



施釉超, 金晓斌, 韩博, 梁鑫源, 王世磊, 孙瑞. 面向资源认知变化的耕地评价研究进展与展望[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(08):237-250.
SHI Youchao, JIN Xiaobin, HAN Bo, LIANG Xinyuan, WANG Shilei, SUN Rui. Progress and future directions in cultivated land assessment research: A focus on changes in resource cognition[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(08):237-250.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.08.20

面向资源认知变化的耕地评价研究进展与展望

施釉超^{1,2} 金晓斌^{1,2,3*} 韩博¹ 梁鑫源¹ 王世磊¹ 孙瑞¹

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023;

2. 自然资源部海岸带开发与保护重点实验室, 南京 210023;

3. 江苏省国土整治与生态修复工程研究中心, 南京 210023)

摘要 科学的耕地评价是耕地合理开发、利用、保护的前提, 耕地资源认知的深化引领耕地评价研究发展。为明晰耕地评价研究的发展历程、热点动态和未来前景, 系统梳理 1949—2023 年引领耕地资源认知变化的理念、事件和政策, 探讨耕地资源认知发展的阶段性特征, 借助文献调查、文献计量分析、理论分析等方法, 对不同阶段耕地评价研究的主要内容、政策支撑、技术方法与代表成果等进行总结, 并提出面向新时期社会发展需求的耕地评价研究展望与关键问题。研究表明: 1) 耕地资源认知按时间顺序可划分为资源本体、资源平衡体和资源综合体 3 个阶段, 认知对象由耕地数量单一维度向耕地数量与质量、数量-质量-生态、实体耕地与虚拟耕地等多维度转变, 研究范围也由宜耕地、耕地等实体资源向近远程耦合框架下的全球虚拟耕地拓展; 2) 各阶段耕地评价的研究重点围绕耕地数量、耕地质量和耕地综合利用展开。在资源本体阶段, 侧重土地开发适宜性评价, 关注本底要素宜耕性; 在资源平衡体阶段, 注重耕地质量提升, 对耕地资源的可持续利用潜力进行评价。在资源综合体阶段, 评价对象向全球粮食贸易中的虚拟耕地拓展, 评价内容关注耕地多功能及功能间权衡与协同关系。因此, 未来耕地评价的研究内容需适应新时代发展的现实需求, 耕地本体评价需兼顾实体和价值量, 耕地质量评价需匹配人类福祉需求, 耕地综合评价需考虑多元对象和指标。在评价理论与方法层面应加强学科交叉融合, 充分利用新调查监测手段, 丰富精细化耕地资源数据, 为进一步拓展资源认知、丰富评价范式、优化耕地保护制度等提供支撑。

关键词 耕地资源; 耕地评价; 粮食安全; 阶段划分; 展望

中图分类号 F301.2

文章编号 1007-4333(2024)08-0237-14

文献标志码 A

Progress and future directions in cultivated land assessment research: A focus on changes in resource cognition

SHI Youchao^{1,2}, JIN Xiaobin^{1,2,3*}, HAN Bo¹, LIANG Xinyuan¹, WANG Shilei¹, SUN Rui¹

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

2. Key Laboratory of Coastal Zone Exploitation and Protection of Ministry of Natural Resources, Nanjing 210023, China;

3. Jiangsu Provincial Land Consolidation and Ecological Restoration Engineering Research Center, Nanjing 210023, China)

Abstract The scientific assessment of cultivated land is crucial for sustainable land development, use and preservation. The enhanced understanding of cultivated land resources will propel the progression of research in cultivated land assessment. This study provides a comprehensive elucidation of the assessment, contemporary trends and future trajectories of cultivated land evaluation research. The paradigms, incidents, and policies that have influenced the perception of cultivated land resources from

收稿日期: 2023-12-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(42271259)

第一作者: 施釉超 (ORCID: 0009-0004-6912-9432), 博士研究生, E-mail: youchao_shi@163.com

通讯作者: 金晓斌 (ORCID: 0000-0003-1862-5837), 教授, 主要从事土地利用与国土整治研究, E-mail: jinxb@nju.edu.cn

1949 to 2023 are meticulously investigated, and the temporal characteristics of cultivated land resources are discussed. By employing methodologies such as literature review, bibliometric analysis and theoretical scrutiny, the study encapsulates the principal themes, policy reinforcement, technical methodologies, and notable accomplishments of cultivated land evaluation research across various phases. Furthermore, the future possibilities and key obstacles of cultivated land assessment research are outlined, and the needs of societal progression in today's era are addressed. The results indicate that: 1) The cognitive comprehension of cultivated land resources can be chronologically segmented into three phases: the resource ontology phase, the resource equilibrium phase, and the resource synthesis phase. The cognitive emphasis transitions from a unidimensional contemplation of cultivated land quantity to a multidimensional viewpoint that encompasses cultivated land quantity and quality, interrelationships between quantity-quality-ecology, and the amalgamation of physical and virtual cultivated land. Consequently, the research scope broadens from tangible resources such as suitable cultivated land to the global virtual cultivated land within the framework of near-distance coupling. 2) Research on the assessment of cultivated land at each stage concentrates on the quantity, quality, and comprehensive use of cultivated land. The resource ontology phase emphasized the suitability assessment of land development, with a focus on the appropriateness of background elements. The resource equilibrium phase centered on enhancing the quality of intensively cultivated land and assesses the potential for sustainable use of cultivated land resources. The resource synthesis phase broadened the assessment subject to include virtual cultivated land in global food trade. The assessment content in this phase zeroes in on the multifunctionality of cultivated land and the balance and synergy among functions. Future research content in cultivated land assessment needs to align with the practical requirements of the evolving era. The assessment of cultivated land ontology should consider both the entity and its value. The assessment of cultivated land quality should correspond with the necessities of human well-being. The comprehensive assessment of cultivated land should pay more attention to multiple subjects and indicators. Based upon the theoretical and methodological level of assessment, it is necessary to bolster interdisciplinary integration, fully utilize new survey and monitoring methods, enrich the detailed data of cultivated land resources, and provide support for broadening resource cognition, enriching the assessment paradigm, and optimizing the cultivated land protection system further.

Keywords cultivated land resource; cultivated land assessment; food security; stage breakdown; outlook

耕地是确保粮食安全的核心资源,同时影响生物多样性维护和固碳减排等生态系统功能和服务,对保障人类健康和民生福祉具有重要价值^[1-2]。伴随着饮食需求转型过程,耕地资源的评价、利用和保护策略等认知体系不断深化^[3-4]。面向新时期农业系统可持续、食物需求多类型、耕地集约化、粮食生产高效稳定等多元需求,系统认知耕地资源要素的基础条件和功能价值属性,对新时期耕地保护政策制定和耕地资源有效保护具有重要意义。

耕地资源评价虽然源于土地资源评价,但是评价重点各有所侧重。考虑到耕地利用资源禀赋、邻域特征及农业生产需求的差异和特殊性,耕地评价逐渐从土地评价中分化出来,并形成专门的评价体系^[5-7],引起国内外普遍关注。自20世纪30年代,美国 and 德国相继提出土地潜力分类系统、土地适宜性评价系统、可持续利用评价系统等^[8-9]。随着遥感

(RS)和地理信息技术(GIS)被广泛应用于耕地利用方式和变化特征解析^[10-11],国内研究也高度关注耕地资源的调查评价与开发利用,其中初期耕地评价侧重于地形、地貌、土壤和水资源等自然要素特征^[12-13]。在国际理念渗透和耕地多元利用需求的冲击下,基于区位条件、交通可达性、经济基础、经营规模和权籍制度等人文要素的土地适宜性评价逐渐兴起^[14-15]。我国20世纪80年代改革开放以后,面对经济快速发展和粮食需求增加的双重压力,基于未开发、待开垦、待修复的后备耕地资源评价^[16-17]和耕地数量与质量评价,逐渐成为21世纪初期关注的重点^[18-19]。伴随“人类世”理念的提出,结合土地利用多功能认识^[20-21],以及行星边界^[22-23]、远程耦合^[24-25]等系统思想的深入,耕地资源的开发利用不再局限于特定地区,而着眼全球通过国际贸易满足本地粮食供给^[26-27]。

