态-生产-生活综合承载力, 土地生态承载力、生产承载力和生活承载力是一个相互支持、相互依存的有机整体。土地生态-生产-生活系统承载力是指土地资源与生态环境的供容能力、经济活动能力和满足一定生活水平人口数量的社会发展能力的有机综合体, 由处于支持层的生态承载力和处于表现层的生产承载力和生活承载力三部分组成, 简称土地“三生”承载力。以党的“十八大”报告提出的“优化国土空间开发格局, 促进生产空间集约高效, 生活空间宜居适度, 生态空间山清水秀”为目标, 分析了土地生态-生产-生活综合承载力的基本构成及作用机制, 在此基础上, 以县级尺度作为测度对象, 通过多方案比选, 构建了由 1 个一级指标、3 个二级指标、21 个三级指标构成的土地生态-生产-生活综合承载力测度指标体系, 给出了不同层级具体指标的量化辨识方法; 进一步优选出土地生态-生产-生活综合承载力核算的 SD 情景模型。该研究从理论上旨在为推进国土生态、生产、生活空间集约高效利用提供科学判据, 为开展全国市县尺度的土地综合承载力监测预警提供定量的科学依据。

关键词: 土地生态-生产-生活承载力; 综合测度指标体系; 核算模型; 量化辨识; 理论辨析

Theoretical analysis of the index system and calculation model of carrying capacity of land ecological-production-living spaces from county scale

FANG Chuanglin^{1,2,*}, JIA Kejing³, LI Guangdong², WANG Yan²

1 Institute of Economics, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

2 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China

3 Chinese Land Surveying and Planning Institute, Beijing 100672, China

Abstract: Land holds the function of ecological, production and living at the same time. Correspondingly, it possesses the synthetic carrying capacity of ecological-production-living spaces, and the ecological carrying capacity, production carrying capacity and living carrying capacity are mutual support and interdependence. The synthetic carrying capacity of land ecological-production-living spaces means the capacity of mutualistic symbiosis between the land resource and ecological environment, and economic and social development ability with high standard of living. It consists of a support layer and a presentation layer. The ecological carrying capacity is support layer, and the production carrying capacity and living carrying capacity are presentation layers. Thus, the synthetic carrying capacity of land ecological-production-living spaces is called “San Sheng carrying capacity” for short. The Eighteenth National Congress of the Communist Party of China claimed, “We

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目(41590842), 中国土地勘测规划院外协资助项目(2014121106433)

收稿日期: 2016-04-26; **网络出版日期:** 2017-03-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fangcl@igsrr.ac.cn

should improve development of China's geographical space, and ensure that the space for production is used intensively and efficiently, that the living space is livable and proper in size, and that the ecological space is unspoiled and beautiful." Based on this, we analyzed the basic composition and function mechanism of the synthetic carrying capacity of land ecological-production-living spaces, and a comprehensive index system from county scale is constructed by multi-scheme comparison, which including a primary index, three secondary indexes, 22 three-level indexes. The quantitative calculation method of each index was also given. At last, we proposed a system dynamics model to account and simulate the synthetic carrying capacity of land ecological-production-living spaces. This study aims at providing a scientific criterion for promoting intensive utilization of land ecology, production and living spaces, and providing methods for the land comprehensive carrying capacity monitoring and early warning in China at the county scale.

Key Words: synthetic carrying capacity of ecological-production-living spaces; index system; calculation model; quantitative identification; theoretical analysis

1 土地生态-生产-生活综合承载力的基本构成及作用机制

1.1 土地的生态功能、生产功能和生活功能

土地同时具有生态功能、生产功能和生活功能,其中生态功能是土地在生态系统支撑下,为满足人类社会的需求而所要承担的功能,具体表现形式有维护生物多样性、调节气候、水源涵养、减轻旱涝灾害、维护土壤功能、废物的处理、景观美学与精神文化功能等,生态功能是土地生产功能、生活功能得以维持与稳定的基础;生产功能与生活功能主要包含了土地第一、二性的生产功能、土地的仓储功能与承载功能,是人类有形的消费功能,是人类生产和发展的基础,也是在生态环境支撑下的土地系统最重要的功能^[1-2]。就土地利用方式而言,生产功能、生活功能和生态功能是一个不可分割的整体,三者互相联系,在一定条件下还可以相互促进^[3]。可见,生态系统是人类的生产、生活的支撑基础,但人类的生产、消费等活动又影响着生态系统。在开展土地承载力研究时,不能单一以粮食生产和人口容量为关键词展开,生产功能只是土地众多生产功能中的一个分支,土地还具有非常重要的生态调节功能和生活承载功能。因此,对土地承载力的评价与测算需要从生态、生产、生活 3 个方面进行综合集成研究。

1.2 土地生态-生产-生活综合承载力的基本内涵与基本构成

土地生态-生产-生活系统承载力是指土地资源与生态环境的供容能力、经济活动能力和满足一定生活水平人口数量的社会发展能力的有机综合体,它由处于支持层的生态承载力和处于表现层的生产承载力和生活承载力三部分组成,简称土地“三生”承载力^[4]。土地生态-生产-生活综合承载力的“综合”性包括三方面涵义。一方面,对于承载力而言,土地不应仅局限于耕地,而应是包含园地、林地、牧草地、城镇居民点及工矿用地、水域、交通用地和未利用土地等在内的广义的土地;另一方面,对于土地功能而言,不只停留在土地为人类提供粮食的基本功能上,还同时考虑土地的生态功能和为人类提供社会经济活动空间的生产及生活功能;最后,对于承载物而言,由于土地问题是由人的社会、经济活动所造成的,土地利用的目标是使人类社会、经济活动与相应环境相协调,使人类生存发展的土地资源得到保护和改善,所以承载对象不仅是人口,而应是人类的各项社会、经济活动,包括承载的城市规模、经济规模、交通规模、环境承载能力等^[5]。

