

耕地利用系统的理论解析与研究框架

杜国明¹, 柴璐佳¹, 李玉恒^{2,3*}

(1. 东北农业大学公共管理与法学院, 哈尔滨 150030; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要:耕地利用系统对全球变化和人类福祉具有巨大影响。论文运用系统科学的理论与方法, 探究耕地利用系统的概念、构成、运行、功能和特点, 并构建耕地利用系统研究框架, 对于深化土地系统科学、解决耕地利用中存在的各种问题具有重要的理论和现实意义。主要结论有: ① 耕地利用系统是农业生产经营者在一定数量和质量的耕地上投入适量生产要素种植农作物, 进而获得农产品及相应效益的自然—人工复合系统, 由耕地子系统、经济子系统及社会子系统构成, 具有显性和隐性双重结构。② 耕地利用系统运行及演化是自然生态过程、经济发展过程、社会演化过程耦合行进的结果, 并涌现出经济、社会、生态功能, 具有复合性、开放性、韧性和多等级性等特征。③ 耕地利用系统研究应遵循要素—结构—功能—机制—调控的理论框架, 从各要素组成、作用关系及变化特征揭示不同要素的演化特征; 从显性与隐性结构2个方面探索耕地利用系统结构及其转型规律; 从经济、社会 and 生态功能3个方面探索功能演化及其对于结构转型的响应特征; 从系统对外界环境变化的适应与调整机制、系统要素的相互影响与竞争替代机制、系统运行的信息传导机制、不同等级耕地利用主体协同与组织运行机制、耕地利用功能的涌现机制剖析耕地利用系统运行机制; 针对不同情景、不同目标、不同主体, 运用情景模拟法、多目标优化法、综合调控平衡法探究耕地利用调控策略。

关键词:耕地利用系统; 要素; 结构; 转型; 过程; 耕地利用功能

土地利用系统是人类社会赖以存在和发展的重要物质基础^[1], 由自然地理要素及人类活动要素组成, 各要素相互关联、彼此制约, 是典型的复杂巨系统^[2-3]。土地利用系统对全球变化及人类社会可持续发展都有着重要影响^[4]。耕地利用系统作为其重要的子系统^[5], 不断与外界进行能量流动及物质交换, 呈现出开放性、复杂性和多样性的耗散结构特征^[6], 面临着农业生产主体老弱化、化肥及农药施用过量化、优质耕地非农化等要素性问题^[7], 在各要素不断重组中推动着耕地利用形态变化; 面临着作物种植重茬化、地块散乱化、流转耕地非粮化等过程性结构性^[8-9]问题, 在各种耕地利用过程中推进着耕地利用功能重调; 面临着生态问题多发、耕地质

量退化、经济效益边际化等功能性问题^[10], 推动着耕地利用要素重组和结构变化。耕地利用系统中存在的问题直接关系到粮食安全、经济发展、社会稳定和生态平衡。增进耕地利用系统理论认知, 理清耕地利用系统研究脉络, 对于丰富土地系统科学理论、调控耕地资源利用、稳定粮食生产、促进农业可持续发展具有重要的理论及现实意义。

国外对土地利用系统的研究是从人文地理学的人地关系研究开始的。近代人文地理学首创者卡尔·李特尔强调土地利用系统中人地协调、相关和依存的原则^[11], 法国地理学家维达尔·白兰士肯定了人类在土地利用活动中的主体地位和能动作用^[12]。国内对于土地利用系统的早期研究主要侧重于自然方

收稿日期: 2021-11-29; 修订日期: 2022-03-16。

基金项目: 国家社会科学基金项目(21BJY209)。[Foundation: National Social Science Foundation of China, No. 21BJY209.]

第一作者简介: 杜国明(1978—), 男, 内蒙古赤峰人, 教授, 研究方向为土地资源优化配置与农村区域发展。

E-mail: duguoming@neau.edu.cn

*通信作者简介: 李玉恒(1983—), 男, 河北省石家庄人, 副研究员, 研究方向为乡村地理、乡村韧性。

E-mail: liyuheng@igsrr.ac.cn

引用格式: 杜国明, 柴璐佳, 李玉恒. 耕地利用系统的理论解析与研究框架[J]. 地理科学进展, 2022, 41(7): 1288-1299. [Du Guoming, Chai Lujia, Li Yuheng. Theoretical explanation and research framework of cultivated land use system. Progress in Geography, 2022, 41(7): 1288-1299.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2022.07.012

面,进入21世纪以来,在人地关系地域系统理论^[13-14]及土地生态经济理论^[15-16]的指导下,土地利用系统逐步演化为人工控制下的土地生态经济系统^[17]。随着土地系统理论的蓬勃发展,现有研究主要侧重从LUCC(land use and land cover change)^[18]、景观格局^[19]等角度,运用信息熵^[20]、CA模型^[21]、FLUS模型^[22]探讨土地利用系统演化机制;从经济—社会—生态效益^[23]或冲突—适配等角度^[24]评价土地利用系统的可持续性;基于不同土地利用调控目的或土地利用过程中的主要矛盾制定土地利用系统调控策略^[25-27]。虽然现有研究较好地反映了土地利用系统的概念、原则、演化机制、评价体系及调控策略,但忽视了耕地子系统的關鍵性地位。随着研究内容的拓展和研究方法的多样,必须借鉴土地利用系统研究方法,重新厘清耕地利用系统的概念,梳理其构成要素、结构分化、功能涌现、运行过程等内容,构建具有通用性、指导性、实用性的耕地利用系统研究框架。

土地系统科学在注重系统性、实践性及区域性的基础上,聚焦于开展人地耦合的土地利用系统的现状结构、演变趋势、变化机理研究,有利于揭示土地利用对土地系统整体功能的影响机制,并制定优化调控策略^[3],这为耕地利用系统研究提供了研究思路与全新视角。因此,本文提出并理论解析了“耕地利用系统”概念,阐述了耕地利用系统的构成、结构、过程与功能,构建了基于要素—结构—功能—机制—调控的耕地利用系统研究框架,为有效解决当前耕地利用中面临的各种问题、促进新时期耕地利用系统优化的顶层设计提供决策依据和科学参考。

1 耕地利用系统的理论解析

1.1 耕地利用系统的内涵、构成及结构

1.1.1 耕地利用系统内涵及构成

耕地是指种植农作物并能正常收获的土地,是粮食生产的重要载体,而耕地利用则是农业生产经营者利用耕地进行自然再生产和经济再生产的复杂的社会经济活动,其本质是人类社会及其活动与耕地之间的交互作用^[9]。基于耕地利用概念及土地利用系统理论,本文认为耕地利用系统是农业生产经营参与者在一定数量和质量的耕地上投入适量的劳动力、种子、化肥、农药、农机等生产要素来种