总体上,伴随认知理念的不断丰富、生活需求的日益多元以及管控措施的不断完善,耕地评价的研究内容逐渐由数量保障等单一视角向质量提升、生态维护、资源调配等多视角转变,研究尺度从区域向全国甚至全球范围拓展,研究方法和技术手段也日益丰富。然而,目前对耕地评价演进历程进行系统分析的研究仍待丰富,尤其是在社会经济转型过程中,不同时期的主体需求和资源供给之间的适配程度,伴随着耕地资源评价的研究方向和重点不断调整和优化。因此,应从资源认知和政策保障的视角出发,把握不同社会经济发展阶段耕地资源评价的理论支撑、体系框架和功能定位等内容,更好地形成对耕地评价演进脉络的系统认识。

当前,面对全球气候变化、粮食贸易波动、地缘政治和自然灾害威胁等挑战^[28-29],如何确保粮食安全是国家稳定社会发展的重要任务。同时生态文明建设、乡村振兴战略、“一带一路”倡议、全球粮食安全、大食物观理念等的提出与深化^[30-31],也对耕地资源合理利用提出了新的要求。因此,为明晰耕地资源评价研究的发展历程、热点动态和未来前景,本研究拟从耕地资源分布变化规律、耕地资源价值测算、耕地功能权衡与协同、耕地资源可持续利用等多个方面,对1949—2023年耕地评价相关研究进行系统梳理。依据国内外相关理念、事件和政策背后的现实需求,探讨耕地资源认知变化的阶段性特征。对各阶段耕地评价的内容、体系、方法、代表性成果等的进展进行总结,最后面向新时期耕地保护需求提出耕地资源评价相关的展望及关键问题,以期探索耕地评价发展方向提供参考。

1 耕地资源认知变化阶段划分

耕地评价伴随耕地资源利用态势转变和科学认知水平提升而不断变化,在厘清耕地资源全要素基础上梳理资源认知变化脉络,对探究耕地评价阶段性特征具有重要意义。基于人类对资源利用的需求渐趋多元化,耕地概念由“种植农作物的土地,包括新开荒地、休闲地、轮歇地、旱田轮作地^[32]”,逐步演变为“在自然资源要素和人为活动的共同作用下,以食物生产为核心,兼具生活、生态、文化等多重功能的复杂综合体^[33]”,耕地资源的本底观、系统观、整体观逐步形成^[34],粮食安全的目标日益深化。结合社会经济需求转型过程,可将耕地资源认知划

分为资源本体、资源平衡体、资源综合体3个阶段,并逐一解析其政策支撑和发展特征,详见图1。耕地资源认知跃迁特征体现为:核心要素上,形成从单一主体(自然要素)到复合多元(自然、社会、经济、生态等)的转化;关联主体上,实现从内部优化(省内省际)到外部耦合(国内国际)的转变;内涵层级上,完成从点(耕地数量提升)到面(数量质量平衡)到体(数量质量生态三位一体)的更迭升级。

1.1 资源本体阶段(1949—1990年)

该阶段耕地资源的认知与粮食安全直接挂钩,耕地数量保障是提高粮食总产量的重要支撑。面对新中国成立后人口数量的快速增长,探寻适宜开垦的耕地资源成为解决温饱问题的基础。1969年提出的土地适宜性理论,为开展耕地资源开发利用适宜性评价提供了理论支持。20世纪80年代后期以来,国家通过制定和实施《中华人民共和国土地管理法》(<http://www.npc.gov.cn/npc/index.html>),严格规定耕地资源保护和管理的措施,确保耕地的数量稳定,防止耕地被滥用和破坏。在资源本体阶段,已有研究不断深化对耕地资源内在属性和影响要素的理解,开始从全局视角试图探究耕地资源的地域差异,但仍以扩大耕地面积满足粮食需求为该阶段的主要目标,对通过提升耕地质量水平促进耕地资源的可持续利用潜力关注不足。

1.2 资源平衡体阶段(1991—2010年)

该阶段耕地资源的认知逐渐由数量增加向数量与质量双平衡的视角转换。在“生产力视角”“自然属性视角”“自然与经济双重属性”等多重视角的引领下,耕地质量的内涵随社会经济发展呈现出不同的侧重点。耕地质量评估理论在发展中融入了生产力形成理论、级差地租理论、土地报酬递减规律、空间变异理论等,逐步形成耕地资源生产和生活功能的认知体系,要素覆盖地形特征、土壤性状、耕作条件、利用强度和经济效益等多个维度。同时,为了实现耕地资源数量和质量双保障,政府提出耕地占补平衡和城乡建设用地增减挂钩政策,以确保耕地数量总体稳定,质量不断提升。然而,当前耕地的持续增产不代表永续高产,由于化肥农药的过度投入、重型农业机械设备的推广和多重套种的高强度利用,导致农田生态系统退化的隐忧不断增加,针对耕地资源生态保护的认知理论和政策要求相对匮乏。

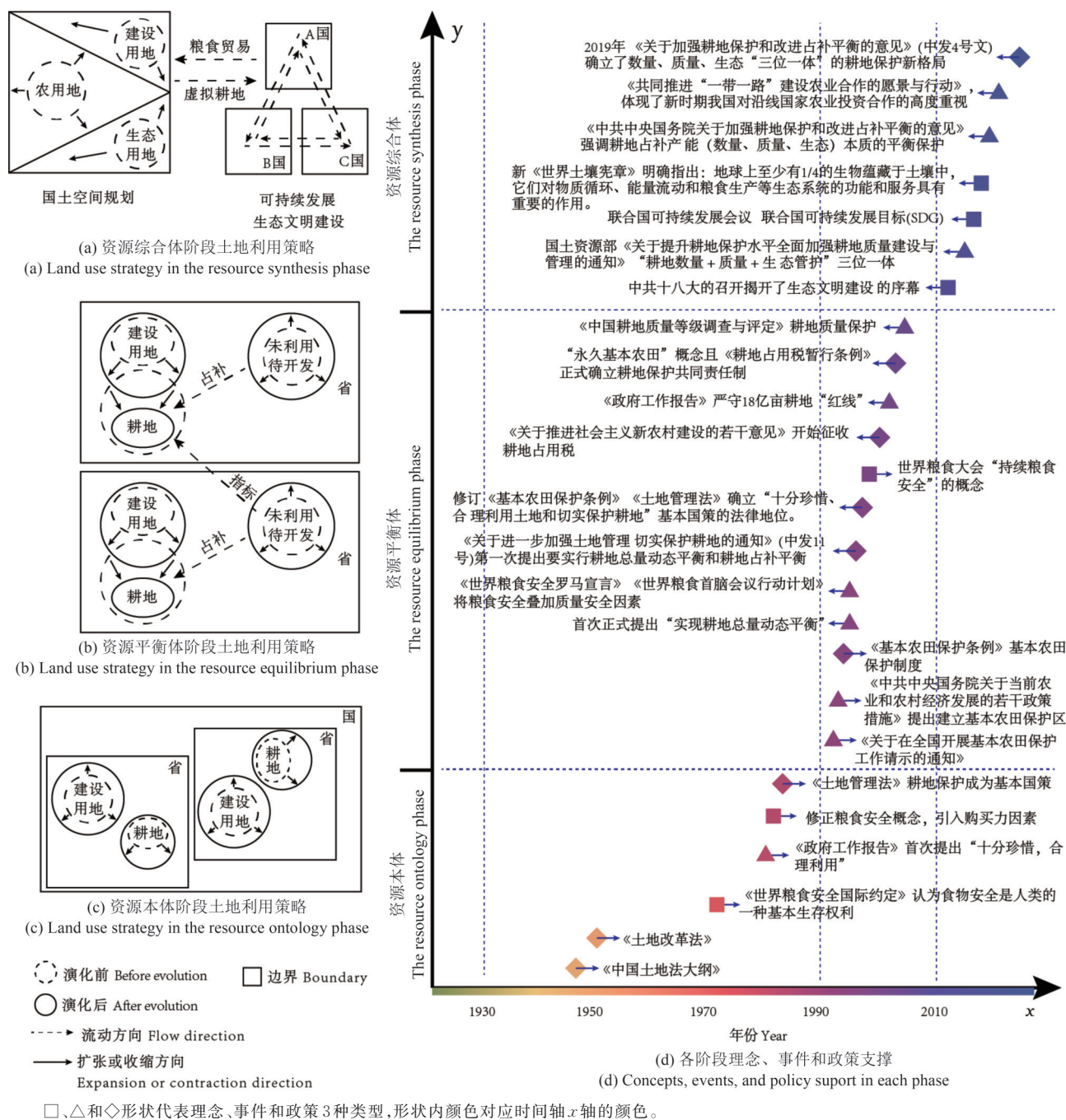


Fig. 1 Depicting the assessment of cultivated land resource perception and its theoretical and policy implications

