

粮食安全视角下的土地资源优化配置及其关键问题

梁鑫源^{1,2}, 金晓斌^{1,2,3}, 孙 瑞¹, 张晓琳¹, 李寒冰¹, 周寅康^{1,2,3}

(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. 江苏省土地开发整理技术工程中心, 南京 210023)

摘要: 土地资源优化配置是提高土地资源利用效率、缓解土地用途冲突、促进人地和谐发展的重要手段。当前中国土地资源优化配置研究在理论探索与实践应用方面均取得积极进展, 但面对土地利用急剧变化、土地管理效率低下及生态系统退化等现实问题, 传统的以“数量—空间耦合”为核心的优化配置方式已难以满足当前人类追求美好生活的需求和国土空间可持续发展的目标要求。与此同时, 全球粮食安全正面临一系列严峻挑战, 土地资源优化配置将直接影响并作用于粮食生产与经济发展之间的冲突协调过程。改革开放以来, 南京大学立足和服务于国家战略需求与重点区域发展(长三角及沿海地区), 以保障资源安全与粮食安全目标为导向, 围绕土地资源优化配置开展了大量研究和实践, 主要集中在耕地利用格局优化、耕地集约利用转型、耕地保护与利用规划、土地利用与城乡规划、国土整治与农用地管理、土地利用制度创新、土地经济政策优化等特色研究领域, 充分发挥地理学与管理学交叉学科优势, 为国家土地资源优化与可持续利用的学科发展和制度创新做出了积极贡献。综上, 通过系统梳理土地资源优化配置相关研究进展, 总结归纳中国土地资源配置的关键问题, 进一步在回顾南京大学学术贡献的基础上提出粮食安全视角下的中国土地资源优化配置面临的机遇与挑战, 试图为可持续土地利用优化提供借鉴和参考。

关键词: 粮食安全; 土地资源; 优化配置; 研究进展; 南京大学

土地利用问题始终是全球社会生态系统演变过程中的全局性、战略性重大问题。数千年来, 人类一直在通过将自然区域转化为农业生产和定居点来改变土地资源配置格局^[1]。至20世纪, 全球40%~50%的陆地表面已被显著转变以实现生产生活目标^[2]。面对伴随社会经济发展与快速城镇化衍生的生态系统退化、自然资源利用变化、土地管理效率低下等问题, 《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》提出, “十四五”时期要“推动绿色发展, 促进人与自然和谐共生”, 强调“全面提高资源利用效率”。鉴于此, 作为增强土地节约集约利用水平、提高土地资源管理与利用效率、促进土地资源可持续利用的现实途径, 土地资源优化配置对于缓解土地用途冲突、实现人地和谐发展意义重大^[3]。

与此同时, 全球粮食安全正面临一系列严峻挑战。2020年, 新冠肺炎大流行以及非洲东部史无前例的沙漠蝗虫爆发导致粮食供应中断和收入不足, 国际粮食贸易市场波动

收稿日期: 2021-01-31; 修订日期: 2021-05-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41971234, 41971235); 国家社会科学基金重大项目(19ZDA096)

作者简介: 梁鑫源(1996-), 男, 河南洛阳人, 博士研究生, 主要从事土地资源可持续利用研究。

E-mail: liang_xiny@foxmail.com

通讯作者: 金晓斌(1974-), 男, 甘肃兰州人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事土地资源管理研究。

E-mail: jinxb@nju.edu.cn

严重威胁着世界粮食安全。随着政策制定者对全球环境变化的潜在影响和粮食安全问题给予更多关注,深入了解以农用地资源配置为核心内容的农村土地利用逐渐成为全球学术界的焦点^[4,5]。据统计,世界范围内83%的农场是小农户耕作系统^[6],其生计强烈依赖于有效的土地管理和分配^[7],因此发展中国家的小农户主导耕作景观成为全球粮食安全的支柱^[8]。作为世界上最大的发展中国家,中国用全球9%的耕地让世界22%的人口实现了小康生活。虽然我国粮食生产实现十七连增,但粮食安全基础仍不稳固,结构性矛盾依然存在。第二次全国土地调查显示,我国人均耕地面积仅为913 m²,仍不及世界水平的一半^[9]。在全球新冠肺炎疫情冲击的时代背景下,如何确保粮食安全成为土地科学领域的热点话题^[10,11]。研究表明,基于土地资源优化配置的资源承载力调控是保障粮食安全的重要政策工具^[12](图1)。因此,通过科学预测土地利用供需状态落实节约集约用地方案,进而有效地解决土地供需矛盾、实现土地资源优化配置是土地资源合理利用亟待解决的关键问题^[13,14]。

面对经济持续快速增长、统筹城乡发展、乡村振兴等社会经济发展趋势及其对土地资源利用优化的新要求,中国土地资源保护与利用战略必须坚持以严格保护耕地、优化建设用地、集约利用土地为准则,通过完善和创新土地资源管理制度丰富土地资源优化配置思路^[15]。然而,传统的以“数量—空间耦合”为核心的国土资源优化配置已难以满足当前人类追求美好生活的需求和可持续发展的目标要求。因此,国际国内新形势下,探索与中国经济发展阶段特征相适应的土地利用配置新机制、新模式和新途径尤为重要^[16]。南京大学地理与海洋科学学院是我国最早设立的地理学院(系)之一,长期以来面向国家目标和地方建设的迫切要求,顺应国内外地理科学、土地科学发展的客观趋势,致力于土地资源利用与配置问题研究,服务于国家重大战略需求。依托几代学者的努力与积淀,在土地资源开发利用与评价、规划与整治、政策与管理等方面取得积极成效,形成了鲜明的研究特色。本文通过系统梳理中国土地资源优化配置主要研究内容及其内涵延