植农作物,进而获得农产品及相应效益的自然—人工复合系统。

根据耕地利用要素的组合状况将耕地利用系统划分耕地子系统、经济子系统和社会子系统(图1)。耕地子系统也可称为耕地生态子系统,是耕地利用系统中的固定性要素,又可以细分为田块、基础设施、附属设施和防护设施等要素,是耕地利用系统中最不可或缺的组成部分。面积不等、形状不一的耕地田块,是由田坎、沟渠、道路、防护林、堤坝等围起的直接用于农业生产的耕地单元。田块的气候条件、土壤特性、地貌部位及坡度、水文特征等直接影响着耕地的自然生产潜力,其中土壤类型、土壤质地、土壤肥力、土层厚度等土壤特性,对耕地自然生产潜力具有举足轻重的影响,土壤性状及健康状况是影响耕地可持续利用的关键。此外,田块的形状、规模、集中连片程度、区位条件等影响着耕作便捷程度。田块的要素构成特征是耕地利用系统生态与生产功能的物质依托;农业基础设施是为保证农业生产需要而建设的道路、水利、电力、田坎等线状设施;农业附属设施包括晾晒场、育秧棚、晒水池等附属于农业生产的设施;农业防护设施是为抵御自然灾害等建设的防洪堤、防护林以及各种新型植保设施等。农业基础设施、附属设施和防护设施的配套程度影响着耕地利用生产便捷程度、防灾抗灾能力及经济生产潜力。随着现代农业的发展,农业基础设施、附属设施及防护设施的类型越来越

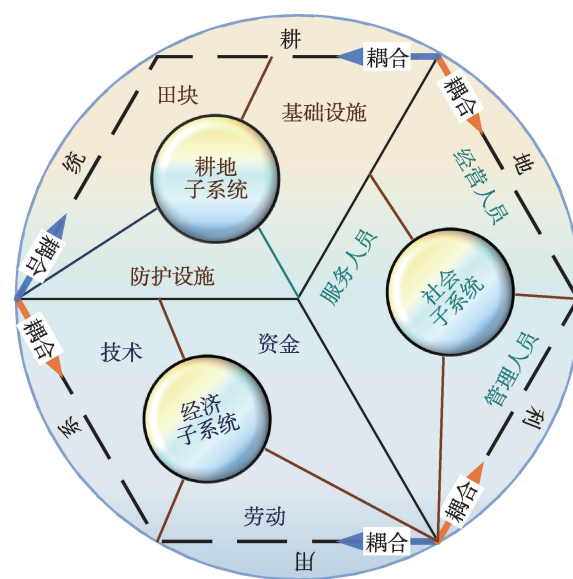


图1 耕地利用系统构成

Fig.1 Composition of cultivated land use system

多样、功能越来越强大,将耕地光温生产潜力转换为现实生产力的比例越推越高。耕地子系统是经济子系统和社会子系统投入的承载对象,影响着经济子系统和社会子系统的投入强度及其变化。

经济子系统是耕地利用过程活化要素的投入,主要是由技术、资金、劳动等要素构成。技术是指智能化和多样化的农业机械、农田监控系统等设施,这些装备与设施由于其相对独立性,从附属设施及资金等要素中被单独罗列出来。技术要素的投入水平标志着农业生产力发展水平,决定着耕地利用效率。资金主要是指用货币购置的农业耐用性物资(各种农机器具)和消耗性物资(种子、化肥、农药、地膜、电力、燃油等一次性使用的物资)。劳动是指劳动力,因现代农业的组织方式变革和产业体系延伸,由传统农业中直接从事农业生产的劳动者,变为现代农业中既包括直接的劳动者,也包括管理人员、技术人员等,涉及农户、政府、村委会、新型经营主体、科研院所等在内的多元主体。经济子系统中技术、资金和劳动等各要素的投入水平在一定程度上体现耕地利用的方式和强度,塑造耕地子系统的现实生产力水平。

社会子系统是指直接参与耕地利用和农业生产过程的社会群体,包括普通农户、专业大户、家庭农场、农业合作社、农业企业等农业经营人员,以及农业科技工作者、农业服务人员和农业管理人员。他们是耕地利用的直接主体,是耕地利用系统的神经中枢,在耕地利用中发挥的作用有所不同、又密切协作,共同推动耕地利用系统有序运行并不断演化。社会子系统内部要素及结构随着农业生产组织类型和组织体系的变化而变化。社会子系统中各主体行为的变化反映着耕地利用生产关系的变化,是引发经济子系统中资金、技术和劳动要素流动和再配置的主因。

1.1.2 耕地利用系统的结构

耕地利用系统要素通过一定的相互关系组合起来,分化出特定的显性与隐性结构^[28-29](图2)。显性结构具体表现为耕地景观结构、作物种植结构、利用类型结构及区域空间结构等空间上可视的物理结构。耕地景观结构是不同规模、形状的耕地斑块在地域空间上的组合形式,可以用斑块数量、斑块密度、斑块形状指数、斑块平均面积等指标衡量;作物种植结构是农作物类型的面积及比例情况,包括粮食作物(大豆、玉米、水稻)、经济作物(蔬菜、油

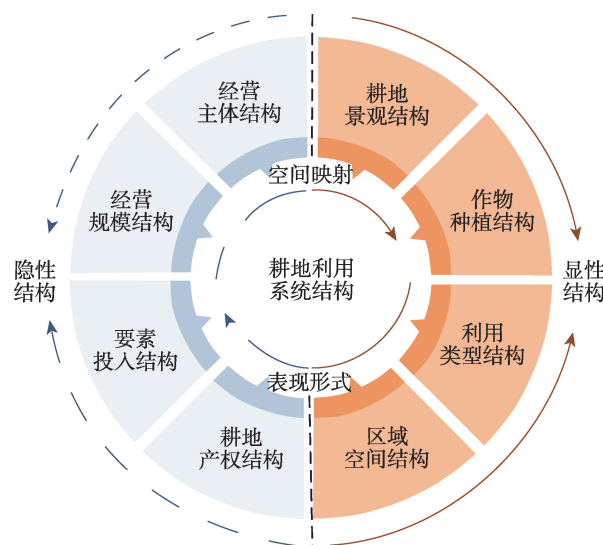


图2 耕地利用系统结构

Fig.2 Structure of cultivated land use system

料作物)的组成特征;利用类型结构是水田、旱地、水浇地等耕地利用类型之间的面积比例,可以用各自的面积占比来衡量;区域空间结构是耕地在空间范围上的体现,可以用垦殖率、区位指数、分布指数、集中化指数等指标衡量。在特定条件下,受资源环境水平制约,耕地利用显性结构内部大体是互相匹配的,即耕地景观结构、作物种植结构、利用类型结构及区域空间结构是协调平衡的。

隐性结构不具有空间可视性,是依附于显性结构之内的要素投入、耕地产权等构成关系,包括经营主体结构、经营规模结构、要素投入结构及耕地产权结构等。其中,经营主体结构包括普通农户、专业大户、家庭农场、农业合作社及农业企业、国营农场等不同类型经营主体所占比例及其经营耕地面积比例;经营规模结构是不同经营规模组别所占比例情况,可反映经营规模分布情况;要素投入结构是耕地、资金、技术等要素的组合情况和投入水平;产权结构包括一定区域范围内耕地的所有权、占有权、使用权、收益权和处置权等权力构成状况,如集体耕地与国有耕地、自营土地与流转土地的面积比例。在不同水平社会经济发展条件下,显性结构相同的耕地区域,其隐性结构未必相同;即使在同一地域内,显性结构相同的耕地利用系统,由于生产经营主体的多样性,其隐性结构也未必相同。