1.3 资源综合体阶段(2011年至今)

进入21世纪,耕地资源的认知日益多元且丰富,耕地的生态景观、文化载体等功能体系融入其中。要素耦合的资源环境承载力研究为认知耕地资源的适宜利用强度和范围提供了理论基础,并且试图通过生态系统服务权衡研究,探寻耕地生态保

护与社会—经济发展之间的平衡点,以实现不同利益相关方的效益最大化。此外,在全球一体化背景下,地理学所强调的近远程耦合思想扩大了耕地资源要素的关联范围。耕地资源不再仅指实体耕地,还包括以动态、虚拟形式流转于各国各地区之间的虚拟耕地。同时,十八大以来确立的“以我为主、立

足国内、确保产能、适度进口、科技支撑”的国家粮食安全战略,也要求对耕地资源的理解不应仅局限于生产、生态、生活等综合认知体系,还应关注与不同地域不同层次间的相互耦合,深入解读特定地域耕地资源的关键要素、结构和功能关联机制。伴随人类饮食结构和需求的变化,不再以独立认知体系剖析耕地资源的特征,与其他资源要素相互关联的资源综合体受到学界的普遍关注。

2 耕地评价研究发展特征

耕地评价是摸清耕地资源潜力、认识耕地质量水平、提升耕地利用能力的前提。耕地评价发展历程与耕地资源认知变化紧密关联。随着中国耕地利用转型,特别是质量风险、生态健康等现实问题凸显,耕地评价的现实需求导向愈发明显。基于理论分析与文献计量分析对耕地评价的阶段演化特征进行总结梳理。

2.1 耕地评价文献计量分析

基于中文社会科学引文索引数据库(CSSCI)和中国科学引文数据库(CSCD),以“土地”“土地评价”为主题词对1949—1990年(资源本体阶段)文献进行检索分析(总计17 726条结果),以“耕地”“耕地评价”为主题词对1991—2022年(资源平衡体与综合体阶段)文献进行检索分析(总计17 726条结果)。基于Web of Science核心合集,选取Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)数据库,以“cultivated land”“farmland”“arable land”“land assessment”为主题词对1949—2022年相关研究进行检索分析,按相关度获取文献12 667篇。

将相关文献信息导出,运用CiteSpace可视化文献信息分析软件针对所获文献进行分析(图2)。1949—1990年“开发”“土地利用”“土地类型”“sustainable agriculture”“management”“cropping patterns”等关键词占据较高频率;1991—2010年则以“耕地质量”“耕地整理”“指标体系”“耕地地力”“vegetation”“nitrogen”“decomposition”“fertilization”为主;2011—2022年“生态安全”“风险评价”“功能分区”“综合评价”“耕地健康”“土壤养分”“soil organic carbon”“physical property”“expansion”“conversion”等词成为研究热点。3个阶段主要内容分别集中在:1)耕地数量问题。耕地面积直接关系到粮食安全,因此土地开发及退化(如土壤侵蚀和

沙漠化)受重点关注。2)耕地质量问题。如耕地地形状况、景观格局、适宜利用程度等,此外也关注粮食供需及城市发展背景下的耕地数量、质量平衡。3)耕地可持续利用问题。特别是在全球粮食安全、土壤污染、气候变化等内外部严峻形势背景下,基于可持续发展理念的耕地地力测算,以及耕地的可持续开发利用潜力。

2.2 各发展阶段特征概况

新中国成立以来,国内外耕地保护与利用形势发生了广泛且剧烈的变化。在此背景下,耕地资源认知也随之变化,带动耕地评价的体系、内容及测度指标呈现出阶段演化特征(图3)。总体上,从耕地资源本体阶段到资源平衡体、综合体阶段,耕地评价呈现学理认识深化、评价内容多元、指标体系丰富、技术手段提升等特征。

2.2.1 资源本体阶段以耕地开发潜力研究为主

早期耕地评价主要从属于土地评价。国际上土地评价研究始于欧洲,15世纪俄国莫斯科公园的税册中就包含了土地分等定级的相关记载。20世纪30年代,欧美广泛开展了土地评价工作,美国“斯托利指数分等”(Storie Index Rating, SIR)从海拔、坡度、有效土层厚度、土壤质地、pH、土壤含盐量和土壤侵蚀强度等方面开展土地评价,德国《农地评价条例》则以中部易北河畔土地为标准宗地,通过比较打分累加评判全国土地。20世纪60年代,世界第一个土地评价系统——土地潜力分类系统从土壤的物理性质、化学性质、地形条件、气候条件和地理位置等特征入手对土地潜力进行评价。1976年FAO发布*A Framework for Land Evaluation*^[35],提出从适宜性方面对土地进行定级,成为世界各国进行土地利用评价的指南^[36]。1981年美国农业部提出“土地评价与立地系统”(Land Evaluation and Site Assessment, LESA),将土壤质量、农业生产能力、发展压力、公共价值等因素结合起来进行综合评定^[13]。

国内有关土地评价的系统性研究始于20世纪50年代,这一时期土地评价以荒地资源考察为主且多为定性分析。20世纪60年代初研发出2套以自然因素评价为主的荒地评价分类系统,一套是由农垦部荒地勘测设计院于1962年拟定的以区、副区、等、级分类的全国荒地分类系统,另一套是由中国科学院综合考察委员会于1963年提出的以土地类-