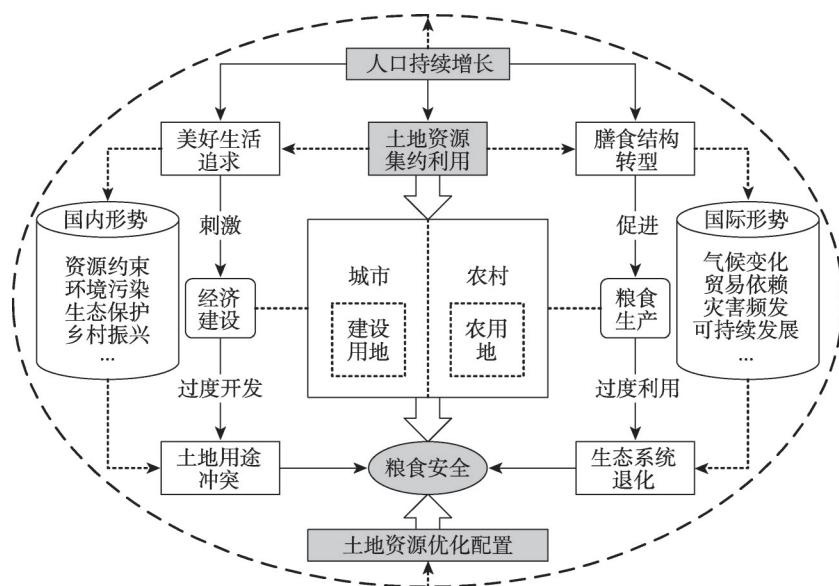


图1 粮食安全与土地资源优化配置逻辑关系

Fig. 1 Logical relationship between food security and optimal allocation of land resources

展路径, 综合回顾南京大学地理学系的学术贡献, 并总结粮食安全视角下的我国土地资源优化配置机遇与挑战, 以期对未来土地资源优化配置研究的发展方向提供思路和借鉴。

1 土地资源优化配置研究进展

1.1 土地资源优化配置发展脉络

由于人多地少的国情限制, 中国土地供需矛盾始终存在。尤其在改革开放后, 大范围的经济建设活动无差别占用优质耕地及土壤导致土地系统结构失衡、用地效率低下, 对国家粮食安全和资源安全造成严重威胁。20世纪90年代以来, 土地资源优化配置作为缓解区域土地供需矛盾、促进区域可持续发展的重要途径受到广泛重视^[17]。依据土地特性和土地系统原理, 土地资源优化配置是指在不同空间尺度上依靠科学技术和手段对区域有限土地资源结构进行多层次安排、设计、组织和布局, 在生态经济效益最优的目标导向下提高土地利用效率, 实现土地生态系统的相对平衡^[18]。从外部属性而言, 土地资源优化配置具体目标主要针对合理的数量结构、均衡的空间结构、稳定的用途定位以及利用的可持续性^[19]。从内容属性而言, 土地资源优化配置过程实质是产业结构调整 and 转换, 即以土地资源为核心的生产要素在产业间的流动和重组^[20]。实践证明, 市场化是土地资源的有效手段和必经之路^[21]。从微观经济角度, 土地利用配置是企业经营中的生产要素组合问题, 根据经营范围内要素比较收益进行自主决策方能确定最佳的要素组合方式。从宏观经济角度, 为最大限度的提高土地利用效率、实现土地资源要素在产业间及区域间的优化配置, 集约用地离不开开放、竞争、统一、有序的要素市场^[20]。

早期土地资源优化配置主要侧重于数量分配研究, 即依据区域土地资源适宜性特点在分析土地利用现状的基础上通过构建结构优化模型(设置关键变量、确定约束条件)、设定优化目标、遴选优化方案等步骤实现基于某一目标下的土地利用结构优化配置^[22]。但由于土地资源利用通常具备多功能复杂特性, 不同功能(目标)之间的竞争性和复杂性使优化过程非常困难^[23]。景观生态学的理论发展使研究人员逐渐意识到数量结构相同的土地资源在不同的空间布局下其土地利用效率及可能产生的土地利用综合效益存在着较为明显的差异^[24]。因此, 关于土地资源优化配置的研究逐渐从侧重于数量分配发展为综合考虑数量结构和空间布局的配置方式。

土地资源优化配置方法主要可分为“自上而下”和“自下而上”两类模型^[25]。“自上而下”模型着眼于区域整体状况, 通过考虑区域全局目标以获取系列最优解, 但难以反映微观空间演变规律与决策过程。“自下而上”模型则倾向于在微观尺度模拟多主体决策过程, 注重局部特征的细节表达, 但难以满足全局多目标优化要求^[25]。整体而言, 大多数模型仅限于对土地利用数量或空间结构进行单方面优化, 且缺乏实际规划中的宏观政策、国民经济、产业结构、区域发展目标以及自然、社会等复杂因素的灵活整合, 导致目前尚未有独立模型可以完全满足土地资源优化配置的需求^[26]。系列模型既能发挥单个模型的作用, 也能充分利用不同模型的优势性与互补性, 在科学协调土地利用配置数量与空间、宏观与微观之间的关系中更好地发挥其综合优势, 因而具有广阔的应用前景^[27]。

综上, 土地资源优化配置涉及地理学、景观生态学、系统工程、管理学、区域经济学、社会学和政策学等多学科理论, 以及综合地理信息系统、遥感和数学模型等自然科学技术应用^[14]。解决复杂的、现实世界的土地利用分配问题仍然是一个关键的研究挑战^[28]。