耕地利用系统显性结构和隐性结构实质上反映了自然—经济—社会的互动,耕地产权结构的调整、耕地的市场流转直接影响着经营主体结构,进

而影响着耕地经营中的要素投入结构和经营规模结构。耕地利用隐性结构变化的同时,再从地域上重构耕地利用的种植、景观、类型及区域结构,促进耕地利用系统显性结构转型,即显性结构变化是耕地资源优化配置的空间表现形式,是隐性结构变化在空间上的映射。

1.2 耕地利用系统的运行与功能

1.2.1 耕地利用系统的运行

耕地利用系统运行十分复杂,其蕴含的自然生态过程、经济发展过程、社会演化过程是同步发生、耦合行进的。其中,自然生态过程是耕地利用系统运行的物质基础和外在动力;经济发展过程和社会演化过程是耕地利用系统运行的本质特征和内在动力,二者共同推动着耕地利用系统的时空演变。3个不同过程对耕地利用系统运行方式、运行过程均产生不同程度的影响(图3)。

(1) 自然生态过程

自然生态过程是地貌、气象气候、水文、土壤、作物等各自然要素演化的过程,本质上是地球表面的物质化学循环和以太阳能为基础的能量转换过程,在各运行过程中处于主导地位,影响经济发展过程,进而影响社会演化过程。地貌演化过程是地球内外动力共同作用的结果,其中,岩浆活动与地震会对耕地利用产生迅速影响和冲击,但发生概率较低;风蚀、水蚀以及冲积、洪积、湖积等地貌过程具有较为快速的影响,而板块运动、漂移对耕地利

用产生的影响微乎其微;气象气候过程以太阳辐射为基本动力,涉及光照、气温、降水、风向、风速和风力,直接影响作物生长发育及气象灾害的发生;水文过程的核心是水循环过程,包含蒸发、凝结、降水、径流等水分转换、运动、循环过程;土壤过程是地质大循环与生物小循环过程矛盾的统一,既包括土壤物质分解、合成、转化、移动和聚积等土壤层次发生分化、形态和内在性质也发生有规律变化的过程,也包括土壤侵蚀、土壤污染等土壤退化过程。作物过程主要是在光合作用、降雨与灌溉、人工施肥等综合作用下,作物生长、发育、成熟的过程。以作物过程、水文过程和土壤过程为代表的自然生态过程是整个耕地利用系统运行的核心,决定了农产品的数量和质量。因此,在耕地利用运行的自然生态过程中,应注重对作物过程、水文过程和土壤过程的调控,以实现耕地的高效与可持续利用。

(2) 经济发展过程

经济发展过程是耕地利用系统运行的重要环节,是商品经济尤其是市场经济条件下耕地利用的本质过程。经济发展过程的运行受制于自然生态过程内部各要素组合状况的同时,又为社会发展过程提供动力。与耕地利用关系紧密的经济发展过程包括耕地开发与整治、耕地承包与租赁、生产资料购置、耕作与收割、农产品销售等。耕地开发与整治是耕地利用与农业生产的首要环节,需要投入一定的人力、财力,而一定数量和质量的耕地作为生产资料和空间场所,为农业生产所必需。在人类社会中,耕地必须按照一定的土地制度在不同社会主体间进行分配,并按照一定的土地市场规则进行流转,从而发生耕地承包、租赁等过程。在获得耕地后,农业生产者通过购买农业物资(种子、化肥、农药、农机等)进行农业生产,而农业生产者通过收割最终获得的农业产品,不再是为了满足个人生存发展需求,而是作为商品进入市场获得利润,从而完成以耕地利用、农业生产为脉络的经济发展过程。在商品经济特别是市场经济背景下,经济发展过程是耕地利用系统运行的本质,为耕地利用提供了动力。

(3) 社会演化过程

社会演化过程是耕地利用系统运行的重要驱动力,是非物质性过程,其协调发展状况制约自然生态过程运行的协调发展状况,是自然生态过程和经济发展过程耦合协调程度的反映。与农业生产

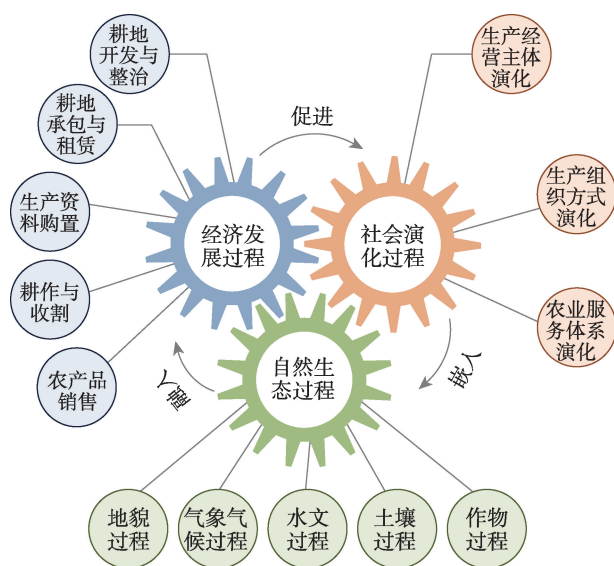


图3 耕地利用系统运行

Fig.3 Operation of cultivated land use system

经营主体的演化、农业生产组织方式的演化、农业服务体系演化等过程密切相关。改革开放以后,中国开始实行以包产到户、包干到户为主要形式的家庭联产承包责任制,以家庭为农业生产主体,提倡多种形式的经营模式;为提高农业生产效率及推进农业现代化,2014年后中国开始实行农村土地所有权、承包权及经营权三权分置的农地制度,经营权放活后农业生产经营主体也逐渐发展为包括普通农户、种粮大户、家庭农场、农业合作社及农业企业在内的不同类型的生产主体。随着农业生产主体的多样化,农业生产组织方式由传统的农户经营发展为规模经营、专业/股份合作社经营、农业企业经营、农业托管等不同方式,农业服务机构也随之形成并不断发展。耕地利用系统的运行必须依赖人工作用的参与及调控,必须依赖于耕地利用社会主体的发展与演化。

总的来看,自然生态过程、经济发展过程及社会演化过程相互耦合,各过程随着时间推移而始终处在动态变化之中,3个过程共同维系着耕地利用系统的运行。但根据耗散结构理论,耕地利用系统不同运行过程存在大量扰动,各过程节奏不同、快慢有异,使耕地利用系统运行由不协调向协调方向转变,但也会使耕地系统要素更迭的速度产生差异,造成耕地利用系统再次走向不协调,最终导致耕地利用系统内部出现协调—不协调—协调的螺旋式上升和波浪式前进的过程。当耕地利用系统运行处于协调阶段,会进化出一些新的要素、结构、功能,使耕地利用系统各运行过程可以发挥出更好的作用和效益,实现“1+1+1>3”的效果。因此,应寻求各过程的协同,达到促进耕地利用系统的协调良性循环及对各过程良性反馈的最终目的。