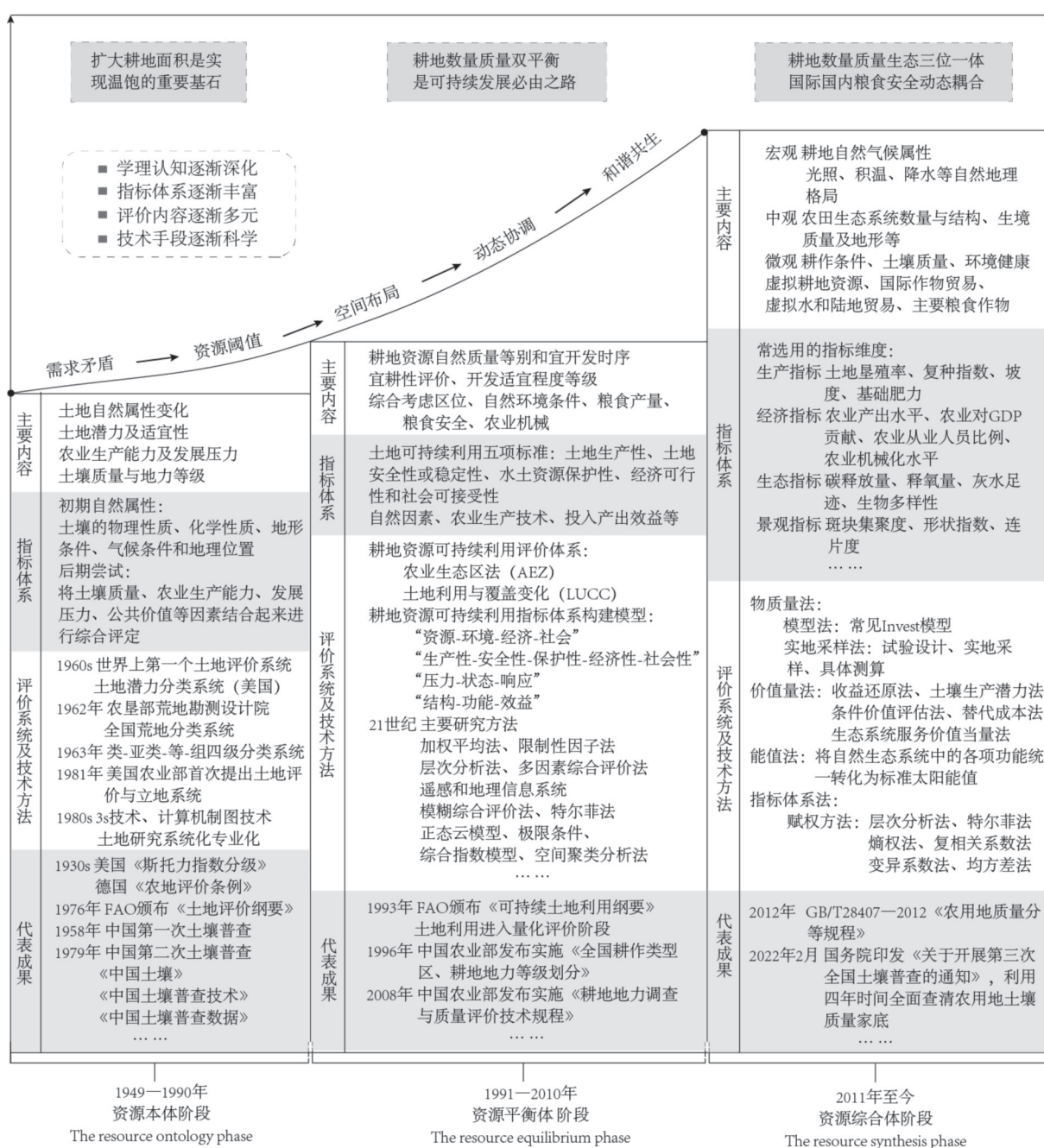


图 3 1949—2022 年耕地评价主要内容演进脉络

Fig. 3 The evolutionary framework of main content in cultivated land assessment from 1949 to 2022

研究的热点问题。

国际上耕地质量研究主要集中在土地可持续利用潜力评价方面。1993年FAO发布 *Framework for Evaluating Sustainable Land Management* 等指导性文件^[38],确定了土地可持续利用的5项评价标准(pillars),即土地生产性(productivity)、土地安全性或稳定性(security)、水土资源保护性(protection)、经济可行性(viability)和社会可接受性

(acceptability)。纲要发布后各国依据发展特征及经济、社会、资源等要素状况,相继提出适合本国发展的土地可持续利用评价指标体系,耕地可持续利用评价从定性分析进入量化评价阶段。此外,国际上有关耕地质量的代表性研究还包括基于气候生产潜力和土壤生产潜力及土地投入水平的农业生态区法(Agro Ecological Zone, AEZ)^[39],标志着该阶段耕地评价逐渐从本底自然特征扩展到耕地生

产能力,且开始关注耕地生态效益,但尚未形成数量-质量-生态三位一体的较为完整的评价体系。

2000年原国土资源部开展了国土资源大调查工程,提出农用地分等定级估价体系^[40],从理论上建立了全国统一可比的耕地质量评价技术方法和指标体系,形成全国范围内耕地质量等级调查与评定的成果,从实践上第一次摸清了国家耕地质量等级与分布状况。原国土资源部在AEZ方法的基础上,制定了GB/T 28407—2012《农用地质量分等规程》^[41]来评价耕地生产力。该规程除关注自然因素外,还关注农业生产技术和投入产出效益,采用综合评价法确定耕地资源质量等别和开发时序。这一阶段其他相关研究的主要内容包括通过限制性因子法开展宜耕性评价;基于区位条件、自然环境条件、生产条件、生态敏感性与脆弱性等,利用综合评价、层次分析、空间分析等方法,解析耕地资源可持续开发利用的适宜性^[42]。

2.2.3 资源综合体阶段以耕地多功能和近远程耦合视角研究为主

耕地资源不仅是粮食生产的基础,也是兼具景观、生态、文化等多重功能的综合体。该阶段耕地资源评价指标的选取逐渐多元化,包括以土地垦殖率、复种指数、坡度、基础肥力等为主的生产指标;以农业产出水平、农业对GDP贡献、农业从业人员比例、农业机械化水平等为主的经济指标^[21];以碳释放量、释氧量、灰水足迹、生物多样性等为主的生态指标^[43];和以斑块聚集度、形状指数、连片度等为主的景观指标^[21]等。同时更加关注耕地资源功能间的权衡与协同,例如采用空间分析和计量分析方法识别功能之间的空间冲突,或基于相关性分析、时间序列分析等方法解析冲突权衡/协同关系演化过程。

同时,随着经济全球化、资源一体化和“远程耦合”等理念的提出,耕地评价对象从实体空间向流空间拓展。例如学者们借助国际粮食贸易数据,采用考虑作物产地条件的生产测算方法或考虑产品销售地条件的消费测算方法,可实现跨国家、跨地区、多尺度虚拟耕地数量与范围评估。同时利用空间分析、计量模型及统计分析等方法,可探究虚拟耕地贸易量的主要影响因素。

3 新时代耕地评价研究的发展趋势

随着时代背景发展及耕地资源认知深化,耕地

评价研究也逐渐形成新发展趋势。一方面在问题导向下,耕地保护仍面临宜耕后备资源少、数量平衡压力大、水土匹配性减弱、耕地低效利用及生态问题突出等挑战,耕地评价应服务于耕地资源问题识别、退化诊断及决策优化;另一方面在目标导向下,新时期耕地资源的开发、保护、利用要面向实现中国式现代化的总目标,以及“大食物观”引领下的粮食安全目标,耕地评价应进一步强化系统观与整体观。总之,面向资源利用发展态势,耕地评价研究面临一些亟待解决的关键问题,这些问题的回答对加深耕地资源规律认知和实践指导具有重要意义。

3.1 耕地评价关键问题及未来研究展望

基于前文对耕地资源认知的阶段分析,面向耕地资源本体、耕地平衡体和耕地综合体各阶段重点关注的内容,围绕耕地数量、耕地质量和耕地综合利用3个方面阐述关键问题,并提出未来耕地评价的重要研究方向详见图4。

3.1.1 耕地本体评价需兼顾实体和价值量

粮食安全复杂形势下,通过耕地有序开发稳定耕地面积仍十分必要。但是,目前耕地扩张与生态保护矛盾更加突出^[44]。2000—2015年全国耕地开垦使野生动物栖息地、水源涵养、防风固沙、固碳及土壤保持等生态系统修复收益下降了113.8%、63.4%、52.5%、29.0%和10.2%^[45]。在耕地扩张热点地区,如新疆地区,近30年75%新增耕地来源于草地,农业用水量已达到总用水量90%以上,对区域生态保护与可持续发展造成了巨大压力^[46]。

在耕地数量稳定与生态环境保护冲突背景下,耕地评价研究需要进一步明确耕地多维属性和价值内涵,同时考虑耕地的实体量与价值量,对标现实需求建立满足新时期发展需求的评价体系,根据本体特征确定耕地利用策略。具体而言,耕地的实体量可体现在耕地面积和要素性质,耕地的价值量可体现在社会价值、经济价值和生态价值等方面。社会价值由我国耕地独特的社会安全稳定功能决定,经济价值是指农作物生产在耕地使用时带来的价值,生态价值是指由耕地和农业空间其他地类组成的生态系统的气候调节、土壤保持、环境净化、养分循环、生境维持等功能与服务。耕地评价应对比耕地资源的实体量和价值量,权衡两者关系,避免耕地扩张导致过度生态损失。