土地生态-生产-生活综合承载力由土地生态承载力(ECC)、土地生产承载力(PCC)和土地生活承载力(LCC)三部分有机融合而成。其中:土地生态承载力(ECC)是指区域自我维持与自我调节能力,是指在不危害区域生态系统的前提下所反映的资源与环境承载能力和由资源与环境承载力决定的区域本身所表现出来的弹性力大小,通过资源承载力、环境承载力和生态系统的弹性力来反映^[6]。土地生产承载力(PCC)是指在区域的生态弹性限度内和现有经济技术水平约束下所能达到的适度经济活动规模与强度。土地生活承载力(LCC)是指能满足一定生活水平人口数量的社会发展能力,反映区域中以人口为中心的社会发展状况及人们

生活质量状况。这是区域资源环境所支持下的生态系统和经济系统所创造的物质财富与精神财富在特定区域的全面反映^[7-8]。

1.3 土地生态-生产-生活综合承载力的相互作用机制

土地生态-生产-生活综合承载力是一组系统概念,生态承载力是基础,以生态承载力支持下的生产承载力是主体,以生态承载力与生产承载力共同支持下的生活承载力是目标,三者之间存在着复杂的相互作用、彼此制约的关系,这种关系表现为非线性多重反馈、多维连锁、多元耦合关系和因果关系,正是这种关系才使土地“三生”承载力有机地结合成一个整体。按照系统论的观点,土地“三生”承载力相互作用的驱动机制指维持土地“三生”承载力的结构与功能正常运作的动力因子的种类、大小、传递方向及其相互作用方式等^[9]。

基于土地“三生”综合承载力相互作用关系的特点,分别选取对土地生态承载力、生产承载力和生活承载力变化起决定作用的核心因子——人口、资源和环境作为土地“三生”承载力的驱动因子,分析土地“三生”承载力的相互作用机制^[10],如图1所示。这些驱动因子中的一项或几项发生变化都会引起其它因子之间的连锁反应,导致土地生态承载力、生产承载力与生活承载力不同程度的变化,进而引起土地“三生”承载力整体变动。这种情况表明,积极创造条件,充分发挥这些驱动因子的功能,人类才能对土地综合承载力进行调控^[11]。

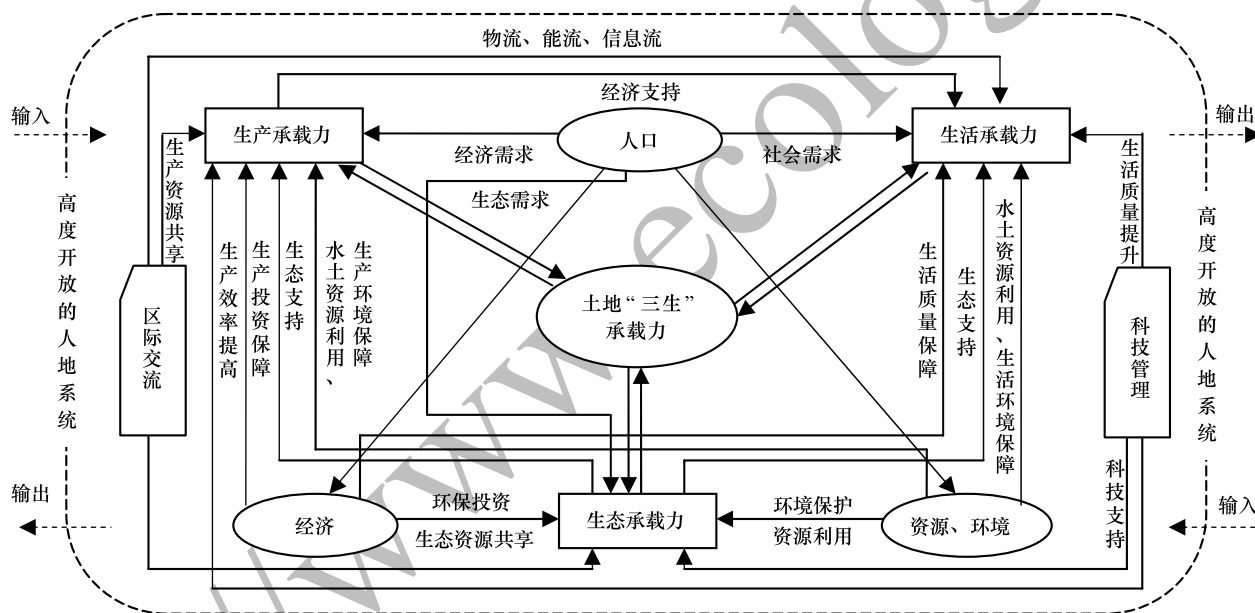


图1 土地生态-生产-生活综合承载力相互作用的驱动机制

Fig.1 The interactive driving mechanism of land eco-production-living carrying capacity

土地生态承载力作为土地“三生”承载力的支持层,一方面为生产承载力提供生态支持,另一方面又为生活承载力提供生态支持,而生产承载力既是生态承载力的支持者,又为生活承载力提供经济支持,与生态承载力共同支持着生活承载力;同时,生活承载力又会对生产承载力与生态承载力产生反作用,而且土地承载力的整体变动也会从不同程度上分别引起生态承载力、生产承载力与生活承载力的变化。总之,土地“三生”承载力之间借助人口流、物质流、能量流、信息流、价值流和技术流等的连接,形成了错综复杂的相互关系^[12]。

2 土地生态-生产-生活承载力测度指标体系的优选方案

土地生态-生产-生活综合承载力综合测度指标的选择坚持系统综合原则、层次性原则、三生空间优化原则、区域差异原则、可比可量原则和县市行政区划完整性原则,在这些原则指导下,提出土地生态-生产-生活承载力测度指标体系的优选方案。