1.2.2 耕地利用系统的功能

多重功能充分实现、综合效益最大化是耕地利用系统稳健运行及农业高质量发展的重要目标^[30]。耕地利用系统在内部各要素有机融合及其与外部环境相互作用下,涌现出经济、社会 and 生态功能(图4)。耕地利用系统的各项功能既存在时空上的巨大差异,也存在彼此间的相互影响。经济功能是核心功能,包括农业生产者通过获得农业产品取得的经营性收入、相关主体获得的农业补贴、土地流转的租金、农资购置中的经济支出等,是耕地直接利用主体更为关注的功能;社会功能作为其衍生功能,依托于经济功能而产生,主要表现在耕地为人们提供就业载体、社会保障,并为国家提供粮食安

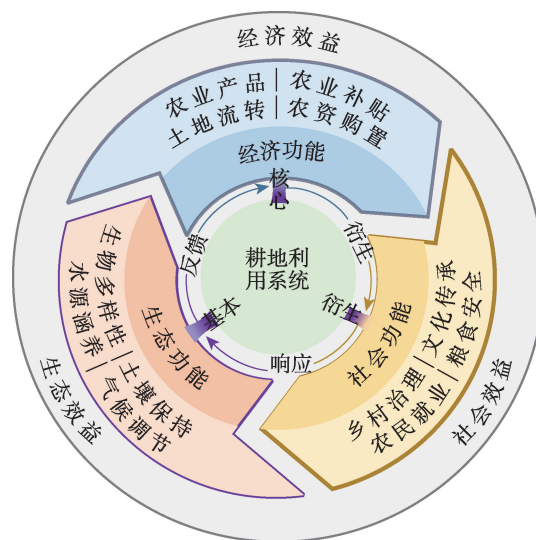


图4 耕地利用系统功能

Fig.4 Functions of cultivated land use system

全保障以及推动农业技术进步与农耕文化传承等,此类功能随经济功能的变化而变化;生态功能是耕地利用系统在农作物生长过程中呈现出的生态作用,主要包括维持生物多样性、土壤保持、气候调节、水源涵养等^[31],是耕地经济功能(农业生产)赖以维持的基础。

耕地利用系统功能是耕地利用系统稳健运行的外在表现。在不同层次的人类需求、耕地利用结构和外界条件变化下,耕地利用功能的不同形式在不同阶段受到关注的程度不同。在农业社会,耕地作为物质财富的主要来源,通过耕地利用而得到的经济功能受到极大重视,而其他功能则被忽略;进入工业社会后,物质财富极大丰富,虽仍以经济功能为主,但对耕地利用程度不断加深,不合理利用带来耕地生态功能退化;在工业化后期阶段,对耕地不合理利用的负向影响更加显现,人们对美好生活的向往已不仅局限在物质需要,更注重环境美化、生活质量提升等方面,在此阶段耕地利用系统的社会功能及生态功能也相应受到关注。耕地利用效益是耕地利用系统功能的价值化表达和量化呈现。经济、社会、生态功能相互联系,不同功能的发挥程度对耕地利用系统综合效益的大小具有直接影响。

1.3 耕地利用系统的特征

1.3.1 耕地利用系统的复合性

耕地利用系统的复合性体现为要素构成的复合性,即耕地利用系统是自然—人工复合系统,自然演化和人为作用都会对耕地利用系统产生强烈

影响,且二者是同步进行的。大气圈、水圈、岩石圈和生物圈中大气、水分、土壤、微生物等要素的循环和流动为耕地利用提供物质基础,而与此同时,由于人类活动(耕作、灌溉、施肥、基础设施建设等)具有主观能动性,可以根据自身需求利用和改造耕地利用系统,从而使耕地利用系统不可避免地受到人类活动的约束。

由于自然过程的非线性和波动性,使耕地利用系统在极端天气、病虫害等自然灾害的冲击下变得相对敏感;而人类作为生产者,在市场需求、价格波动等社会经济条件的影响下,对耕地的认识程度和利用强度也会不断提高。自然过程和人类活动都会对耕地利用系统形成干扰。但人类同时还是自然生态层面上的消费者,过度生产带来的不良后果(耕地沙漠化、耕地盐碱化、水土流失等)也会使人类活动根据自然条件与自然过程一起对耕地利用系统进行调控,共同支配其运行。

1.3.2 耕地利用系统的开放性

耕地利用系统是高度开放的,表现为耕地利用系统要素的开放性和农产品的开放性。耕地子系统与非耕地子系统、经济子系统与非农经济子系统、社会子系统与非涉农社会子系统虽有着特定的边界,但边界不是封闭的,相互间不断进行着物质循环、能量流动和信息交换。如非农建设占用耕地,使耕地转换为建设用地,而其他用地(林地、草地)也可以通过开垦成为耕地;资金用于购买农业物资则为农业资金,而农产品销售之后如果用于非农投资或消费,就变为非农业资金;农民可以通过进城务工将身份转变为农民工,城市工商业者也可以通过投资农业生产将身份转变为农业从业人员。

耕地利用系统运行与调控必须依托于自然地

理与生态环境、政治体制与文化环境、科学技术与文化环境等外部环境条件。耕地利用系统的开放性决定了耕地利用系统演化的动态性、系统调控的可能性,外部环境的变化也促使着耕地利用系统各要素的有机重组。

1.3.3 耕地利用系统的韧性

韧性指物体受到冲击和扰动后恢复到初始状态的能力,是系统的基本属性^[32-33]。作为一个复合的动态系统,耕地利用系统具有通过自身调节,抵御外界环境变化冲击而保持系统稳定、功能不变的韧性能力。在与外界环境交互作用下,耕地的数量、质量、生态条件不断发生变化,系统也通过不断调整自身结构加强抵御外界干扰的能力,但耕地非农化、土质退化与污损化则是外部环境因素作用于耕地系统,超出了系统调控阈值而产生的直接后果。由于未来发展的不确定性和不可预测性,抵御外界风险挑战冲击的韧性能力对于维持耕地利用系统的稳定性具有至关重要的作用。

1.3.4 耕地利用系统的多等级性

耕地利用是一个复杂的组织化过程,牵涉到不同尺度的自然地理单元与耕地经营主体、耕地发包主体、耕地管理主体及耕地制度主体等不同尺度的利益相关主体的博弈与协作。根据耕地利用的空间范围与管理机构的等级层次,可以将耕地利用系统划分为5级(图5)。其中,经营系统中包含普通农户、专业大户、家庭农场、合作社、农业企业等农业经营主体及其经营的耕地和相关要素。作为耕地利用中最基层的组织系统,其社会主体通过土地流转获得的耕地开展农业生产经营,享有土地的承包权、经营权和收益权。村域系统享有耕地的所有权和发包权,通过发包、流转、出租等形式将耕地