作为具有明确战略导向的热点领域,目前土地资源优化配置相关研究过多侧重于剖析宏观理论与微观模式,鲜有深入围绕中国快速转型发展进程中土地供需矛盾、乡村振兴战略背景下城乡土地资源分配利益冲突协调等方面的问题探讨^[29]。因此,为了使土地利用规划更适用于现实世界的问题,利益攸关方越来越多地融入决策过程^[30]。相对于宏观区域全局,利益相关者可能更深入地了解所属地区的资源利用潜力及冲突,这将有助于决定土地利用用途转换与优化配置的方向。例如,对于农地利用分配问题,应形成具有不同背景和观点的个人或群体的合理组合(包括农民、自然资源保护者或行政管理者等)^[31],进而科学地协调宏观目标与微观需求之间的关系以实现土地资源分配综合效益最优。

1.2 土地资源优化配置内涵延展

土地利用优化配置是平衡生态系统服务和经济效益的重要环节^[32]。就过程而言,土地优化配置是基于有效的空间布局技巧或活动完成适合特定区域用地目标需求的土地类型合理选择,应涵盖区域、部门和宗地的宏中微观配置全过程^[33]。就属性而言,土地优化配置是区域用地类型和产业部门的宏观构成、土地产权行为主体的利益分配、土地与微观生产要素的投入组合在资源、资产和生产要素层面的具体表现^[33]。

土地资源优化配置过程通常以“现状特征分析—质量综合评价—需求状况预测—宏观微观落实”为主线,以土地利用类型分析、土地质量评价和土地利用战略等区域土地系统全局为主体研究内容,以产业政策、经济技术和市场环境等土地利用区域背景系统为主要分析对象,对土地利用的空间动态演替规律及土地类型转化方向进行预测分析、仿真模拟和方案优选^[34]。随着联合国可持续发展目标设定,以宏观控制和计划管理为资源配置手段的土地利用规划已难以直接满足国土空间资源利用需求,现阶段已围绕可持续土地资源分配发展出多个延伸概念,其中土地混合利用、土地分离与共享等理念已在国际研究中初见端倪(图2)。

1.2.1 传统土地利用规划(Land Use Planning)

土地利用规划的技术核心是土地资源优化配置,可分为土地数量结构优化与土地资源空间优化^[35]。早期国土部门的土地利用规划任务内容就是依托国民经济发展中长期计划,统筹产业用地数量和空间布局^[36]。一般而言,传统的土地利用规划多考虑如何兼具生态与经济价值的双重目标,在实现较小的生态价值成本前提下通过平衡空间差异和提升利用效率增加较大的经济效益,这种方法体现了“效率优先”的思想,但在考虑土地利用效率的同时并未“兼顾公平”^[3]。此外,土地利用总体规划核心目标是实现用地类型的数量制定和空间安排,尚不能清楚界定具体的用地经营管理方式(例如,农用地的种植制度、灌溉措施、投入强度、栽培方式),导致土地用途与经营管理方式之间存在割裂,影响资源配置效率^[36]。

土地利用分区是土地资源优化配置的框架模型,是政策因素通过土地利用规划途径的呈现方式,强调政府行为在区域土地利用分区中的重要性^[37]。目前,土地利用规划方法的重点已经从平衡各种土地利用的数量转变为针对不同土地利用的特色空间布局,明晰与可持续土地利用规划相关的空间需求成为规划落地的现实途径^[38]。由此,以主体功能区划为核心的综合土地资源规划和管理措施成为优化土地资源分配、提升区域可持续发展潜力的关键支撑因素^[39,40]。