2.1 土地生态-生产-生活综合承载力综合测度尺度的选择

土地生态-生产-生活综合承载力综合测度尺度以县级行政单位为主尺度,采用网格数据单元,建立通用指标体系,形成全国层面的土地综合承载力指标测度配置系统。目前,我国县级行政单位包括地级市的市辖区、县级市、县、自治县、旗、自治旗、特区、林区、农场、牧场及围场等。因此,在构建指标体系时将根据评价单元自然本底特征,差异性选取反映区域土地承载力状态的指标。本文将土地资源承载指标分为市辖区、农区县(市、旗)、牧区县(市、旗)、林区县(市、旗)。其中市辖区包括直辖市及地级市的市辖区。牧区县(市、旗)、农区县(市、旗)范围;半农半牧区根据实际情况选取农区及牧区指标。林区县(市、旗)包括县级林区(湖北神农架林区),及位于我国三大林区(东北林区、西南林区、南方林区)的相关县级行政单位。贵州六盘水市的六枝特区是一个大型煤矿区,属我国唯一县级特区,参照市辖区测度指标进行评价。

2.2 土地生态-生产-生活承载力综合测度指标体系的优选方案

按照土地生态-生产-生活承载力综合测度指标体系选择的基本原则,在研制土地生态-生产-生活承载力综合测度指标体系过程中,分别从不同视角提出了土地生态-生产-生活承载力选择指标体系优选的 6 种方案(表 1),通过 6 种方案的优选比较,最终将土地生态-生产-生活综合承载力指标体系确定为由生态承载力指标、生产承载力指标、生活承载力指标三部分构成(表 2)。综合测度指标体系按照市辖区、农区县(市、旗)、牧区县(市、旗)、林区县(市、旗)等不同区域类型进一步细化评价指标。土地生态-生产-生活承载力总体上是生态系统、生产系统和生活系统分别相对于人口系统的承载力,可根据居民生活水平所能达到的标准确定本地区所能承载的相应生活水准下的人口数量,因而在指标体系的选取中同时兼顾了衡量生活水平的指标。土地生态-生产-生活综合承载力指标体系由 1 个一级指标、3 个二级指标、21 个三级指标构成。

表 1 土地生态-生产-生活承载力选择的指标体系优选的 6 种方案
Table 1 The schemes of index system of land eco-production-living carrying capacity

方案序号 Schemes	一级指标个数 Count of indexes I	二级指标个数 Count of indexes II	三级指标个数 Count of indexes III	四级指标个数 Count of indexes IV	说明 Brief description
方案 1 Scheme 1	1	3	9	40	突出了从温饱、小康、富裕三种不同的生活标准值设置指标体系
方案 2 Scheme 2	1	3	13	65	突出了要素指标的完整性和系统性,但数据获取难度大
方案 3 Scheme 3	1	3	8	31	突出了指标体系的简洁性
方案 4 Scheme 4	1	3	25	0	突出了三级指标,去掉了四级指标
方案 5 Scheme 5	1	3	16	0	突出了传统的分要素承载力核算指标体系,删除了土地生态、生产、生活承载力的属性指标
方案 6 Scheme 6	1	3	21	0	突出土地生态、生产、生活承载力的属性,删除了按照要素属性综合评价土地承载力

(1) 土地生态承载力测度指标 由人均水资源量、地下水超采率、单位用水 GDP、地表水功能区达标率、水土资源匹配程度、生态用地面积比率、土地退化指数、地质灾害高易发区面积占总面积比率、空气质量指数、单位 GDP 碳排放量(碳排放强度)、建成区绿化覆盖率等 11 个三级指标构成,主要目标是测度区域自我调节和自我维持能力状况。

(2) 土地生产承载力测度指标 由可生产用地潜力指数、生产用地效益指数、人均可生产用地面积、生产用地合理利用指数 4 个三级指标构成;其中生产用地潜力指数包括可建设用地承载强度、耕地生产潜力指数、后备耕地潜力指数、草地承载潜力指数、林地承载潜力指数等;主要测度区域目前的经济活动规模与强度下生产资料状况和基础设施状况。

(3) 土地生活承载力测度指标 由人口密度、城镇化水平、城镇居民人均可支配收入、农民人均纯收入、人均居住建筑面积、人均公共绿地面积 6 个三级指标构成,主要是测度区域在现状资源、环境、人口状态下人类生活水平。

表 2 土地生态-生产-生活承载力综合测度指标体系

Table 2 The comprehensive measurement index system of land eco-production-living carrying capacity

一级指标 Indexes I	二级指标 Indexes II	三级指标 Indexes III	指标适用性 Index suitability	具体指标核算所需要的原始数据及数据来源 The original data and data sources	指标性质 Index properties
生态-生产-生活综合 承载状态指标 A Land eco-production- living carrying capacity A	生态承载 指标 B1	C1 人均水资源量	通用指标	水资源总量、总人口(土地二调数据、县统计年鉴)	正向
		C2 地下水超采率	通用指标	地下水开发利用时期内年均地下水开采量、地下水开发利用时期内年均地下水可开采量(国土部门获得的数据)	负向
		C3 单位 GDP 用水	通用指标	GDP、总用水量(城市统计年鉴)	正向
		C4 地表水功能区达标率	通用指标	劣五类以上水质断面(河流长度)、总断面(河流总长度)(水资源公报、环境统计公报)	正向
		C5 水土资源匹配程度	通用指标	农业用水量、耕地面积、工业用水量、工矿用地面积(土地二调数据、城市统计年鉴)	负向
		C6 生态用地面积比率	通用指标	生态用地面积、区域总面积(土地二调数据)	正向
		C7 土地退化指数	通用指标	土地侵蚀(水土流失)、土地沙漠化、土地盐碱化、土地次生潜育化、土地污染及土地质量退化面积、土地总面积(土地二调数据)	负向
		C8 地质灾害高易发区面积 占总面积比率	通用指标	包括突发性地质灾害与缓变性地质灾害两大类。前者包括崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、即习惯上的狭义地质灾害;后者如水土流失、土地沙漠化等、区域总面积(地质灾害监测报告,国土部门数据)	负向
	生产承载 指标 B2	C9 空气质量指数	通用指标	空气质量(环保部监测报告)	正向
		C10 单位 GDP 碳排放量(碳排放强度)	通用指标	碳排放总量、GDP(城市统计年鉴)	负向
		C11 建成区绿化覆盖率	通用指标	建成区绿化覆盖面积、区域总面积(城市建设统计年鉴)	正向
	生产承载 指标 B2	C12 可生产用地潜力指数	市辖区 可建设用地承载强度	可建设用地面积、生态用地面积、基本农田等不适宜建设面积(土地二调数据)	正向
		农区县(市、旗)	耕地生产潜力指数	实际单产、理论产量(土地二调数据、县统计年鉴)	正向
			后备耕地潜力指数	后备耕地面积、可耕地面积(土地二调数据、耕地后备资源调查评价、国土部门数据)	正向
		牧区县(市、旗)	草地承载潜力指数	实际载畜量、理论载畜量(土地二调数据)	正向
		林区县(市、旗)	林地承载潜力指数	可开发林地面积、总林地面积(土地二调数据)	正向
		市辖区	地均 GDP	GDP、建设用地面积(城市统计年鉴)	正向
		农区县(市、旗)	耕地质量指数	产能指数、平均利用等指数(耕地质量等级评定报告)	正向
		牧区县(市、旗)	地均牧业产值	牧业产值、草地面积(市县统计年鉴)	正向
		林区县(市、旗)	地均林业产值	林业产值、林地面积(市县统计年鉴)	正向
	生产用地效益指数	C13 生产用地效益指数			