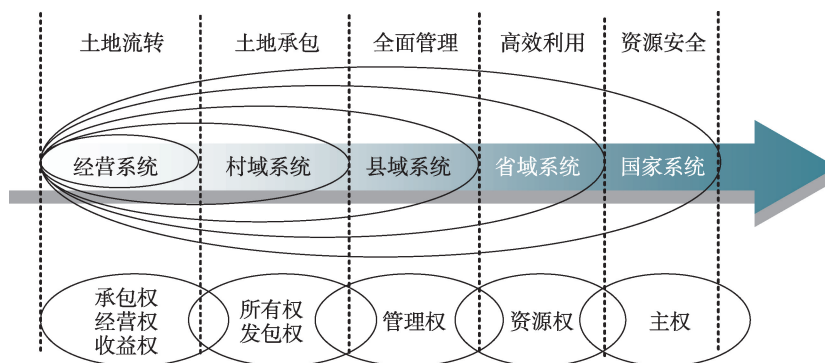


图5 耕地利用等级体系

Fig.5 Cultivated land use hierarchical system

配置给各类经营主体,各类经营主体之间再进行土地流转或生产经营活动。县域系统享有耕地管理权,负责开展土地整治、大型农业基础设施与附属设施建设、农业科技推广等工作,对耕地进行全面管理。省域系统享有耕地资源权,在充分考虑区域禀赋特征的基础上,负责开展耕地易地占补平衡、耕地保护红线划定、耕地生态补偿、农业补贴等工作,以高效利用为目标,从耕地供给的数量、结构、供给方式等方面对土地利用进行差别化管理。国家系统作为耕地利用中最上层的组织系统,其主体享有耕地主权,从政策顶层设计出发,负责制定耕地利用、占补平衡、易地补充耕地等重大政策,以资源安全为目标,对耕地利用进行宏观调控。

耕地利用系统的多等级性在空间上表现为多尺度性。耕地利用系统中等级不断提升的过程,也是区域范围(空间尺度)不断放大的过程,不同等级的系统都是更高等级系统的子系统,同时也是更低等级系统的母系统,自然及社会经济因素并不会因为等级高低而产生侧重,并且任一等级都在相互影响、相互作用。可见,耕地利用系统是多元主体与

多样目标相结合的具有层次性的开放系统。

2 耕地利用系统的研究框架

系统架构是指对系统高层次的定义和描述,是系统的顶层设计,处于较高的抽象层次,具有战略性,可以更广泛地延伸到与系统相关的诸多方面;而研究框架从本质上来说是解决方案,目的是解决系统在具体领域存在的问题并指导和规范系统的各组成部分,具有战术性。针对耕地利用过程中存在的诸多问题及矛盾,基于上述分析,以地理学、土地资源管理学为指导,遵循从要素到整体、从结构到功能、从静态到动态、从简单到复杂的系统演化层次规律,基于要素—结构—功能—机制—调控的系统研究逻辑,整合了耕地利用变化、集约利用、规模利用、利用转型、多功能利用等研究内容,构建耕地利用系统研究框架(图6),不仅能够全面理解耕地利用系统研究各项内容之间的逻辑关系,还有助于推进耕地利用研究的集成,提升耕地利用研究的理论水平,从而将当前耕地利用中存在的各种问题和

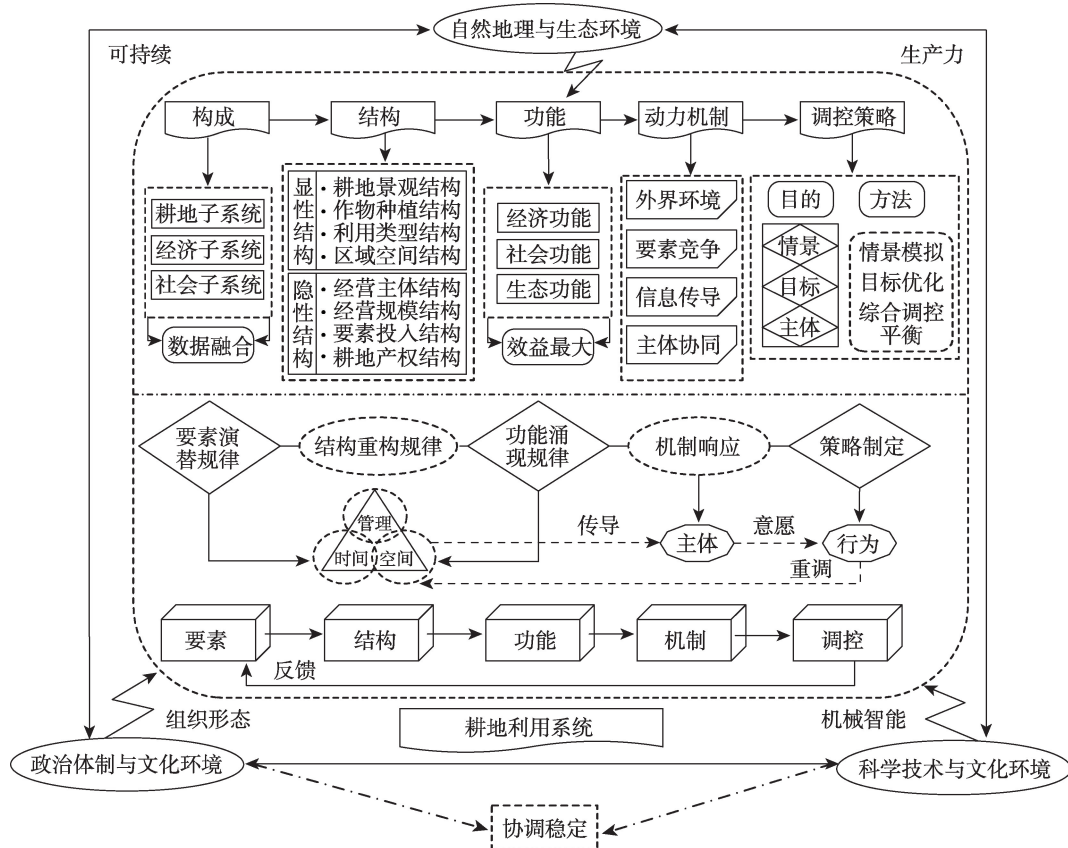


图6 耕地利用系统研究框架

Fig.6 A research framework of cultivated land use system

研究中存在的各种主题追根溯源,捋清不同时段耕地利用主要问题演化与主要理论更新的内在联系,实现逻辑与历史的统一,通过对耕地利用各种问题分析基础上的综合,实现耕地利用研究分析与综合的统一。