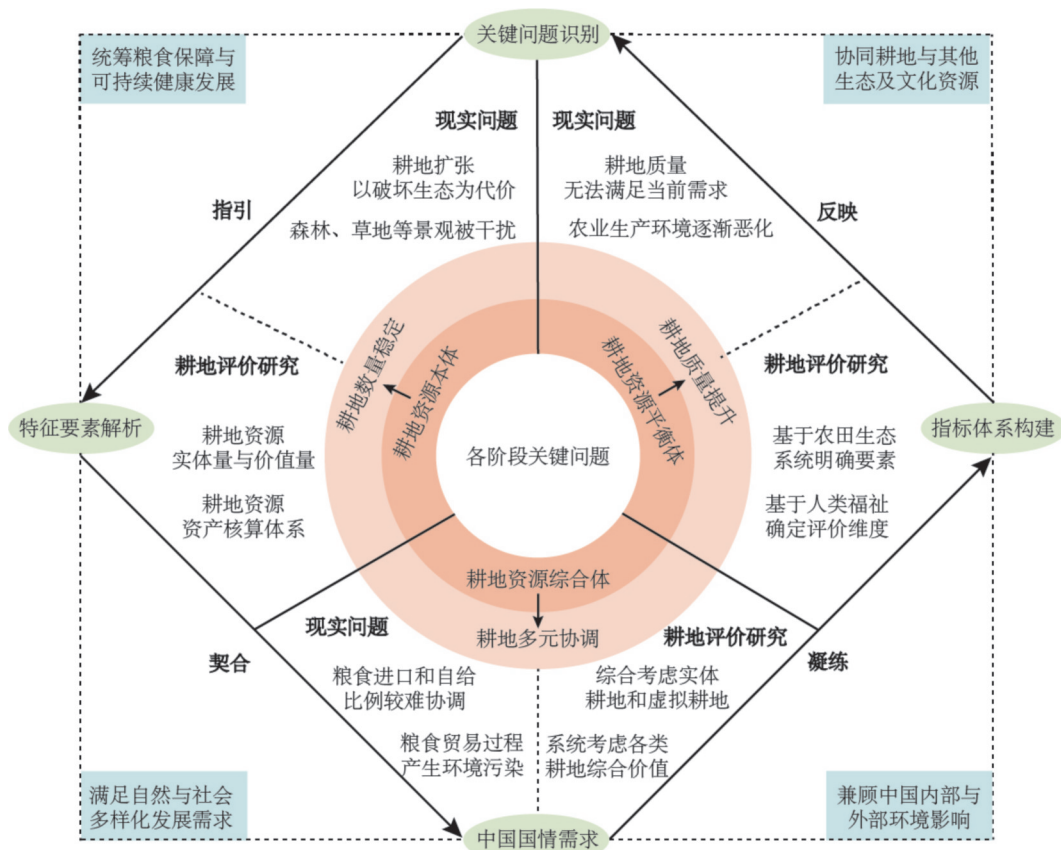


图4 耕地评价关键问题及研究内容

Fig. 4 The critical considerations and research domains of cultivated land assessment

3.1.2 耕地质量评价需匹配人类福祉需求

耕地质量评价是耕地资源平衡体认知阶段的主要研究任务。早期耕地质量评价主要面向粮食增产需求,反映耕地最大生产能力。但产量优先的价值趋向会导致耕地资源过度开发利用,降低生产可持续性。未来,人类对耕地资源的需求逐渐从单一产品供给拓展为多维福祉需求。因此,耕地质量内涵应相应拓展,以反映耕地满足人类福祉需求的能力。

在此背景之下,耕地质量评价研究首先应进一步深化生产性质量评价内容,例如自然质量评价可包括土壤质量(如肥力、环境和健康)、地形条件和生物学特征(如土壤动物、微生物和土壤酶)等,人工质量评价可包括农业工程条件(农田基础设施工程条件和农田保护工程)等。其次,耕地质量评价需反映生态安全约束下的可持续生产能力,评估可持续生产力、抗灾性、稳定生产力和较高产品质量保证能力等。最后,耕地质量评价还应从景观文化服务供给能力角度出发对耕地形态、分布、结构等

进行评估。基于对耕地质量的多维评价,可表征耕地满足人类福祉需求的综合能力。

3.1.3 耕地综合评价需考虑多元对象和指标

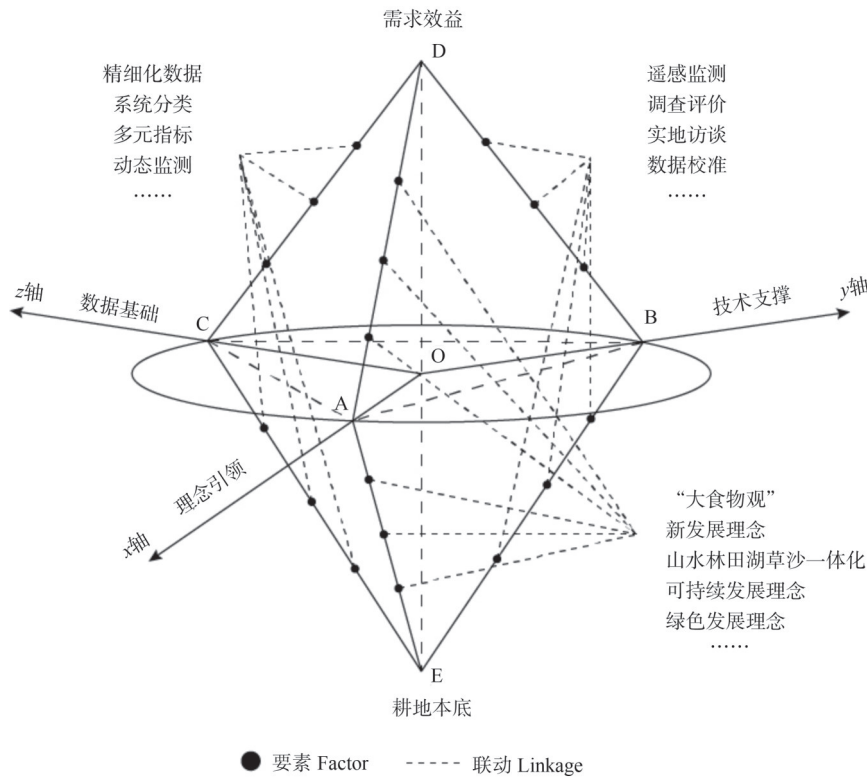
为满足粮食及其他膳食需求,中国近年来粮食进口量长期保持在高位。粮食贸易量反映的虚拟耕地也逐渐成为资源评估重要对象^[47]。粮食进口一方面是稳定供给侧的重要途径,但另一方面也面临地缘政治和市场波动等风险,还会造成能源消耗、碳排放、出口国生态环境退化等问题,因此需确保实体耕地与虚拟耕地配比合理,还需对虚拟耕地的质量及成本效益进行科学评估。

未来对实体耕地和虚拟耕地进行综合评价时,需重点考虑在满足基本粮食供给的基础上,减少粮食贸易中的环境污染,促进粮食进出口过程中的文化要素交流等内容。因此,对耕地资源的综合评估除构建内地实体耕地资源数量、质量、生态三位一体的评价体系外,应纳入虚拟耕地在流通过程中产生的生态效益(如碳排放、能源消耗等)、质量等级(如进口粮食品质)、文化价值以及社会价值等内容。

3.2 未来研究理论方法支撑

为推动耕地评价研究发展,未来需从数据、技术、学科交叉等方面提供理论方法支撑。在中国式现代化、“大食物观”、粮食安全等新理念指引下,以耕地资源本底特征为基础,融合多学科认知

理论、丰富多样化数据库基础、提升技术水平,为实现新时代耕地资源系统评价提供助力,详见图5。



x 、 y 和 z 轴分别代表理念引领、技术支撑和数据基础3个方面,仅代表类型,不具有大小含义。A-B-C圆圈代表研究对象(即耕地资源评价)的研究边界,A、B、C分别是 x 、 y 和 z 轴与边界的交点。D、E分别代表需求效益端和耕地本底端。E-A-D上的要素代表引领耕地资源评价研究的相关理念;E-C-D上的要素代表辅助耕地资源评价研究的数据基础;E-B-D上的要素代表用于耕地资源评价研究的技术支撑。A-D-C-E用于解析耕地资源,B-D-C-E用于测算耕地资源,A-D-B-E用于对耕地资源评价研究进行创新。

The x , y and z axes represent three aspects: intellectual leadership, technological facilitation, and data infrastructure. These axes merely denote categories and do not possess any quantitative significance. The circles labeled A-B-C represent the research boundaries of the study object (i. e., cultivated land resource assessment). Here, A, B and C are the points of intersection of the x , y and z axes with the boundary. D and E signify the demand benefit terminus and the agricultural context terminus, respectively. The elements along the E-A-D trajectory represent the pertinent concepts that guide the research in cultivated land resource assessment. The elements along the E-C-D trajectory represent the data infrastructure that aids in the research of cultivated land resource assessment. The elements along the E-B-D trajectory represent the technological facilitation employed for cultivated land resource assessment research. The A-D-C-E is utilized to analyze cultivated land resources, B-D-C-E is employed to compute cultivated land resources, and A-D-B-E is used for fostering innovation in cultivated land resource assessment research.