续表

一级指标 Indexes I	二级指标 Indexes II	三级指标 Indexes III	指标适用性 Index suitability	具体指标核算所需要的原始数据及数据来源 The original data and data sources	指标性质 Index properties
	C14	人均可生产用地面积	市辖区	建设用地面积、总人口(市县统计年鉴)	正向
			农区县(市、旗)	耕地面积、总人口(市县统计年鉴)	正向
			牧区县(市、旗)	草场面积、总人口(市县统计年鉴)	正向
			林区县(市、旗)	林地面积、总人口(市县统计年鉴)	正向
	C15	生产用地合理利用指数	市辖区	城镇人均建设用地、城镇人均建设用地标准、农村人均建设用地、农村人均建设用地标准(市县统计年鉴)	负向
				不适宜建设用地区域内建设用地面积、建设用地面积(土地二调数据)	正向
			农区县(市、旗)	非法占用农地面积、农用地面积(土地二调数据)	负向
			牧区县(市、旗)	非法占用草地面积、草地面积(土地二调数据)	负向
			林区县(市、旗)	非法占用林地面积、林地面积(土地二调数据)	负向
	生活承载 指标 B3	人口密度	通用指标	总人口、土地面积(市县统计年鉴)	正向
		城镇化水平	通用指标	城镇人口、总人口(市县统计年鉴)	正向
		城镇居民人均可 支配收入	通用指标	城镇居民人均可支配收入(市县统计年鉴)	正向
		农民居民人均可 支配收入	通用指标	农民居民人均可支配收入(市县统计年鉴)	正向
		人均居住建筑面积	通用指标	人均居住建筑面积(市县统计年鉴)	正向
		人均公共绿地面积	通用指标	人均公共绿地面积(市县统计年鉴)	正向

3 土地生态-生产-生活承载力综合测度指标的量化辨识

3.1 土地生态承载力测度指标的量化辨识

土地生态承载力测度指标由 11 个三级指标构成。

(1) 人均水资源量 反映区域水资源丰富程度。人均水资源量 = 区域水资源总量 / 区域总人口。国际公认的缺水标准分为四个等级: 人均水资源低于 3000m^3 , 为轻度缺水; 人均水资源低于 2000m^3 , 为中度缺水; 人均水资源低于 1000m^3 , 为重度缺水; 人均水资源低于 500m^3 , 为极度缺水。

(2) 地下水超采率 地下水超采是指在某一开采水平下, 多年平均地下水开采量超过多年平均的地下水可开采量, 从而造成地下水位持续下降、水质恶化及水源地产水量减少或其他环境问题的现象。地下水超采率用同一范围内某时间段的地下水开采量、地下水可开采量两者之差与地下水可开采量的比值表示。年均地下水超采系数大于 0.3 区域为严重超采区。计算公式如下: 地下水超采率 = (地下水开发利用时期内年均地下水开采量 - 地下水开发利用时期内年均地下水可开采量) / 地下水开发利用时期内年均地下水可开采量。

(3) 单位用水 GDP 反映水资源利用效率及产生效益, 是衡量区域集约节约用水水平的重要指标。单位用水 GDP = GDP / 区域总用水量, 区域总用水量 = 工业用水量 + 生活用水量。

(4) 地表水功能区达标率 是指区域地表水环境质量达到相应功能水体要求, 区域内跨界断面出境水质达到国家或省考核目标, 能够整体反映区域水环境质量状况, 数据可从省级环境状况公报及省级水资源公报获取。计算公式如下: 地表水功能区达标率 = 1 - 劣五类以上水质断面 (河流长度) / 总断面 (河流总长度)。

(5) 水土资源匹配指数 是水土组合匹配程度, 表征区域水、土两大基本生产要素组合状况。水和土作为两大基本生产要素, 其地域组合状况在很大程度上决定着区域土地生产潜力的发挥。水土协调度小, 水少土地多; 反之则水多土地少。水土协调度为 1, 表明水资源和土地资源空间分布均匀。计算公式如下: 水土资源匹配指数 = $\alpha \times$ 农业水土资源匹配指数 + $(1 - \alpha) \times$ 工业水土资源匹配指数; 农业水土资源匹配指数 = (评价单元农业用水量 / 研究区农业用水量) / (评价单元耕地规模 / 研究区耕地规模); 工业水土资源匹配指数 = (评价单元工业用水量 / 研究区工业用水量) / (评价单元城镇工矿用地规模 / 研究区城镇工矿用地规模)。

(6) 生态用地面积比率 是指生态用地占评价区域土地面积的百分比, 是区域生态环境质量的重要表征, 用来衡量生态用地对维持区域生态平衡和持续发展的能力, 生态用地面积具体包括林地面积、天然草地面积和水域面积。计算公式为: 生态用地面积比率 = 生态用地面积 / 区域总面积。