2.1 耕地利用系统组成要素演化特征分析

耕地利用系统组成要素对于塑造耕地利用系统的内部结构、功能演化和运行机制具有重要影响,是耕地利用系统研究的起点。由于不同组成要素在不同时间维度及区域对耕地利用系统的作用方向、速度、大小均不相同,因此需要获取及融合各组成要素数据,基于实地调查数据、站点观测数据、统计数据、遥感监测数据等多源数据,通过格式转换、投影变化、空间插值、社会经济数据空间化等方法实现数据融合和数据挖掘,采用相关分析、主成分分析、对应分析、因子分析等方法,分析耕地利用系统各要素之间的影响关系,对比各要素变化的同向与异向、同速与异速关系,揭示各要素之间的演替规律,如探讨田块、基础设施、附属设施、防护设施等要素在耕地子系统构成与演化特征;分析农业耐用性物资(农机器具)和消耗性物资(种子、化肥、农药、地膜)等要素在经济子系统的内部结构及演化趋势;明确社会子系统中不同类型农业经营主体数量及其发展特征。

2.2 耕地利用系统结构演化特征分析

随着中国社会经济的快速发展,耕地利用系统随之不断发展变化,各要素之间组合排列的变化使显性结构和隐性结构不断转型,因此耕地利用转型研究是耕地系统研究的深入。基于耕地转型理论与方法,主要采用时间序列分析和空间趋势分析的方法,探讨不同时间尺度、区域模式下耕地利用各种显性与隐性结构演化特征与规律,划分出典型转型阶段和利用形态,科学诊断耕地利用结构转型的时间节点。如揭示典型区域耕地利用景观结构、类型结构、区域结构、种植结构等显性结构的演化特征;分析农业经营主体结构演化特征及不同类型经营主体耕地经营规模、投入结构演化特征。此外,还应突出耕地权籍在塑造耕地利用系统结构中的作用,着重分析不同土地所有制度与耕地权籍结构在塑造耕地利用显性结构与隐性结构中的作用,以及对耕地利用各种功能(效益)的影响。

2.3 耕地利用功能评估与演化特征分析

耕地利用系统的稳健运行及其与外部环境的

交互作用促进耕地利用的功能化,追求耕地利用的经济、社会和生态效益最大化并实现可持续利用是耕地利用的目标。基于多重评估方法,可以分析耕地利用生态功能(包括生态服务功能和环境承载功能)、经济功能(包括农产品产出、农业产值、获得补贴、土地流转等)、社会功能(包括就业保障、科技进步、文化遗产、粮食安全等)等多重功能的演化特征与规律。如揭示不同类型农业经营主体种植结构、产量与经济效益演化特征;分析不同土地所有制下种植业结构、产量与产值演化特征;探讨不同土地所有制下生态服务功能(包括气候调节、土壤保持、水源涵养、生物多样性)、环境承载功能(主要是化肥、农药、地膜、还田秸秆等的承载)内部结构及演化特征;明确不同土地所有制下耕地利用社会功能演化特征。

耕地利用功能的实现,既包含物理、化学和生物过程等自然生态过程,也包含经济发展过程和社会演化过程等人文过程,因此,如何在现有理论与方法基础上构建具有更强通用性、更好适用性和更佳可比性的多功能定量评价模型是耕地利用系统各功能评价的首要难点与关键技术。根据结构决定功能的系统论基本观点,在不同层次耕地利用系统结构不断变化(转型)的过程中,具有不同表现形式的耕地利用功能必然有所变化,因此,更为全面地评价不同层次耕地利用系统结构变化对耕地利用功能的影响就显得更为紧迫,也更具挑战性。

2.4 耕地利用系统演化的动力机制分析

任何系统研究的核心都是机制问题,耕地利用系统演化的动力机制也必然是本文的应有之义。唯有全面认识耕地利用系统对外界环境变化的适应与调整机制、系统要素的相互影响与竞争替代机制、系统运行的信息传导机制、不同等级耕地利用主体协同与组织运行机制、耕地利用功能的涌现机制,才能完善耕地利用系统理论,进而提出耕地利用系统调控策略。如基于系统动力学理论与方法,分析与揭示粮食安全形势、气候变化、惠农政策、农业技术进步等外部环境变化下,各环境条件对耕地利用系统要素投入、结构调整及功能强弱的影响,探讨不同等级的主体对外部环境变化的耕地利用响应机制与途径;明确耕地利用各要素间的相互促进与替代作用;阐释耕地利用各种结构演化对耕地利用各种功能的影响;了解耕地要素调整与形态变化中耕地利用功能涌现机制。

2.5 耕地利用系统的调控策略分析

由于耕地利用是一个要素众多、结构复杂、功能多样、约束重重和动态变化的自然—社会—经济过程^[15],因而耕地利用优化是十分复杂的系统工程问题,其实质是对耕地利用系统调控的行为,根本目的在于解决耕地利用系统各组成要素、结构、功能等方面存在的问题,是耕地利用系统研究的归宿。因此,必须以系统论的观点,运用情景模拟法针对未来社会经济发展和全球变化的趋势,分别设置不同的初始条件和约束条件,模拟不同情景下耕地利用系统演化的轨迹与结果,提出不同情境下耕地利用系统调控的策略与预案;运用多目标优化法,着眼于耕地资源利用系统的不同目标进行调控,制定面向需求变化的耕地利用功能调控策略、面向功能变化的耕地利用形态(结构)调控策略、面向形态(结构)变化的耕地利用要素调控策略,构建上下运行有序、功能稳健的耕地利用系统;运用综合调控平衡法,针对经营系统—村域系统—县域系统—省域系统—国家系统的多主体的耕地利用等级体系,综合考虑“管理人”、“参与人”以及“实施人”的群体利益,实现耕地资源的优化与配置。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文基于系统科学的理论与方法,定义了耕地利用系统的概念,梳理并解析了耕地利用系统的构成、结构、运行过程与功能,构建了耕地利用系统研究的框架。主要结论如下:

(1) 耕地利用系统是以耕地利用为基础的自然—社会—经济复合系统,由耕地子系统、经济子系统及社会子系统构成,呈现出显性结构和隐性结构。耕地利用系统运行是自然生态过程、经济发展过程及社会演化过程耦合行进的结果。

(2) 耕地利用系统具有经济、社会、生态功能,其中,经济功能包括农业产品销售、农业补贴、土地流转、农资购置中的经济特性;社会功能包括乡村治理、文化传承、农民就业、粮食安全等功效;生态功能包括生物多样性、土壤保持、水源涵养、气候调节等功能。耕地利用系统具有复合性、开放性、韧性和多等级性的特点。

(3) 按照要素—结构—功能—机制—调控的系

统研究逻辑顺序构建耕地利用系统研究框架,分析耕地利用系统要素演替规律、结构重构规律、功能涌现规律,可以揭示在外部环境、要素重组、信息传导及利用主体等影响下的耕地利用系统演化的动力机制;重点针对不同情景、不同目标及不同主体的耕地利用系统调控策略研究,是耕地利用系统研究的归宿。