图5 耕地评价研究理论方法支撑

Fig. 5 Theoretical method support for cultivated land assessment research

3.2.1 注重学科交叉融合

面向我国耕地评价的多重目标,择优选择西方背景下形成的学科框架与认知体系,形成具有中国特色的多学科交叉研究范式。耕地多维评价问题仅借助单一学科解决的能力相对有限,可通过集成不同学科的优势,构建管控与建设并进、激励与约

束并重的政策体系。从地理学视角解析耕地资源,可对其宏观分布和利用不当的热点区域进行识别和评价,但耕地资源同样具有资产属性,耕地利用是自然环境和社会经济活动综合作用的结果,故系统评价时需要与社会—生态—经济—科学—管理学等学科理论紧密联系,以国家重大战略问题

为导向,注重地理学各分支学科之间、地理学与其他学科之间的密切交叉与深度融合,系统全面地评价耕地资源,才能更好地作用于本土社会经济的发展。

3.2.2 丰富精细化数据

食物需求结构的变动使我国农产品生产和贸易的结构由此转变,实体耕地与虚拟耕地的评价需要有更精细化的数据予以支撑。现提供3个视角以供学者们探讨:①在大食物观背景下,耕地资源的生产功能评价,除了考虑以谷物为主的基本供给价值外,仍需考虑依赖于耕地资源支持的蔬菜、油料作物等植物性食物的供给价值。②动态监测耕地数量与质量的状态,需要有诸如耕地内病虫害、病原体等精细化数据予以支撑。③耕地复垦状态的评价也需要有精细化监测数据予以支撑,如矿区复垦耕地的土壤扰动较为剧烈,且其生产力恢复存在一定的阶段性,通过其内部的作物生物量等细化指标数据,可更好地监测复垦耕地恢复的阶段性变化。

3.2.3 借助多渠道技术支持

健全的数据库是耕地资源评价的基础,通过多种途径和技术手段获取较为精准的数据,可为耕地资源的系统评价提供支撑。充分利用卫星遥感、无人机遥感、地面传感网、原位测量和调查、农民访谈等途径获取信息,构建多参数、多时空尺度的耕地资源立体调查监测体系。将遥感监测与人工智能结合,实现耕地要素信息的自动化提取。协同多源遥感数据自动识别地物、提取变化图斑,获取耕地质量、生态全要素的动态变化。地面调查可较为精确地获得耕地的显性和隐性指标,如耕地边界与土壤理化参数等,可尝试将地面调查作为遥感监测的修正与校验数据,以提高数据的精度水平。

4 结 论

耕地科学评价是耕地资源合理开发、保护、利用的前提。随着耕地利用时代背景发展以及对耕地资源认知深入,耕地评价研究也在不断丰富。及时总结研究发展特征、分析当前问题、判断发展趋势,对指引耕地评价研究与实践具有现实意义。本文基于文献计量、理论解析、特征总结等研究方法,将新中国成立以来耕地资源认知过程进行阶段划

分,然后对各阶段耕地评价主要内容与特征进行总结,并提出未来研究展望及相应的学理技术支撑需求。主要结论如下:

1)耕地资源认知变化按时间顺序分为资源本体、资源平衡体和资源综合体3个阶段。资源本体阶段耕地资源认知主要面向粮食安全,重视耕地要素与数量。资源平衡体阶段同时关注耕地资源数量和质量,重点关注耕地资源可持续利用潜力,但耕地质量认知仍以增产为主要目的。资源综合体阶段耕地资源认知对象从空间实体向虚拟耕地拓展,功能认知向着生产、生态、文化、景观等多功能发展。

2)基于文献计量可知耕地数量、耕地质量和耕地综合利用是耕地评价研究关注的重点。具体而言,资源本体阶段以土地适宜性评价为主,形成了以土地本底要素为主要评价对象的指标体系。资源平衡体阶段关注耕地的可持续利用潜力,逐渐形成以耕地质量为核心的评价技术方法和指标体系。资源综合体阶段形成耕地生产、经济、生态、景观、文化等综合评价体系,关注耕地资源功能间的权衡与协同,评价对象向全球粮食贸易中的虚拟耕地拓展。

3)新时期耕地评价研究背景进一步变化,耕地开发面临更严格生态约束,耕地质量提升从满足热量需求转向人类福祉,耕地评价对象从国内转向全球。为适应这一趋势,未来耕地评价研究应重点关注耕地实体量(数量、质量)和价值量(社会、经济、生态)间的平衡,建立符合人类福祉需求的耕地质量综合评价框架,并加强实体耕地与虚拟耕地的主体价值(粮食生产)和附加价值(生态、文化和社会)研究。在评价理论与方法层面应加强学科交叉融合,充分利用新调查监测手段,丰富精细化耕地资源数据,为进一步拓展资源认知、丰富评价范式、优化耕地保护制度等提供支撑。

参考文献 References

- [1] 贺艳华, 邬建国, 周国华, 周兵兵. 论乡村可持续性与乡村可持续性科学[J]. 地理学报, 2020, 75(4): 736-752
He Y H, Wu J G, Zhou G H, Zhou B B. Discussion on rural sustainability and rural sustainability science [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(4): 736-752 (in Chinese)
- [2] 陈秧分, 王介勇, 张凤荣, 刘彦随, 成升魁, 朱晶, 司伟, 樊胜根, 顾善松, 胡冰川, 李先德, 于晓华. 全球化与粮食安全新格局[J]. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1362-1380
Chen Y F, Wang J Y, Zhang F R, Liu Y S, Cheng S K, Zhu J, Si W, Fan S G, Gu S S, Hu B C, Li X D, Yu X H. New patterns of