(7) 土地退化指数 是指区域内土地退化面积占评价区域面积的比重, 包括土地侵蚀 (水土流失)、土地沙漠化、土地盐碱化、土地次生潜育化、土地污染及土地质量退化面积的总和。土地退化指数 = 土地退化面积 / 土地总面积。

(8) 地质灾害指数 是指地质灾害高易发区面积占区域总面积比率。就地质环境或地质体变化的速度而言, 可分突发性地质灾害与缓变性地质灾害两大类。前者如崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝, 即习惯上的狭义地质灾害; 后者如水土流失、土地沙漠化等, 又称环境地质灾害。地质灾害指数表征区域发生灾害的可能性, 影响区域土地承载力。计算公式为: 地质灾害指数 = 地质灾害高易发区面积 / 区域总面积; 地质灾害高易发区面积 = 突发性地质灾害高易发区面积 + 缓变性地质灾害高易发区面积。

(9) 空气质量指数 是定量描述空气质量状况的无量纲指数。根据《环境空气质量指数技术规定》(HJ 633—2012) 规定: 空气污染指数划分为 0—50、51—100、101—150、151—200、201—300 和大于 300 六档, 对应于空气质量的 6 个级别, 指数越大, 级别越高, 说明污染越严重, 对人体健康的影响也越明显。由于目前数据获取存在一定困难, 可采用空气质量二级以上天数比重代替反映评价单元的空气质量状态。

(10) 单位 GDP 碳排放量 是指每单位国民生产总值的增长所带来的二氧化碳排放量。计算公式为: 单位 GDP 碳排放量 = 二氧化碳排放总量 / GDP。

(11) 建成区绿化覆盖率 是指在城市建成区的绿化覆盖率面积占建成区的百分比, 计算公式为: 建成区

绿化覆盖率=建成区绿化覆盖面积/建成区总面积。

3.2 土地生产承载力测度指标的量化辨识

土地生产承载力测度指标由 4 个三级指标构成。

(12)可生产用地潜力指数 根据不同评价单元区域类型,选择可建设用地承载强度、耕地生产潜力指数、后备耕地潜力指数、草地承载潜力指数、林地承载潜力指数分别反映市辖区、农区县(市、旗)、牧区县(市、旗)及林区县(市、旗)的可生产用地潜力。1)市辖区采用可建设用地承载强度,是现状建设用地面积与适宜建设用地面积之比;适宜建设用地面积=区域土地总面积-区域所需生态用地面积-区域不适宜建设面积。2)农区县(市、旗)采用耕地生产潜力指数、后备耕地潜力指数。耕地生产潜力指数是指一定区域内耕地资源能为人类提供生活所需能量和蛋白质质量(粮食和肉蛋)的潜力,用来表征生产方式的现状。耕地生产潜力估算是土地人口承载力计算的重要前提和基础。计算公式如下:耕地生产潜力指数=(理论产量-实际单产)/理论产量。后备耕地潜力指数反应区域补充建设占用耕地的能力,及区域未来开发的耕地保障水平,计算公式如下:后备耕地潜力指数=后备耕地面积/可耕地面积;可耕地面积=现状耕地面积+后备耕地面积。3)牧区县(市、旗)采用草地承载潜力指数。是指一定区域内草地资源支撑畜牧业发展的潜在能力,用来表征牧区土地利用程度与承载状态,计算公式如下:草地承载潜力指数=(理论载畜量-实际载畜量)/理论载畜量;理论载畜量=区域可食草潜量/每绵羊单位年食草量;区域可食草潜量=暖季草地可食草潜量+冷季草地可食草潜量+全年草地可食草潜量。4)林区县(市、旗)采用林地承载潜力指数。是指一定区域内林地资源支撑林业发展的潜在能力,同时也体现林地红线对土地利用的约束力,计算公式如下:林地承载潜力指数=(可开发林地面积-已开发林地面积)/可开发林地面积。

(13)生产用地效益指数 根据不同评价单元区域类型,选择地均 GDP、耕地质量指数、地均牧业产值及地均林业产值分别反映市辖区、农区县(市、旗)、牧区县(市、旗)及林区县(市、旗)的生产用地效益。1)市辖区采用地均 GDP。指国内生产总值与区域面积之比;2)农区县(市、旗)采用耕地质量指数,根据耕地质量分等定级规程,耕地质量可分为自然等、利用等和经济等 3 个系列。耕地质量指数用以表征区域耕地在人类活动的参与下所能达到的平均产能状况。耕地质量自然等、利用等和经济等可从耕地质量等级评定结果中直接获取。计算公式如下:耕地质量指数= α ×耕地自然等+ β ×耕地利用等+(1- α - β)×耕地综合等。3)牧区县(市、旗)采用地均牧业产值,是牧业产值与牧草业用地面积之比;4)林区县(市、旗)采用地均林业产值,是林业产值与林业用地面积之比。

(14)人均可生产用地面积 根据不同评价单元区域类型,选择人均建设用地面积、人均耕地面积、人均草场面积及人均林地面积分别反映市辖区、农区县(市、旗)、牧区县(市、旗)及林区县(市、旗)的生产用地状态。1)市辖区采用人均建设用地面积,是建设用地总面积与总人口之比;2)农区县(市、旗)采用人均耕地面积;3)牧区县(市、旗)采用人均草场面积,是牧区草地面积与该区总人口比值;4)林区县(市、旗)采用人均林地面积,是林区林地面积与该区总人口比值。