3.2 讨论

(1) 本文中所提的耕地利用系统以耕地利用中的实体对象为要素构成,强调各要素在空间地域上的相互组合及相互作用。由于耕地权籍不是物质性要素,因此本文没有将其纳入耕地系统要素中,仅在耕地利用隐性结构稍作提及。随着中国经济体制的不断发展和法治建设的不断推进,耕地权籍在规定人类利用耕地的权力及相互关系的作用越来越凸显^[34],规范着人地关系以及在人地关系之上的人人关系,影响着耕地利用系统运行的秩序和效率。因此,强化权籍及其演化在耕地利用系统的地位及作用,更有助于充分理解权籍对耕地利用系统结构及演化的影响。

(2) 本文对耕地利用系统的理论解析是立足于地理学特别是人文地理学中的人地关系地域系统理论,其核心在于人地系统的耦合及可持续发展。在现代新型人地关系及全球、区域人地系统治理新理念、可持续发展新目标的指引下^[35],对耕地利用系统的解析更应正视耕地保护问题的迫切性、严峻性与挑战性,注重与地球系统科学、土地资源管理学、经济地理学等学科的深度交叉与融合,探知耕地利用系统构成、结构、功能及运行过程的耦合性与不完全同步性,寻求耕地利用系统各要素的协调、各结构的均衡和各功能的稳定,推动耕地利用系统向有序化及可持续性方向发展。

(3) 新时代中国实施藏粮于地、乡村振兴及生态文明战略,重在从数量、质量、生态3个方面调整和优化耕地利用系统运行及调控,推进人地关系耦合。当前应整体研判耕地利用系统运行态势,探索多要素、多结构、多过程、多功能的数量、质量与生态三位一体的耕地利用系统调控机制,深入探究耕地利用系统运行不同过程与耕地数量、质量、生态安全间的权衡及适应,对后疫情时代耕地利用系统健康发展、维护国家粮食安全、守好国家粮食安全生命线具有重要理论价值和现实意义。

参考文献(References)

- [1] 刘耀林. 土地信息系统 [M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2011. [Liu Yaolin. Land information system. 2nd Edition. Beijing, China: Chinese Agriculture Press, 2011.]
- [2] Verburg P H, Erb K H, Mertz O, et al. Land system science: Between global challenges and local realities [J]. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2013, 5 (5): 433-437.
- [3] Verburg P H, Crossman N, Ellis E C, et al. Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective [J]. Anthropocene, 2015, 12: 29-41.
- [4] Wu Y Z, Shan L P, Guo Z, et al. Cultivated land protection policies in China facing 2030: Dynamic balance system versus basic farmland zoning [J]. Habitat International, 2017, 69: 126-138.
- [5] 戴尔阜, 马良, 杨微石, 等. 土地系统多主体模型的理论与应用 [J]. 地理学报, 2019, 74(11): 2260-2272. [Dai Er-fu, Ma Liang, Yang Weishi, et al. Agent based model of land system: Theory, application and modelling framework. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(11): 2260-2272.]
- [6] 苏浩, 吴次芳. 东北黑土区耕地系统变化机理 [J]. 农业工程学报, 2021, 37(6): 243-251. [Su Hao, Wu Cifang. Mechanism of cultivated land system change in black soil areas of Northeast China. Transactions of the CSAE, 2021, 37(6): 243-251.]
- [7] 刘彦随, 周扬, 刘继来. 中国农村贫困化地域分异特征及其精准扶贫策略 [J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(3): 269-278. [Liu Yansui, Zhou Yang, Liu Jilai. Regional differentiation characteristics of rural poverty and targeted poverty alleviation strategy in China. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(3): 269-278.]
- [8] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010—2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征 [J]. 地理学报, 2018, 73(5): 789-802. [Liu Ji Yuan, Ning Jia, Kuang Wenhui, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(5): 789-802.]
- [9] 宋小青, 李心怡. 区域耕地利用功能转型的理论解释与实证 [J]. 地理学报, 2019, 74(5): 992-1010. [Song Xiao-qing, Li Xinyi. Theoretical explanation and case study of regional cultivated land use function transition. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(5): 992-1010.]
- [10] 姜桢峰, 龙花楼, 唐郁婷. 土地整治与乡村振兴: 土地利用多功能性视角 [J]. 地理科学进展, 2021, 40(3): 487-497. [Jiang Yanfeng, Long Hualou, Tang Yuting. Land consolidation and rural vitalization: A perspective of land use multifunctionality. Progress in Geography, 2021, 40 (3): 487-497.]
- [11] H J 德伯里. 人文地理: 文化、社会与空间 [M]. 王民, 王发曾, 程玉申, 等译. 北京: 北京师范大学出版社, 1988. [deBlij H J. Human geography- culture, society and space. Translated by Wang Min, Wang Fazeng, Cheng Yushen, et al. Beijing, China: Beijing Normal University Press, 1988.]
- [12] 吴传钧. 法国人地学家维达尔·白兰士的思想贡献 [J]. 国外人文地理, 1986(1): 12-16. [Wu Chuanjun. The ideological contribution of Vidal Brandt, a French geologist. Foreign Human Geography, 1986(1): 12-16.]
- [13] 刘盛佳. 吴传钧院士的人文地理思想与人地关系地域系统学说 [J]. 地理科学进展, 1998, 17(1): 12-18. [Liu Shengjia. Academician Wu Chuanjun's human geographical thoughts and man-nature relationship system theory. Progress in Geography, 1998, 17(1): 12-18.]
- [14] 陆大道. 关于地理学的“人—地系统”理论研究 [J]. 地理研究, 2002, 21(2): 135-145. [Lu Dadao. Theoretical studies of man-land system as the core of geographical science. Geographical Research, 2002, 21(2): 135-145.]
- [15] 王万茂. 土地生态经济学 [M]. 南京: 江苏科技文献出版社, 1994. [Wang Wanmao. Land Ecological Economics. Nanjing, China: Jiangsu Science and Technology Literature Press, 1994.]
- [16] 王金新. 生态经济学原理 [M]. 郑州: 河南人民出版社, 1998. [Wang Jinxin. Principles of ecological economics. Zhengzhou, China: Henan People's Press, 1998.]
- [17] 刘彦随. 区域土地利用系统优化调控的机理与模式 [J]. 资源科学, 1999, 17(4): 60-65. [Liu Yansui. Optimal regulation mechanism and models of regional land use system. Resources Science, 1999, 17(4): 60-65.]
- [18] Dubroeuq D, Livenais P. Land cover and land use changes in relation to social evolution: A case study from Northern Chile [J]. Journal of Arid Environments, 2004, 56(2): 193-211.
- [19] 刘希朝, 李效顺, 蒋冬梅. 基于土地利用变化的黄河流域景观格局及生态风险评估 [J]. 农业工程学报, 2021, 37(4): 265-274. [Liu Xizhao, Li Xiaoshun, Jiang Dongmei. Landscape pattern identification and ecological risk assessment using land-use change in the Yellow River Basin. Transactions of the CSAE, 2021, 37(4): 265-274.]
- [20] 宋戈, 王盼盼. 松嫩高平原县域土地利用空间格局地形梯度特征分析: 以巴彦县为例 [J]. 地理科学, 2017, 37 (8): 1218-1225. [Song Ge, Wang Panpan. Spatial pattern of land use along the terrain gradient of county in Songnen High Plain: A case study of Bayan County. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(8): 1218-1225.]