现阶段,如何使土地利用规划与农村土地利用制度的转型过程和政策干预相协调,

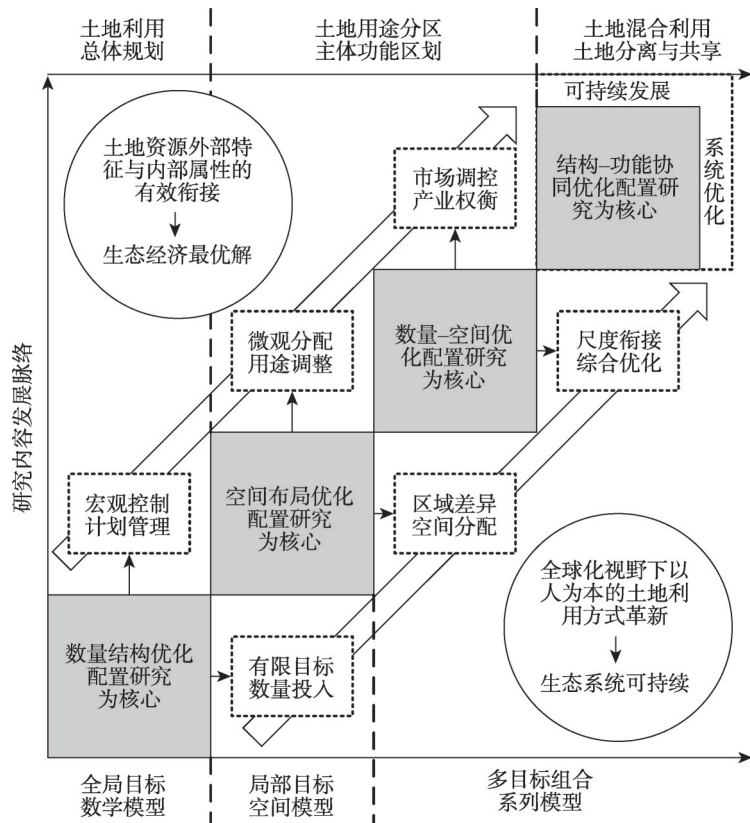


图2 土地资源优化配置的研究进展

Fig. 2 Research progress on optimal allocation of land resources

仍然是土地利用优化配置过程中的一大挑战^[41]。农村土地利用规划作为一种资源配置问题，旨在寻求可行的土地利用配置方案，以平衡利益相关者之间的土地利用需求。作为我国土地利用管理系统中的一种总体规划政策，其目的是在一般土地利用类型（如耕地、林地和建设用地）上安排土地利用定额/布局^[42]。然而，从农村发展角度来看，土地利用需求将随着快速的经济发展和社会需求增长而变化^[43]。事实上，不确定性可能存在于许多与土地资源分配问题有关的因素中（包括可获得性、土地需求、社会需求、土地利用格局以及生态保护等），并以多种形式（区间值、概率、模糊集）呈现，这种不确定性可能会影响相关的优化过程和产生的决策方案^[44]，进而造成当前的分配解决方案不合适甚至在未来的土地利用管理中失效。因此，战略性土地利用配置需要具备良好的调整能力，明确土地资源分配策略的不确定性，以应对土地利用需求的变化^[45]。

1.2.2 土地混合利用(Mixed Land Use)

土地混合利用的基本概念是以功能混合为目标在一定空间和时间范围内通过混合使用的协同作用增强相近土地利用或活动的效用^[46]。土地混合利用倡导不同使用性质/功能用地的混合布局，是提高经济发展活力与土地利用集约度的重要途径，当前主要应用于城市用地演变与规划实践领域^[47]。土地用途分区是国家管制土地开发利用无序行为的重要措施，是土地利用规划管控的一种基本模式和方法，是我国各级土地利用总体规划的重要内容^[48]。灵活性引导式的“混合”相对刚性约束式的“分区”尚缺乏制度法规等强

有力的支撑^[49]。土地混合利用是一个结构—功能系统,土地利用的组合形态直接影响土地功能的发挥和运转,是混合功能在空间上的显相体现,混合功能则是土地利用的内在依据,其进化或衰退促使土地利用结构的调整与优化^[49]。

随着时间的推移,传统土地利用规划的重点逐渐转向土地混合利用,成为补充土地用途分割的高效实用工具之一^[50]。土地混合利用的空间衡量标准取决于邻接性、紧凑性和兼容性三要素^[38]。其中,邻接性可在空间上反映一组具有相同特定土地用途的地块从区域内一点步行/旅行到另一点的可能性^[51];紧凑性是所需配置的土地利用类型的空间属性,其中地块彼此相邻或接近以形成近圆形或圆形^[52];兼容性通常是指不同土地利用类型的相邻地块可以共存而不会对彼此产生负面影响的程度^[53]。由于土地利用格局在空间上是显性的,因此要实现预期效率目标,规划和管理就必须将地理信息系统和空间优化有效地结合起来^[38]。

此外,土地混合利用理念在农村地区的运用也取得显著进展。乡村景观是通过土地重组使功能和空间结构适应经济和社会需求变化的结果^[54],其中耕地资源外部性和公共产品的属性决定了耕地利用的私人最优决策与社会最优决策存在冲突,难以达到土地资源配置的帕累托最优^[55]。要最终实现地区耕地的切实保护和可持续利用,必须将耕地与其他用地类型纳入一个有机联系的系统加以优化配置^[33],需要多样化的土地利用才能在生态系统的供给和非供给服务之间取得良好的平衡。更具体地说,同时发展耕作活动与林地利用对土壤质量和景观异质性提升具有积极影响^[56]。例如,中国西南山区的转型农地景观作为一种多功能农用地,是森林转型过程与农业集约化相结合的产物,其实质是以农民经济需求和政府生态政策扶持共同作用为基础的耕地复合功能转型结果^[57];萨赫勒地区农林复合经营景观中的部分树木产品可以通过增加女性在劳动力中的就业来增加女性群体的经济收入、促进家庭平等^[58];西非农业景观中树木的存在改善了农村粮食安全和生计选择^[59]。多样化的景观有助于实现与气候变化、可持续性、社会公平和生态复原力相关的联合国可持续发展目标^[60]。

1.2.3 土地分离与共享(Land Sparing and Sharing)

土地资源优化配置涵盖两个既有关联又互相对立的目标,即提高综合土地资源利用效益和合理分配竞争性土地资源用途^[61],由此必然会产生土地利用功能的冲突与权衡。土地分离与共享框架最初用于探索粮食生产与生物多样性保护的权衡关系,是协调物质生产和生态保护、促进土地可持续利用的重要理论^[62,63]。土地分离多指高密度的集约化利用方式,土地共享则相反。土地分离与共享框架自提出以来已在全球开展大量实践活动^[64],中国的土地利用实践受制于资源禀赋约束同样包含了大量的分离与共享思维决策理念^[65]。

土地利用和管理作为生态系统供给服务之一,在很大程度上决定了农业产量,同时也从根本上影响调节和维护服务(如水净化、土壤保持或气候调节)以及文化服务(如宜人的景观)^[66]。近年来,人类通过改变土地利用和管理以提高全球粮食产量,造成其他生态系统服务功能严重受损,从而增加了生态系统的脆弱性^[67]。因此,人们提出了土地分离与共享两个截然不同的概念来调和土地利用冲突。其中,土地共享是一种野生动物友好型农业,旨在确保农业生产和自然保护共存,如广泛管理的农田和地块内的景观元素(花带)^[68]。相反,在土地分离计划中,自然保育用地与农地是严格分开(预留)的,尤其是具有高产潜力的肥沃农地应被尽可能地集约利用,以减轻自然土地的转换压