(15)生产用地合理利用指数 根据不同评价单元区域类型,选择人均城乡建设用地偏离指数、建设用地布局合理指数、农用地不合理利用指数、草地不合理利用指数及林地不合理利用指数分别衡量市辖区、农区县(市、旗)、牧区县(市、旗)及林区县(市、旗)的生产用地利用合理与否。1)市辖区——人均城乡建设用地偏离指数、建设用地布局合理指数。人均城乡建设用地偏离指数是指现状人均城乡建设用地面积与人均城乡建设用地标准比值,人均城乡建设用地偏离指数= α ×城镇人均建设用地面积/城镇人均建设用地标准+(1- α)×农村人均建设用地面积/农村人均建设用地标准。建设用地布局合理指数是指不适宜建设用地区域内建设用地面积比例。2)农区县(市、旗)——农用地不合理利用指数,是非法占用农业用地面积与农用地面积之比。3)牧区县(市、旗)——草地不合理利用指数,是非法占用草地面积与草地面积之比。4)林区县(市、旗)——林地不合理利用指数,是非法占用林地面积与林地面积之比。

3.3 土地生活承载力测度指标的量化辨识

土地生活承载力测度指标由 6 个三级指标构成。

(16)人口密度 指单位土地面积上居住人口数,人口密度=区域总人口/土地总面积。

(17)城镇化水平 通常用城镇人口占全部人口的百分比来表示,是一个国家或地区经济发展、城镇化水平的重要指标,也是衡量一个国家或地区社会组织程度和管理水平的重要标志,可用于反映人口向城市聚集的过程和聚集程度。

(18)城镇居民人均可支配收入 指城镇居民家庭人均可用于最终消费支出和其它非义务性支出以及储蓄的总和,即居民家庭可以用来自由支配的收入。用以衡量城市居民收入水平和生活水平,反映城镇居民的现金收入情况。数据可从城市统计年鉴中获取。

(19)农村居民人均可支配收入 是农村居民当年从各个渠道得到的总收入,可用于最终消费支出和其它非义务性支出以及储蓄的总和。农民人均可支配收入则是指按农村人口平均的可支配收入,反映的是一个国家或地区农村居民收入的平均水平。数据可从农村统计年鉴中获取。

(20)人均居住用地面积 人均居住用地面积是居住区用地面积与居住人口比值,是反映评价单元人口生活居住水平的重要指标,也是区域土地生活承载力的重要表征。

(21)人均绿地面积 指区域人口每人拥有的绿地面积。绿地面积不包括屋顶绿化、垂直绿化和覆土小于2米的土地,其高低是区域环境质量及居民生活福利水平的重要指标。

4 土地生态-生产-生活综合承载力核算模型

土地生态-生产-生活综合承载力是一个涉及资源、环境、社会、经济、空间、科技文化等诸多因素的复杂系统概念,因此,土地生态-生产-生活综合承载力大小的定量测算,单纯依靠传统分析方法还不能完全反映区域资源环境与社会经济诸系统之间的相互作用和反馈关系,需要采用系统动力学方法进一步对土地生态-生产-生活综合承载力进行系统分析和模拟,通过情景分析,对土地生态-生产-生活综合承载力的变化趋势和影响因素进行科学分析和预测^[13]。按照土地生态-生产-生活综合承载力的作用机制和测算指标体系,将土地综合承载力研究系统划分为生态子系统、生产子系统和生活子系统3个子系统。土地生态-生产-生活综合承载力研究系统是一个复杂的大系统,系统包含的因素(变量)众多,各个因素(变量)之间相互联系,互相影响,构成了具有多重反馈的因果关系回路,如图2所示。基于以上基本反馈结构和要素之间的相互作用机理,在Vensim PLE软件中,绘制完成土地生态-生产-生活综合承载力系统因果反馈流程图,生态承载力、生产承载力和生活承载力分别核算模型如下。

4.1 土地生态承载力子系统因果反馈流程及核算模型

土地生态承载力子系统的因果反馈流程图包括7个状态变量,分别为水环境容量、二氧化碳排放量、二氧化硫排放量、大气环境容量、COD排放量、氨氮排放量。包括10个速率变量,分别为生态用地增加率、生态用地减少率、草地面积增加率、草地面积减少率、大气极限容量、大气消纳容量、水体极限容量、水体同化容量、造林面积、林地减少面积。包括若干辅助变量,例如用来帮助建立速率方程的辅助变量,包括二氧化硫浓度、生活二氧化硫控制排放量、工业二氧化硫控制排放量、生活二氧化硫排放系数、工业二氧化硫排放系数、COD极限容量、生活COD控制排放量、工业COD控制排放量、生活COD排放系数、工业COD排放系数、工业总产值等;还包括测度分要素及综合要素承载力的变量,如:大气环境承载人口规模、大气环境承载经济规模、水环境承载人口规模、水环境承载经济规模、生态承载人口规模、生态承载经济规模等;还包括若干常数,如:生活二氧化碳排放系数、工业二氧化碳排放系数、生活二氧化硫排放系数、工业二氧化硫排放系数、生活COD排放系数、工业COD排放系数、生活氨氮排放系数、工业氨氮排放系数、工业产值比重、人均生态用地面积标准等;还包括若干个表函数(如:生活用水比重表函数、二氧化硫浓度表函数、工业产值比重表函数、生活二氧化硫排放系数等)和若干最小值函数(指大气环境承载人口规模、水环境承载人口规模、生态用地承载人口规模、生态承载人口规模、生态承载经济规模等)。