- [21] 曹敏, 范广勤, 史照良. 基于MSVM-CA模型的区域土地利用演变模拟 [J]. 中国土地科学, 2012, 26(6): 62-67, 1. [Cao Min, Fan Guangqin, Shi Zhaoliang. Simulation of the regional land use evolution based on MSVM-CA model. China Land Sciences, 2012, 26(6): 62-67, 1.]
- [22] 张经度, 梅志雄, 吕佳慧, 等. 纳入空间自相关的FLUS模型在土地利用变化多情景模拟中的应用 [J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(3): 531-542. [Zhang Jingdu, Mei Zhixiong, Lv Jiahui, et al. Simulating multiple land use scenarios based on the FLUS model considering spatial autocorrelation. Journal of Geo-information Science, 2020, 22(3): 531-542.]
- [23] 韩博, 金晓斌, 孙瑞, 等. 基于冲突—适配视角的土地利用可持续性评价 [J]. 地理学报, 2021, 76(7): 1763-1777. [Han Bo, Jin Xiaobin, Sun Rui, et al. Land use sustainability evaluation based on conflict-adaptation perspective. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(7): 1763-1777.]
- [24] 焦世泰, 王鹏, 陈景信. 滇黔桂省际边界民族地区土地资源可持续利用研究: 基于区域评价与空间区划视角 [J]. 经济地理, 2019, 39(1): 172-181. [Jiao Shitai, Wang Peng, Chen Jingxin. Sustainable utilization of land resources in the ethnic areas of inter-provincial boundary of Yunnan, Guizhou and Guangxi: From the perspectives of regional evaluation and spatial division. Economic Geography, 2019, 39(1): 172-181.]
- [25] 王静, 郭旭东. 我国县级尺度土地可持续利用的科学调控 [J]. 地理科学进展, 2002, 21(3): 216-222. [Wang Jing, Guo Xudong. A study of scientific regulation of sustainable land use at county scale in China. Progress in Geography, 2002, 21(3): 216-222.]
- [26] 李灿. 区域土地利用转型诊断与调控的分析路径 [J]. 地理研究, 2021, 40(5): 1464-1477. [Li Can. Analysis path of diagnosis and regulation of regional land use transition. Geographical Research, 2021, 40(5): 1464-1477.]
- [27] 冀正欣, 刘超, 许月卿, 等. 基于土地利用功能测度的“三生”空间识别与优化调控 [J]. 农业工程学报, 2020, 36(18): 222-231, 315. [Ji Zhengxin, Liu Chao, Xu Yueqing, et al. Identification and optimal regulation of the production-living-ecological space based on quantitative land use functions. Transactions of the CSAE, 2020, 36(18): 222-231, 315.]
- [28] 龙花楼, 李秀彬. 中国耕地转型与土地整理: 研究进展与框架 [J]. 地理科学进展, 2006, 25(5): 67-76. [Long Hualou, Li Xiubin. Cultivated-land transition and land consolidation and reclamation in China: Research progress and frame. Progress in Geography, 2006, 25(5): 67-76.]
- [29] 宋小青. 论土地利用转型的研究框架 [J]. 地理学报, 2017, 72(3): 471-487. [Song Xiaoqing. Discussion on land use transition research framework. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(3): 471-487.]
- [30] 宋小青, 欧阳竹. 耕地多功能内涵及其对耕地保护的启示 [J]. 地理科学进展, 2012, 31(7): 859-868. [Song Xiaoqing, Ouyang Zhu. Connotation of multifunctional cultivated land and its implications for cultivated land protection. Progress in Geography, 2012, 31(7): 859-868.]
- [31] 谢金华, 杨钢桥, 汪箭, 等. 不同农地整治模式对耕地生产价值和生态价值的影响: 基于天门、潜江部分农户的实证分析 [J]. 自然资源学报, 2019, 34(11): 2333-2347. [Xie Jinhua, Yang Gangqiao, Wang Jian, et al. Impact of different rural land consolidation modes on cultivated land production value and ecological value based on an empirical analysis of some farmers in Tianmen and Qianjiang. Journal of Natural Resources, 2019, 34(11): 2333-2347.]
- [32] Pendall R, Foster K A, Cowell M. Resilience and regions: Building understanding of the metaphor [J]. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 2010, 3(1): 71-84.
- [33] 刘志敏, 叶超. 社会—生态韧性视角下城乡治理的逻辑框架 [J]. 地理科学进展, 2021, 40(1): 95-103. [Liu Zhimin, Ye Chao. A logical framework of rural-urban governance from the perspective of social-ecological resilience. Progress in Geography, 2021, 40(1): 95-103.]
- [34] 冯广京. 关于土地科学学科视角下“土地(系统)”定义的讨论 [J]. 中国土地科学, 2015, 29(12): 1-10. [Feng Guangjing. Discussion on the definition of land (system) from the perspective of land science discipline. China Land Sciences, 2015, 29(12): 1-10.]
- [35] 刘彦随. 现代人地关系与人地系统科学 [J]. 地理科学, 2020, 40(8): 1221-1234. [Liu Yansui. Modern human-earth relationship and human-earth system science. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(8): 1221-1234.]

Theoretical explanation and research framework of cultivated land use system

DU Guoming¹, CHAI Lujia¹, LI Yuheng^{2,3*}

(1. College of Public Administration and Law, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Cultivated land use system has a great impact on global change and human well-being. This study used the theories and methods of system science to explore the concept, composition, operation, functions, and characteristics of cultivated land use system and constructed the research framework of cultivated land use system, in order to promote the deepening of land system research and solve various problems. The main conclusions are as follows: 1) Cultivated land use system is a compound natural-human system in which agricultural producers and operators invest an appropriate amount of production factors in a certain amount and quality of cultivated land to plant crops, and obtain agricultural products and corresponding benefits. Cultivated land use system consists of cultivated land subsystem, economic subsystem, and social subsystem. It has explicit and implicit structures. 2) The operation and evolution of cultivated land use system is the result of natural ecological processes, economic development processes, and social evolution processes. It also has compound, open, resilient, and multi-level characteristics. 3) The study of cultivated land use system should follow the theoretical framework of element-structure-function-mechanism-regulation. This study revealed the action mechanism of different elements from the composition and influence relationship of various elements; analyzed the structure and transformation of cultivated land use from two aspects of explicit and implicit structure; revealed the impact of functions on structure from three aspects of economic, social, and ecological functions; analyzed the operation mechanism of cultivated land use system from the adaptation and adjustment mechanism of the system to the changes of external environment, the interaction and competition substitution mechanism of system elements, the information transmission mechanism of system operation, the coordination and organization operation mechanism of cultivated land use subjects at different levels, and the emergence mechanism of cultivated land use functions; and used scenario simulation method, multi-objective optimization method, and comprehensive regulation balance method to explore regulation strategies of cultivated land use.

Keywords: cultivated land use system; element; structure; transformation; process; cultivated land use functions