- globalization and food security[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1362-1380 (in Chinese)
- [3] 金晓斌, 梁鑫源, 韩博, 王世磊, 洪步庭, 宋家鹏. 面向中国式现代化的耕地保护学理解析与地理学支撑框架[J]. *经济地理*, 2022, 42(11): 142-150
- Jin X B, Liang X Y, Han B, Wang S L, Hong B T, Song J P. Theoretical analysis and geographical support framework of cultivated land protection for Chinese-style modernization [J]. *Economic Geography*, 2022, 42(11): 142-150 (in Chinese)
- [4] 周国华, 龙花楼, 林万龙, 乔家君, 谭华云, 杨开忠, 岳文泽, 郎文聚, 黄贤金, 陆汉文, 李郁. 新时代“三农”问题和乡村振兴的理论思考与实践发展[J]. *自然资源学报*, 2023, 38(8): 1919-1940
- Zhou G H, Long H L, Lin W L, Qiao J J, Tan H Y, Yang K Z, Yue W Z, Yun W J, Huang X J, Lu H W, Li X. Theoretical debates and practical development of the “three rural issues” and rural revitalization in the New Era[J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(8): 1919-1940 (in Chinese)
- [5] 孔祥斌, 刘宏伟, 秦静. 基于农户土地利用行为的北京大兴区耕地质量评价[J]. *地理学报*, 2008, 63(8): 856-868
- Kong X B, Liu L W, Qin J. Arable land evaluation based on the household land use behavior in Daxing district of Beijing [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(8): 856-868 (in Chinese)
- [6] 冯广京, 陈美景, 曾爽. 2009年国内土地科学重点研究评述及2010年展望[J]. *中国土地科学*, 2010, 24(1): 71-79, 81
- Feng G J, Chen M J, Zeng S. Review on the key research of land science in China in 2009 and prospect in 2010[J]. *China Land Science*, 2010, 24(1): 71-79, 81 (in Chinese)
- [7] 屠爽爽, 龙花楼, 张英男, 周星颖. 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): 323-339
- Tu S S, Long H L, Zhang Y N, Zhou X Y. Process and driving factors of rural restructuring in typical villages[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(2): 323-339 (in Chinese)
- [8] 李宪文, 林培. 国内外耕地利用与保护的理论基础及其进展[J]. *地理科学进展*, 2001, 20(4): 305-312
- Li X W, Lin P. The theoretical basis and progress: Utility and protection of the farmer-land in foreign and home [J]. *Progress in Geography*, 2001, 20(4): 305-312 (in Chinese)
- [9] 倪绍祥. 近10年来中国土地评价研究的进展[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(6): 672-683
- Ni S X. Progress in the research on land evaluation in China during the latest ten years[J]. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(6): 672-683 (in Chinese)
- [10] 谢树春, 赵玲. 基于GIS的湘中紫色土丘陵地区土地适宜性评价: 以衡南县谭子山镇紫色土综合治理试验区为例[J]. *经济地理*, 2005, 25(1): 101-105
- Xie S C, Zhao L. Land suitability evaluation based on GIS for the purple soil upland region in the middle part of Hunan Province [J]. *Economic Geography*, 2005, 25(1): 101-105 (in Chinese)
- [11] 侯西勇, 岳燕珍, 于贵瑞, 何洪林. 基于GIS的华北-辽南土地潜力区土地适宜性评价[J]. *资源科学*, 2007, 29(4): 201-207
- Hou X Y, Yue Y Z, Yu G R, He H L. Evaluating the land resource suitability based on GIS: A case study in north China-south Liaoning region[J]. *Resources Science*, 2007, 29(4): 201-207 (in Chinese)
- [12] 徐梦洁, 彭补拙. 长江三角洲地区耕地可持续利用评价[J]. *中国土地科学*, 2001, 15(4): 11-15
- Xu M J, Peng B Z. Evaluation on sustainable utilization of cultivated land in Yangtze River Delta[J]. *China Land Science*, 2001, 15(4): 11-15 (in Chinese)
- [13] 谢俊奇, 蔡玉梅, 郑振源, 林培. 基于改进的农业生态区法的中国耕地粮食生产潜力评价[J]. *中国土地科学*, 2004, 18(4): 31-37
- Xie J Q, Cai Y M, Zheng Z Y, Lin P. AEZ-based assessment for food productivity potential of cultivated land in China [J]. *China Land Science*, 2004, 18(4): 31-37 (in Chinese)
- [14] 张甘霖, 吴运金, 赵玉国. 基于SOTER的中国耕地后备资源自然质量适宜性评价[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(4): 1-8, 392
- Zhang G L, Wu Y J, Zhao Y G. Physical suitability evaluation of reserve resources of cultivated land in China based on SOTER[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(4): 1-8, 392 (in Chinese)
- [15] 张英, 张红旗, 倪东英. 农业土地利用优化配置系统的研建[J]. *资源科学*, 2009, 31(12): 2055-2064
- Zhang Y, Zhang H Q, Ni D Y. Design and implementation of the agricultural land use optimal allocation system [J]. *Resources Science*, 2009, 31(12): 2055-2064 (in Chinese)
- [16] 张迪, 张凤荣, 安萍莉, 刘黎明. 中国现阶段后备耕地资源经济供给能力分析[J]. *资源科学*, 2004, 26(5): 46-52
- Zhang D, Zhang F R, An P L, Liu L M. Potential economic supply of uncultivated arable land in China[J]. *Resources Science*, 2004, 26(5): 46-52 (in Chinese)
- [17] 易玲, 张增祥, 汪潇, 刘斌, 左丽君, 赵晓丽, 王洁. 近30年中国主要耕地后备资源的时空变化[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(6): 1-12, 293
- Yi L, Zhang Z X, Wang X, Liu B, Zuo L J, Zhao X L, Wang J. Spatial-temporal change of major reserve resources of cultivated land in China in recent 30 years [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(6): 1-12, 293 (in Chinese)
- [18] 徐梦洁, 陈慧中, 赵紫玉, 庄舜尧. 耕地总量动态平衡评价模型初探[J]. *资源科学*, 2009, 31(12): 2137-2143
- Xu M J, Chen H Z, Zhao Z Y, Zhuang S Y. An assessment model of the policy of dynamic balance of farmland area[J]. *Resources Science*, 2009, 31(12): 2137-2143 (in Chinese)
- [19] 程绍铂, 杨桂山, 吴建楠, 胡艳. 昆山市耕地总量动态平衡边界研究[J]. *中国土地科学*, 2012, 26(4): 17-22
- Cheng S B, Yang G S, Wu J N, Hu Y. Research on the threshold of total cultivated land dynamic equilibrium in Kunshan [J]. *China Land Sciences*, 2012, 26(4): 17-22 (in Chinese)
- [20] Zhang S Y, Hu W Y, Li M R, Guo Z X, Wang L Y, Wu L H. Multiscale research on spatial supply-demand mismatches and synergic strategies of multifunctional cultivated land [J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 299: 113605
- [21] Jiang G H, Wang M Z, Qu Y B, Zhou D Y, Ma W Q. Towards cultivated land multifunction assessment in China: Applying the “influencing factors-functions-products-demands” integrated framework [J]. *Land Use Policy*, 2020, 99: 104982
- [22] Biermann F, Kim R E. The boundaries of the planetary boundary framework: A critical appraisal of approaches to define a “safe operating space” for humanity[J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2020, 45: 497-521
- [23] Li M, Wiedmann T, Fang K, Hadjikakou M. The role of planetary boundaries in assessing absolute environmental sustainability across scales [J]. *Environment International*, 2021, 152: 106475
- [24] 刘建国, Hull V, Batistella M, DeFries R, Dietz T, 付峰, Hertel T W, Izaurrealde R C, Lambin E F, 李舒心, Martinelli L A, McConnell W J,