力或释放边际农地用于自然保护(再野化)^[69,70]。总体而言,对土地分离与共享的研究是由景观生态学观点和生物多样性保护观点推动的^[71]。随着人类对土地功能认知的不断深入,土地分离与共享框架的拓展表现为从单一的粮食供给服务需求演进到粮食供给服务和其他生态系统服务的综合需求^[63]。

我国的土地利用实践更偏好土地分离^[63]。在城市土地利用中,管理者常采用建立生态保护区、划定建设用地边界等地块分割的利用方式来协调用地矛盾、维持城市系统持续发展;在农业土地利用中,从设立基本农田保护区到严控耕地红线等政策均是土地分离理念的具体呈现。例如,通过分离农用地所有权、承包权和经营权的农村土地三权分离制度改革思路可以提高农用地资源配置效率^[72]。尤其对于耕地规模较大但劳动力流失严重的空心村,有效的土地流转可以增强耕地规模经营水平,进而为保障18亿亩耕地红线和提高土地利用效率奠定基础。综上,土地分离与共享决策工具在用地规划布局方面极大程度地丰富了我国土地多样化利用方式,为满足人类需求提供了优化调控路径^[65]。

1.3 中国土地资源优化配置关键问题

中国农村土地资源配置问题在城乡统筹发展过程中相当突出,面对城镇化进程中建设用地挤占大量耕地空间的现实状况,农村土地资源配置优化成为平衡建设用地发展与耕地生产需求的有效方法^[21],故解析耕地资源变化成为影响我国粮食安全和可持续发展的关键过程。与此同时,农村人口与传统自然村落不断减少,一方面村庄合并与重组进一步扩大了现状建设用地面积,但造成普遍的农村空心化现象;另一方面,部分消失的自然村主要位于城市边缘地带,失地农民因土地一级市场垄断而无法分享征地附带的土地资产增值性收益^[72],致使农民长期以来较少从城市化过程中获益^[73]。农村土地整治是适时补充耕地、盘活存量土地、优化城乡用地、强化集约用地和提升土地产能的重要途径,具有优化城乡用地、调整农村土地结构的独特功能,既是对城乡土地产权的分配,又是对土地在农村人口、产业之间的配置^[74]。因此,面向乡村振兴战略背景下的保护和发展目标,农村土地整治应深入探究与国情演进相匹配的产业、区域、城乡间土地利用配置机制,建立具有中国特色的农村土地优化理论体系^[75]。

合理的农业结构有利于农业系统发挥更好的整体功能和效益,如何对耕地资源进行合理配置已成为众多学者研究的热点问题^[76]。刘彦随等^[77]在探索城市化进程中耕地资源优化配置理论与方法的基础上提出区域耕地容许转换量化模型,为区域耕地资源多目标优化配置提供了决策依据。李玉恒等^[78]通过综合考虑经济、社会、生态价值,测算出我国东部沿海地区非农化配置效益,为优化农地非农化合理配置方式提供了思路借鉴。Li等^[79]在生态环境约束条件下提出了由土地质量评价模块、生态经济耦合模块和土地利用优化模块组成的农用地利用决策支持系统(LDSS)框架。然而,以农用地为核心的农业用地系统在保障粮食生产的同时消耗了大量的能源和水资源,且不同的生产对象之间也存在着竞争关系^[80]。对于限定区域的农业用地系统而言,用以满足人类需求和可持续发展目标的系统用地分配决策将受到粮食—能源—水资源的供应约束^[80]。在考虑复杂不确定性和决策者风险承受能力的基础上,粮食—能源—水关联(Nexus)系统管理的混合优化模式可以反映决策者的主观意见和风险偏好,为决策者在不确定条件下的耕地优化配置、粮食生产安排、水资源配置和能源供应策略提供最佳的乐观/悲观权衡策略^[81]。

近年来,尽管中国粮食总量供需平衡,但结构性矛盾依然突出^[82]。例如,玉米供大

于求且大豆产量较低,有效供给不能适应需求变化。自2016年以来,中央政府和地方政府纷纷提出支持农业供给侧结构性改革的相关政策。这些政策反映了农业经济领域相关专家的研究成果,对于改善主要农作物的空间布局、缓解我国农业结构失衡具有重要的参考意义^[82]。因此,农业政策必然是影响我国农作物空间布局优化的另一重要因素。此外,我国农村土地利用发展正处于社会经济和土地利用发展的转型阶段,历史土地利用转型过程和政策干预对土地利用配置方案在未来土地利用管理中的适用性具有关键影响。综上,土地资源配置战略必须具备良好的适应转型过程的能力^[81],方能服务于当前国际国内新形势下的粮食安全保障目标。

2 南京大学土地利用学科贡献

2021年是南京大学地理学系成立100周年(前身为1921年竺可桢先生创建的原中央大学地学系)。1949年以来,南京大学地理学系重视实践性教学,由重知识、能力到重全面素质培养,主动承担全国性科学研究和生产任务,广泛而深入地参与铁路选线、综合考察、水利建设、流域规划、农业区划、工业布局以及城乡规划等大规模社会主义建设,较早确立了土地利用研究方向,推进了中国土地利用学科的发展^[83]。典型代表作包括:任美镠先生^[84]于1983年在《地理研究》上发表“国土整治与中国地理学”一文,从地理学的角度提出了国土整治工作的三项主要内容:自然资源调查研究、综合开发利用规划、国土资源立法管理。随后,包浩生等^[85]于1987年在《地理学报》上联名发表“国土整治与自然资源研究”一文,为资源地理学学科发展奠定基础。同年,倪绍祥先生^[86]在《自然资源》(现《资源科学》)期刊上发表“将遥感资料纳入土地信息系统”观点。此后,南京大学形成了以自然资源与国土整治、土地利用规划、可持续发展等为核心,注重人文地理与多学科交叉的应用学科蓬勃发展。如今,面向国家资源安全、粮食安全等战略目标,南京大学土地利用学科逐步形成了以“土地评价与整治”“土地利用与规划”“土地经济与政策”等方向为重点研究领域的跨学科发展体系^[87]。