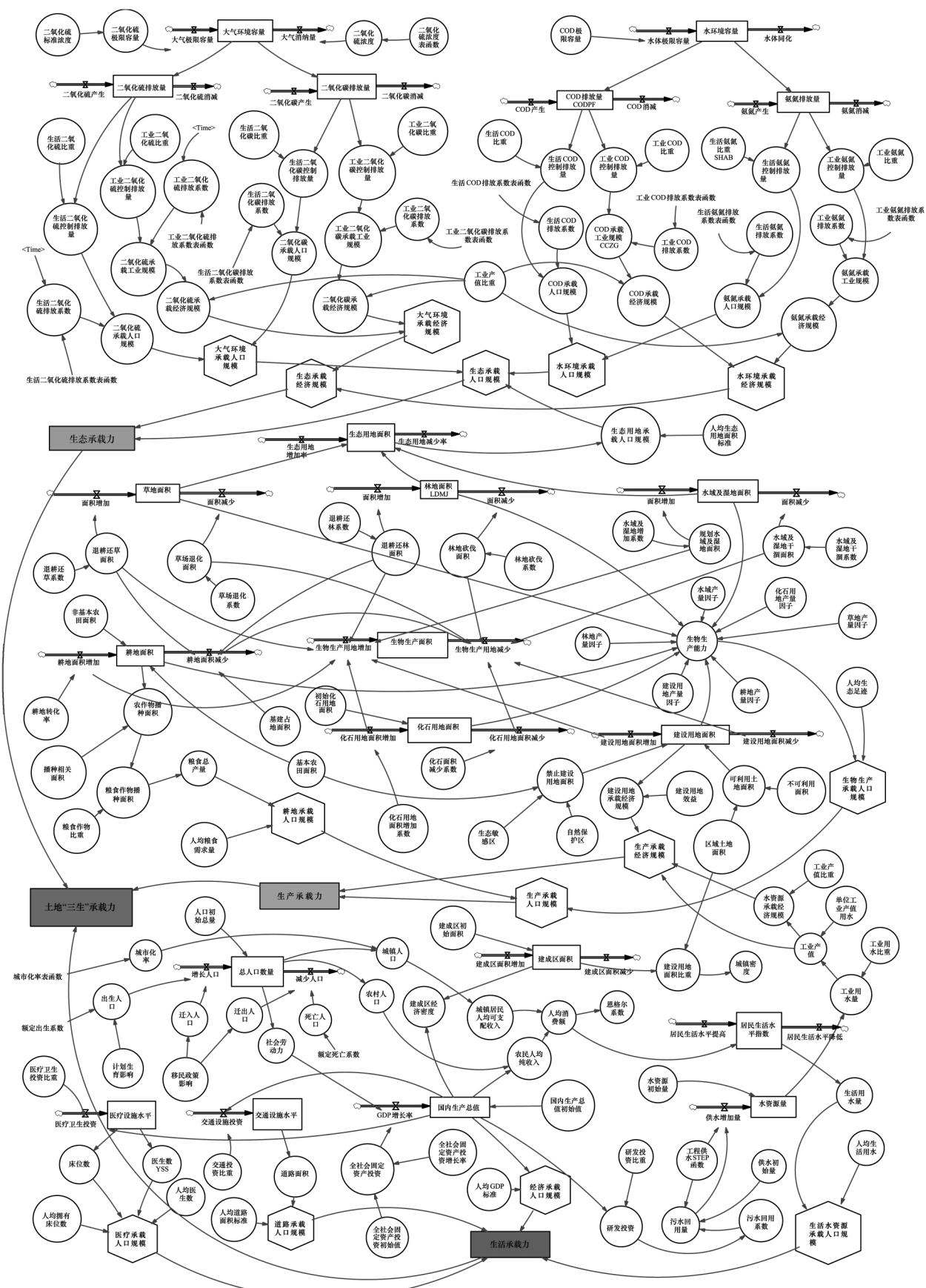


图2 土地生态-生产-生活综合承载力核算的SD模型因果反馈流程示意图

Fig.2 The causal feedback flow of system dynamics model for calculating the synthetic carrying capacity of land ecological-production-living spaces

4.2 土地生产承载力子系统因果反馈流程及核算模型

土地生产承载力子系统因果反馈流程图包括 7 个状态变量,分别为林地面积(hm^2)、草地面积(hm^2)、水域及湿地面积(hm^2)、耕地面积(hm^2)、化石用地面积(hm^2)、建设用地面积(hm^2)、生物生产面积(hm^2)。包括 12 个速率变量,分别为林地面积增加率、林地面积减少率、草地面积增加率、草地面积减少率、耕地面积增加率、耕地面积减少率、水域及湿地面积增加率、水域及湿地面积减少率、化石用地面积增加率、化石用地面积减少率、建设用地面积增加率、建设用地面积减少率。包括若干辅助变量,1)用来帮助建立速率方程的辅助变量——退耕还草面积、草场退化面积、退耕还林面积、林地砍伐面积、耕地转化率、水域及湿地增加面积、水域及湿地减少面积、化石用地面积增加系数等。2)测度分要素及综合要素承载力的变量,如:生物生产能力(全球公顷)、生物生产承载人口规模、耕地承载人口规模、生产承载经济规模、生产承载人口规模。包括若干常数,例如草地初始面积、林地初始面积、耕地初始面积、水域及湿地面积初始值、化石面积初始值、建设用地面积初始值、退耕还草系数、草场退化系数、退耕还林系数、森林砍伐系数、水域及湿地增加系数、水域及湿地减少系数、耕地转化率、化石面积增加系数、化石面积减少系数、建设用地效益、单位工业产值用水、禁止建设用地面积、人均粮食需求量等。包括若干函数,如退耕还草系数表函数、退耕还林系数表函数、耕地转化率表函数、化石面积增加率、耕地承载人口规模、生物生产承载人口规模、生产承载经济规模等。

4.3 土地生活承载力子系统因果反馈流程及核算模型

土地生活承载力子系统包括 7 个状态变量,分别为总人口数量、建成区面积、居民生活水平、医疗设施水平、交通设施水平、国内生产总值、水资源量。包括 9 个速率变量,分别为人口增长率、人口减少率、建成区面积增加率、建成区面积减少率、供水增加量、GDP 增长率、医疗卫生投资率、交通设施投资率、居民生活水平提高率。若干辅助变量,1)用来帮助建立速率方程的辅助变量——出生人口、死亡人口、迁入人口、全社会固定资产投资、交通投资比重、医疗卫生投资比重等。2)测度分要素及综合要素承载力的变量,如:医疗承载人口规模、交通设施承载人口规模、经济承载人口规模、水资源承载人口规模等。包括若干常数,例如人口初始总量、建成区初始面积、额定出生系数、额定死亡系数、医疗卫生投资比重、交通设施投资比重、全社会固定资产投资初始值、研发投资比重等。包括若干函数,表函数包括额定出生系数表函数、额定死亡系数表函数、医疗卫生投资比重表函数、交通设施投资表函数、研发投资比重表函数等;STEP 函数,工程供水 STEP 函数;最小值函数,包括医疗承载人口规模、交通设施承载人口规模、经济承载人口规模、生活用水承载人口规模等。