- Moran E F, Naylor R, 欧阳志云, Polenske K, Reenberg A, de Miranda Rocha G, Simmons C S, Verburg P H, Vitousek P M, 张福锁, 朱春全. 远程耦合世界的可持续性框架[J]. 生态学报, 2016, 36(23): 7870-7885
- Liu J G, Hull V, Batistella M, DeFries R, Dietz T, Fu F, Hertel T W, Izaurralde R C, Lambin E F, Li S X, Martinelli L A, McConnell W J, Moran E F, Naylor R, Ouyang Z Y, Polenske K, Reenberg A, de Miranda Rocha G, Simmons C S, Verburg P H, Vitousek P M, Zhang F S, Zhu C Q. Sustainability framework for a tele-coupled world [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(23): 7870-7885 (in Chinese)
- [25] 孙晶, 刘建国, 杨新军, 赵福强, 覃驭楚, 姚莹莹, 王放, 伦飞, 王洁晶, 秦波, 刘涛, 张丛林, 黄宝荣, 程叶青, 石金莲, 张劲松, 唐华俊, 杨鹏, 吴文斌. 人类世可持续发展背景下的远程耦合框架及其应用[J]. 地理学报, 2020, 75(11): 2408-2416
- Sun J, Liu J G, Yang X J, Zhao F Q, Qin Y C, Yao Y Y, Wang F, Lun F, Wang J J, Qin B, Liu T, Zhang C L, Huang B R, Cheng Y Q, Shi J L, Zhang J S, Tang H J, Yang P, Wu W B. Sustainability in the Anthropocene: Telecoupling framework and its applications [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(11): 2408-2416 (in Chinese)
- [26] Kinnunen P, Guillaume J H A, Taka M, D'Odorico P, Siebert S, Puma M J, Jalava M, Kummu M. Local food crop production can fulfil demand for less than one-third of the population [J]. *Nature Food*, 2020, 1: 229-237
- [27] Huang G R, Yao G L, Zhao J, Lisk M D, Yu C Q, Zhang X. The environmental and socioeconomic trade-offs of importing crops to meet domestic food demand in China [J]. *Environmental Research Letters*, 2019, 14(9): 094021
- [28] Janssens C, Havlik P, Krisztin T, Baker J, Frank S, Hasegawa T, Leclerc D, Ohrel S, Ragnauth S, Schmid E, Valin H, Van Lipzig N, Maertens M. International trade is a key component of climate change adaptation [J]. *Nature Climate Change*, 2021, 11: 915-916
- [29] Friel S, Schram A, Townsend B. The nexus between international trade, food systems, malnutrition and climate change [J]. *Nature Food*, 2020, 1: 51-58
- [30] 陈浮, 李宇航, 于昊辰, 华子宜, 马力, 蒋非非. “大食物观”统领国土空间开发和保护格局重塑[J]. 中国土地科学, 2023, 37(4): 1-10
- Chen F, Li Y H, Yu H C, Hua Z Y, Ma L, Jiang F F. Integrated food security thought towards the reconstruction of the territorial space development and protection patterns [J]. *China Land Science*, 2023, 37(4): 1-10 (in Chinese)
- [31] 宋敏, 张安录. 大食物观视阈下的耕地利用转型: 现实挑战、理论逻辑与实现路径[J]. 中国土地科学, 2023, 37(8): 31-41
- Song M, Zhang A L. Cultivated land use transition from the “Greater Food” perspective: Realistic challenges, theoretical logic and implementation paths [J]. *China Land Science*, 2023, 37(8): 31-41 (in Chinese)
- [32] 夏早发, 雷春. 关于如何界定耕地概念的研究[J]. 中国土地科学, 1999, 13(3): 14-15
- Xia Z F, Lei C. Research on how to define the concept of cultivated land [J]. *China Land Science*, 1999, 13(3): 14-15 (in Chinese)
- [33] 叶思菁, 宋长青, 高培超, 程锋, 任书义, 杜彬. 地理空间视角下耕地资源新认知体系构建[J]. 农业工程学报, 2023, 39(9): 225-240
- Ye S J, Song C Q, Gao P C, Cheng F, Ren S Y, Du B. Construction of the new cognitive system for arable land resources from geospatial perspective [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023, 39(9): 225-240 (in Chinese)
- [34] 郎文聚, 汤怀志, 桑玲玲. 树立耕地系统认知, 完善最严格耕地保护制度[J]. 中国土地, 2022(5): 4-7
- Yun W J, Tang H Z, Sang L L. Establish a systematic understanding of cultivated land and improve the strictest tillage and protection system [J]. *China Land*, 2022(5): 4-7 (in Chinese)
- [35] FAO. *A Framework for Land Evaluation* [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1976: 20-29
- [36] 傅伯杰, 陈利顶, 马诚. 土地可持续利用评价的指标体系与方法[J]. 自然资源学报, 1997, 12(2): 17, 19, 21, 18, 20, 22-23
- Fu B J, Chen L D, Ma C. Index system and method for evaluation of sustainable land use [J]. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(2): 17, 19, 21, 18, 20, 22-23 (in Chinese)
- [37] 王涛, 刘劲松, 吕昌河, 王卫. 京津冀地区农业土地资源潜力分类评价[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(19): 10150-10153, 10321
- Wang T, Liu J S, Lv C H, Wang W. Assessment and classification of agricultural land potential in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(19): 10150-10153, 10321 (in Chinese)
- [38] 唐伟, 王英, 杨振宇, 杨学作, 姜玥. 国土空间规划体系下的耕地后备资源调查评价方法研究[J]. 自然资源情报, 2022(3): 33-39
- Tang W, Wang Y, Yang Z Y, Yang X Z, Jiang Y. Research on investigation and evaluation method of cultivated land reserve resources under land spatial planning system [J]. *Natural Resources Information*, 2022(3): 33-39 (in Chinese)
- [39] 王淇祺, 孔祥斌, 郎文聚, 陈伟强, 辛芸娜, 张青璞. 新时期耕地质量定级方法研究及应用: 以河北省平山县为例[J]. 中国土地科学, 2018, 32(8): 59-66
- Wang Q T, Kong X B, Yun W J, Chen W Q, Xin Y N, Zhang Q P. The research and application of the method for cultivated land quality gradation in the New Era: A case study in Pingshan County, Hebei Province [J]. *China Land Science*, 2018, 32(8): 59-66 (in Chinese)
- [40] 张凤荣, 安萍莉, 王军艳, 张军连, 刘黎明, 陈焕伟. 耕地分等中的土壤质量指标体系与分等方法[J]. 资源科学, 2002(2): 71-75
- Zhang F R, An P L, Wang J Y, Zhang J L, Liu L M, Chen H W. Soil quality criteria and methodologies of farmland grading [J]. *Resources Science*, 2002(2): 71-75 (in Chinese)
- [41] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 28407—2012 农用地质量分等规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration Committee. GB/T 28407—2012 Regulations for classification on agriculture land [S]. Beijing: China Standard Press, China, 2012 (in Chinese)
- [42] 杨华, 徐勇, 王丽佳. 青藏高原高山峡谷区建设用度和耕地适宜性评价方法及应用: 以林芝市为例[J]. 自然资源学报, 2023, 38(5): 1283-1299
- Yang H, Xu Y, Wang L J. Evaluation method and empirical application of construction land suitability and arable land suitability in alpine-gorge region of Qinghai-Tibet Plateau: A case study of Nyingchi City [J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(5): 1283-1299 (in Chinese)
- [43] 陈文广, 孔祥斌, 温良友, 朱红梅, 张蚌蚌. 基于需求-功能-维度的耕地健康评价指标体系构建与应用[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(5): 106-117
- Chen W G, Kong X B, Wen L Y, Zhu H M, Zhang B B. Construction and application of cultivated land health evaluation index system based on demand-function-dimension [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(5): 106-117 (in Chinese)

- [44] 刘宣园, 管超毅, 张明霞, 周岐海. 保护区缓解耕地扩张对喀斯特森林景观破碎化的影响研究[J]. 广西师范大学学报:自然科学版, 2023, 41(6): 202-210
- Liu X Y, Guan C Y, Zhang M X, Zhou Q H. Mitigation of reserve on Karst forest landscape fragmentation by cropland expansion[J]. *Journal of Guangxi Normal University: Natural Science Edition*, 2023, 41(6): 202-210 (in Chinese)
- [45] Kong L Q, Wu T, Xiao Y, Xu W H, Zhang X B, Daily G C, Ouyang Z Y. Natural capital investments in China undermined by reclamation for cropland[J]. *Nature Ecology & Evolution*, 2023, 7: 1771-1777
- [46] Zhang R Q, Li P H, Xu L P, Zhong S, Wei H. An integrated accounting system of quantity, quality and value for assessing cultivated land resource assets: A case study in Xinjiang, China[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2022, 36: e02115
- [47] Su F, Liu Y, Chen S J, Fahad S. Towards the impact of economic policy uncertainty on food security: Introducing a comprehensive heterogeneous framework for assessment[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 386: 135792

责任编辑: 杨爱东



第一作者简介: 施釉超, 南京大学地理与海洋科学学院博士研究生。本科就读于福建师范大学地理科学学院, 曾获得国家奖学金、一等奖学金、校优秀共青团员等荣誉。研究生在读期间参与国家自然科学基金项目(41971234;41971235)、成都市环城生态区土地综合整治与生态修复实施成效综合评价项目等课题研究。2022年获得南京大学校级硕士学业一等奖学金, 2023年获得南京大学校级硕士学业二等奖学金, 获得校级优秀研究生荣誉称号。



通讯作者简介: 金晓斌, 博士, 教授, 博士生导师。现任南京大学地理与海洋科学学院副院长、自然资源部碳中和与国土空间优化重点实验室副主任, 兼任中国自然资源学会理事/副秘书长、江苏省地理学会副理事长、江苏省土地学会理事/副秘书长; 担任《农业工程学报》《经济地理》《现代城市研究》等期刊编委; 入选自然资源部高层次科技领军人才。主要从事土地利用变化过程与效应、土地利用与国土整治研究。主持及参与国家重点研究发展计划、国家自然科学基金项目、国家科技支撑计划重点项目、国土资源公益性行业科研专项等基础科研项目 30 余项, 在国内外学术刊物发表论文 250 余篇, 出版中英文学术著作 8 部, 作为主要起草人完成国家和行业技术标准 8 项, 获得省部级科技奖励 8 项。