土地资源优化配置是资源地理学的主要研究内容之一^[88]。围绕土地资源优化配置研究主题,本文依据“特征解析—技术应用—制度研究”的逻辑主线,分别从耕地利用优化、国土规划整治、政策制度改革等方面阐述南京大学地理学系在土地利用学科方向的学术贡献(图3)。

2.1 耕地利用特征识别与优化

耕地保护作为落实国家粮食安全战略的主要措施,一直是我国土地利用规划编制和实施的重点^[89]。在当前耕地流失严重且后备不足的现实背景下^[90],要保障18亿亩耕地红线以及粮食安全的土壤(耕地),必须增加耕地投入,提高耕地高质量集约利用水平^[91],采取“扩量、提质、增效、持续增产”的战略方针^[92]。然而,多样化的地理环境差异使耕地景观系统的时空演化特征复杂化且最优资源配置途径难以探索,给耕地管理政策设计带来了一系列困难^[93]。如果耕地资源的保护价值和空间定位等信息难以准确掌握,尽管中央对各级地方政府下达了基本农田保护和耕地红线等相应的数量指标,地方政府所贯彻落实的各项耕地保护任务也仅能达到事倍功半的效果^[94]。因此,如何通过合理配置耕地的空间布局以缓解建设用地扩张与耕地保护之间的矛盾,是国土资源利用过程中必须重视的问题。南京大学地理学系围绕耕地资源优化配置开展了大量研究工作。

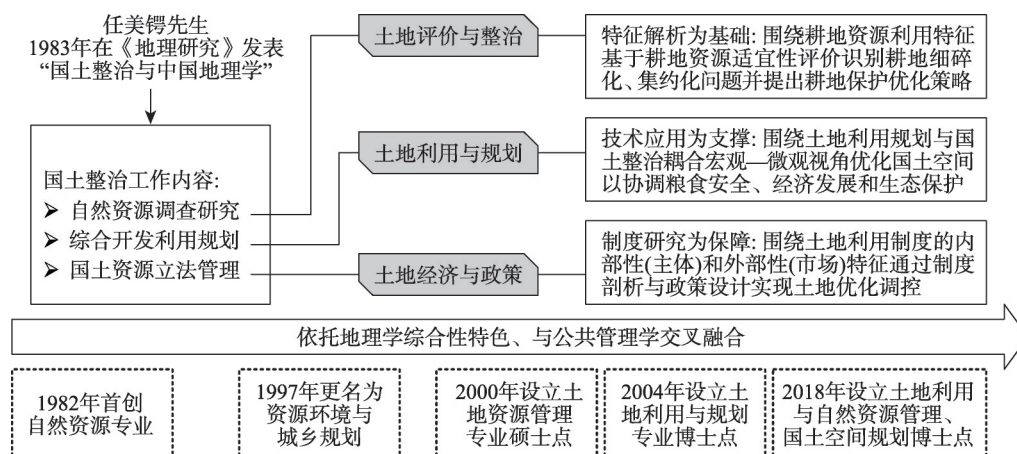


图3 南京大学的学术贡献

Fig. 3 Academic contribution of Nanjing University

2.1.1 耕地利用格局优化

耕地细碎化是确保东亚地区粮食安全和土地资源可持续性的关键因素^[95]。南大学者围绕耕地细碎化内容从利用特征—影响机制—优化决策多维度在像元—区域—地方多尺度展开研究，试图为耕地利用格局优化提供思路。具体而言，在像元尺度上通过借鉴地理空间极差衰减原理和生态边界效应原理，综合运用数学形态学、图像处理技术和GIS空间分析技术建立了像素级景观结构分类模型，进而识别出农田景观演化过程的空间特征^[93,96]。区域尺度上构建了包括耕地资源自然属性、空间属性和利用属性在内的综合可持续发展评价指标体系，并提出融合区域差异和影响因素的耕地细碎化管理分区框架，实现了县域、乡镇等不同层面的细碎化优化管理方案^[95,97]。地方尺度上则结合农民耕作习惯和地块选择偏好，以改善耕地细碎化状况、提高农业生产效率、有效发挥耕地潜能为目标，基于多目标线性规划模型构建了耦合工程建设与权属调整的土地整治项目区耕地资源空间配置优化模型^[98]。

2.1.2 耕地集约利用转型

在粮食安全、经济发展和生态保护的多重压力下，集约利用耕地已成为人类土地利用的必然选择^[99]。南大学者基于地理学、土地科学视角将耕地集约利用内涵分别从微观、中宏观和时间尺度上进行概括，认为耕地集约化应关注不同耕作制度、作物种类以及耕地质量本底背景下耕地利用主体的劳动—资本—技术等生产要素投入的数量、结构及其有效性，注重耕地资源配置效率提升背景下的集约利用模式优化^[100]。在此基础上，立足于区位优势揭示了经济发达地区耕地利用“逆集约化”现象的内涵和特征，将“逆集约化”定义为耕地利用转型过程中与集约化阶段相抗衡的反作用力突显并作用于耕地利用状态的潜在边际化现象，并在显性层面概括为单位面积耕地的劳动力与资本增产性投入减弱趋势^[99]。与此同时，在区域尺度通过Google Earth Engine平台集成学习算法识别出农用地大棚化转型特征^[101]，并基于农户问卷调查数据探究了微观尺度下新型职业农民对大棚化转型的影响，为理解国家政策与农户主体互动对耕地利用转型的影响机理以及相关政策的制定与实施提供可能的参考^[102]。