5 结论与讨论

5.1 结论

土地生态-生产-生活系统承载力是指土地资源与生态环境的供容能力、经济活动能力和满足一定生活水平人口数量的社会发展能力的有机综合体,由处于支持层的生态承载力和处于表现层的生产承载力和生活承载力三部分组成,简称土地“三生”承载力。本文以党的“十八大”报告提出的“优化国土空间开发格局,促进生产空间集约高效,生活空间宜居适度,生态空间山清水秀”为目标,通过分析土地生态-生产-生活综合承载力的作用机制发现,土地同时具有生态功能、生产功能和生活功能,相应地具有生态承载力、生产承载力和生活承载力;生态承载力是基础,以生态承载力支持下的生产承载力是主体,以生态承载力与生产承载力共同支持下的生活承载力是目标,三者之间存在着复杂的相互作用、彼此制约的关系,这种关系表现为非线性多重反馈、多维连锁、多元耦合关系和因果关系,正是这种关系才使土地“三生”承载力有机地结合成一个整体。

在土地生态-生产-生活综合承载力作用机制的基础上,以县级尺度作为测度对象,通过多方案比选,构建了由 1 个一级指标、3 个二级指标、21 个三级指标构成的土地生态-生产-生活综合承载力测度指标体系,给出了不同层级具体指标的量化辨识方法;进一步优选出土地生态-生产-生活综合承载力核算的 SD 情景模型。该研究从理论上为推进国土生态、生产、生活空间集约高效利用、为开展全国市县尺度的土地综合承载力监测预警提供了可操作性的指标体系和核算方法。

5.2 讨论

(1) 本文构建的市县尺度土地生态-生产-生活系统承载力是基于党的“十八大”报告提出的“优化国土空间开发格局,促进生产空间集约高效,生活空间宜居适度,生态空间山清水秀”这一国土空间利用战略进行的,与传统的以水资源、土地资源、矿产资源、生态环境等要素层面划分的承载力指标体系相比,本指标体系淡化了要素承载力分割核算承载力的弊端,因而更具有综合性、创新性和时代适应性。突出了国土部门以三生空间承载的基本功能为出发点,对国土生态空间、生产空间和生活空间的精准识别、精准利用和精准管理。

(2) 本文构建的市县尺度土地生态-生产-生活系统承载力测度指标体系既考虑了指标体系的全国普适性,又兼顾了指标体系的地区差异性。将市县尺度的指标体系在城区、农区、牧区、林区等不同质地的地区设置了不同的指标体系,避免了以往传统的以水土要素为主导的承载力核算中指标体系的同质性现象。

(3) 本文构建的市县尺度土地生态-生产-生活系统承载力核算模型是从众多的单要素承载力模型(如水资源承载力模型、土地承载力模型、人口承载力模型、环境承载力模型等)中,通过综合比选得出的,认为系统动力学 SD 模型具有与水、土、人口、生态环境承载力等单要素承载力模型最多的接口和熔点,而且可将承载力指标体系中的总量指标、均量指标、速率指标和政策指标用多重非线性因果反馈流程很好地体现出来,因而被认为是核算市县尺度土地生态-生产-生活系统承载力的最佳模型。

本文目前先从理论上构建了市县尺度土地生态-生产-生活系统承载力测度指标体系和核算模型,在实践中有待进一步应用,这也是本文下一步选择实地案例进行验证研究的主要方向。

致谢: 本研究中,得到中国土地勘测规划院李宪文研究员、邓红蒂研究员、刘康研究员、徐小黎研究员、祁帆工程师、杨枫高级工程师、苏东裘高级工程师、赵雲泰工程师、王菲菲工程师的支持和帮助,特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] Shi Y S, Wang H F, Yin C Y. Evaluation method of urban land population carrying capacity based on GIS—a case of Shanghai, China. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2013, 39: 27-38.
- [2] He R W, Liu S Q, Liu Y W. Application of SD model in analyzing the cultivated land carrying capacity: a case study in Bijie Prefecture, Guizhou Province, China. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, 10: 1985-1991.
- [3] 封志明. 土地承载力研究的过去、现在与未来. *中国土地科学*, 1994, 8(3): 1-9.
- [4] 方创琳, 鲍超, 张传国. 干旱地区生态-生产-生活承载力变化情势与演变情景分析. *生态学报*, 2003, 23(9): 1915-1923.
- [5] 邓红兵, 陈春娣, 刘昕, 吴钢. 区域生态用地的概念及分类. *生态学报*, 2009, 29(3): 1519-1524.
- [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. *自然资源学报*, 2001, 16(3): 248-254.
- [7] 柴国平, 徐明德, 王帆, 左婵. 资源与环境承载力综合评价模型研究. *地球信息科学学报*, 2014, 16(2): 257-263.
- [8] 张传国. 干旱区绿洲系统生态-生产-生活承载力评价指标体系构建思路. *干旱区研究*, 2001, 18(3): 7-12.
- [9] 毛汉英, 余丹林. 区域承载力定量研究方法探讨. *地球科学进展*, 2001, 16(4): 549-555.
- [10] 余丹林, 毛汉英, 高群. 状态空间衡量区域承载状况初探——以环渤海地区为例. *地理研究*, 2003, 22(2): 201-210.
- [11] 方创琳, 申玉铭. 河西走廊绿洲生态前景和承载能力的分析与对策. *干旱区地理*, 1997, 20(1): 33-39.
- [12] 郭志伟. 北京市土地资源承载力综合评价研究. *城市发展研究*, 2008, 15(5): 24-30.
- [13] 冯利华, 叶玮, 骆高远, 王正新, 李凤全. 基于系统动力学的 PRED 问题——以金华市为例. *系统工程*, 2005, 23(5): 94-97.