2.1.3 耕地保护与利用规划

作为落实国家粮食安全战略的主要措施,耕地保护长期以来都是中国土地利用规划编制和实施的重点^[103]。南大学者在耕地保护规划方面进行了大量研究工作,主要聚焦于农田建设、成效评估、监测预警等规划环节。农田建设方面,通过构建耕地保有量公平分配的优化模型,在区域耕地面积限定条件下通过兼顾粮食自给率和耕地后备资源提出公平性分配方案对中国区域耕地面积进行调整^[104]。并在系统考虑耕地生产能力、生态质量、利用状况以及地区经济发展等因素基础上,从增强防灾减灾能力、实现旱涝保收的高标准基本农田建设目标出发,以粮食安全为导向进行基本农田指标分解决策^[105,106]。成效评估方面,多从规划实施评估角度对以往规划及规划实施中的有关耕地保护工具和手段的影响予以检视,服务于国土空间规划编制中耕地保护格局优化和耕地保护目标落实^[89]。监测预警方面,通过设计具有动态、实时的监测及预警功能的耕地质量预警系统,试图为区域耕地总量动态平衡的调控提供控制点,目前已成为阻止区域耕地质量下降、维持区域耕地总量动态平衡的有效工具^[107]。

2.2 土地利用规划与国土整治

2.2.1 土地利用与城乡规划

土地是城乡统筹发展的切入点,城乡统筹发展要以城乡地域系统为载体,通过解析城乡人地关系问题处理城乡要素配置问题,因此探索土地二元结构破解思路以创新土地利用优化方案是实现城乡统筹发展的有效途径^[108]。快速城市化进程中土地利用矛盾的严峻挑战,要求从土地可持续利用的角度深入研究土地利用效率,以协调粮食安全、经济发展和生态保护之间的关系^[109]。综上,土地利用与管理需要实施更加综合的全局性规划和差异化战略来激发土地利用潜力、保持土地高效可持续利用^[109]。

现阶段为实现土地利用规划综合效益目标,南大学者在理论层面基于土地资源配置优化提出以土地利用空间重构概念为核心的土地资源可持续利用的行动框架,涵盖空间转移(再配置)、生态重建(可循环)、城市更新(再利用)、未利用地开发(复垦)四个层次,以期实现土地利用系统整体效益的最大化^[110]。此后,通过在空间结构的基础上耦合景观功能构建了区域土地利用转型研究新框架,并在格网尺度上提出结构与功能互馈的土地管理区域、在乡镇层面实现城乡综合发展分区,为可持续国土空间规划战略制定提供思路^[111]。实践层面上则围绕规划方法、管理系统等决策体系开展研究,在区域乡村振兴战略实施、美丽乡村建设背景下,基于规划约束和村庄自身资源禀赋提出一套先分区、后分类的顺序递进式村庄类型划分方法体系^[112];并建立了包含动态、预警、决策子系统的动态规划管理系统,可针对土地变化趋势的实际情况及时调整规划以及规划实施的管理措施,使规划真正起到对实际的驾驭、控制作用,进而实现规划的连续性^[113]。

2.2.2 国土整治与农用地管理

根据现代系统理论,由子系统(组成要素)之间的协作与竞争决定了系统的宏观结构,但系统内部组成要素之间的非线性关系决定着系统的宏观结构往往通过偶然随机因素影响下的微观结构调整得以实现^[85]。因此,国土规划需要在拟定合理宏观规划的基础上开展切实可行的微观规划,方能实现资源合理开发利用与治理保护^[85]。土地整治是微观规划的典型代表,其本质是以资源利用效率为落脚点,破解区域发展中生产要素配置的结构矛盾,通过促进人地关系转型来满足区域协调发展的多元目标需求以增加区域

整体福利^[114]。综合而言,土地整治的逻辑起点是资源利用效率,也是资源有效配置的帕累托最优状态^[114]。

从土地整治规划着手,南大学者围绕粮食安全目标针对复垦、规划、利用等典型方向进行了大量研究。低效用地复垦方面,提出了政策约束条件下高速铁路大型临时设施用地复垦的投入—产出测算体系,以耕层重建工程与地面设施工程计算复垦投入值,以经济、社会及生态价值作为复垦产出值,通过效率评价寻求复垦综合效益相对最优的方案^[115]。基本农田规划方面,从数量和质量两方面依据管理政策要求和技术规范要点,构建了基本农田规划方案综合评价技术体系,通过结合基本农田任务完成率、调整比例、土地利用类型和地形坡度等约束指标的落实情况和耕地质量等级、交通区位状况和农业生态条件等质量控制指标的变化情况,为基本农田数量调控、空间配置提供参考^[116]。耕作层利用方面,在筛选适宜剥离和优先覆土田块基础上通过构建耕作层剥离适宜性与覆土优先度评价模型,提出基于供需平衡圈的耕作层剥离再利用空间配置思路与方法,以期编制专项规划提供指导^[117]。

2.3 土地利用制度及政策优化

我国宪法规定,农村土地归集体所有,城市土地归国家所有。土地利用政策无疑是影响农村发展的关键因素,我国土地利用政策的变化不仅影响着农村发展,而且决定着农村兴衰。近年来,激进的非农土地增长带来的环境问题已经导致了高质量耕地丧失、景观破碎化加剧、湿地退化和农田生物多样性减少,特别是大量优质耕地流失严重制约当前农业可持续发展与未来粮食安全^[118]。中国通过制定严格的土地宏观调控、土地用途管制和耕地占补平衡等土地管理制度,对有效缓解土地供需之间的冲突发挥着积极作用^[119]。例如,政府国土资源管理部门依据土地储备制度经收回、收购、征用或其他方式取得土地使用权进行土地储存或前期开发整理,进而通过国家宏观调控促进土地资源配置优化^[120];土地审批制度作为我国土地利用规划管控和用途管制的重要环节,可通过自上而下的方式控制区域建设用地总量,有效减少耕地非农化和遏制城市过度扩张,进而实现土地资源集约利用^[121]。南京大学地理学系从土地资源相关土地利用制度的内部性(主体)和外部性(市场)两方面特征开展了大量政策优化研究,研究主题涵盖土地储备制度、土地督察制度、土地流转制度、土地税收制度、土地征收补偿制度、土地审批制度等。

2.3.1 土地利用制度创新

土地和劳动力是财富创造的两大基本要素,是我国农村经济制度体系中的重要组成内容^[122]。面向粮食安全与乡村可持续发展,南大学者在剖析我国土地储备制度的产生背景及其在土地使用制度改革与国企改革中所起作用 and 存在问题的基础上,明确了建立健全土地储备制度在国土资源开发利用过程中的重要性^[123]。针对耕地占补平衡效果,在省域尺度验证了建立例行督察和专项督查对耕地占补平衡的促进作用,明确提出未来国家土地督察的业务体系、规范工作机制的完善过程需结合地方土地利用和管理的具体问题^[124]。同时进一步以专项督察为例探究了土地督察制度的社会效应,从群众和地方官员行为差异化角度剖析国家土地督察信息公开所带来的社会风险,并借此为优化其信息公开方式提供借鉴^[125]。针对农用地流转机制,将农业土地流转市场划分为政府引导型、集体推动型和农户主导型三种类型,并结合农户调查数据发现政府引导的农地流转导致耕地面积

大幅减少,集体推动的流转有利于提高耕地利用效率,农户主导的流转促使粮食作物种植面积减少^[126]。此外,针对乡村发展涉及的相关土地制度问题,探讨了农村宅基地退出机制政策对综合工程、生态、经济和社会因素的乡村韧性的影响,认为提高乡村韧性不仅应关注市场对资源优化配置的影响,还应涉及适当的政府监管^[127]。

2.3.2 土地经济政策优化

价格市场配置稀缺资源的重要手段,也是调节供需的基础工具^[128]。围绕土地经济政策,南大学者在土地税收、土地征收补偿、土地审批、土地有偿使用费分配等方面进行了系统研究。按照由城市到乡村的土地利用阶段性圈层演进过程^[111],首先聚焦于城市土地资源通过介绍税收在市场失灵情况下调节资源优化配置的可能性,阐明了土地税收对城市土地资源优化配置的调节作用、具体途径^[129]。其次将研究重点转向农村农民土地权益,从明晰土地产权、建立农地非农化的市场机制、改革现行征地制度、实现农地外部效益内在化、配套改革土地税费和完善社会保障制度等方面提出了土地征收补偿价格矫正的具体思路,并从动态补偿制度、土地留用模式和发挥土地资本化功能等方面探索土地征收补偿机制的创新^[128]。此后逐渐侧重于建设用地与耕地互馈机制,通过探讨审批建设占用规模、行政级别实施主体、土地政策效应等因素对我国城市建设占用耕地的影响机理,提出土地审批权限下放过程必须明确各级政府和国务院主要职能的建议,同时适当精简审批流程和进一步提高审批灵活性,以协调审批后耕地转用与当地实际用地需求^[121]。在此基础上针对农村土地整治实践,分析新增建设用地土地有偿使用费(新增费)分配使用目标,建立了反映中央分成新增费分配数额与土地整治效益动态变化关系的优化模型,进而判断不同中央分成新增费分配方案下的土地整治效益预期^[130]。

3 粮食安全背景下的机遇挑战

土地资源优化配置是解决粮食安全与经济发展、生态保护权衡冲突问题的关键手段。南大学者面向粮食安全保障目标,围绕耕地资源利用、城乡发展统筹、乡村空间整治等内容从特征、格局、机制、制度、决策等方面提出了重要见解,但仍缺乏以粮食安全为核心的土地资源优化配置的系统性探讨。在当前资源本底约束、极端气候频发、国际形势趋紧及突发事件迭出等多重因素影响下,如何实现农业资源可持续利用依然是国家生存与发展问题的重中之重。2015年联合国可持续发展目标(SDGs2030)的提出,使国土空间格局与优化配置问题逐渐成为全球变化和可持续发展研究的热点问题^[131,132]。“星球边界”(Planetary Boundaries)概念的提出进一步促使土地系统变化安全阈值和风险控制在国土空间有序开发利用的重要举措^[133]。研究表明,未来全球城市扩张将对农田生态系统、生物多样性和生态系统碳蓄积产生重要影响^[134],必须通过优化农用地布局重塑全球农田生态系统,建立可持续集约化农业以提高粮食生产能力和水资源利用效率,促进未来农业可持续发展^[135]。

2016年,国务院颁布在部分地区探索实行耕地轮作休耕制度试点方案,以实施藏粮于地、藏粮于土战略为指导思想,坚持生态优先、综合治理,轮作为主、休耕为辅。学界逐渐对农业资源环境与农田生态环境的修复等思想予以高度重视^[136]。在国际市场粮食价格波动、国内粮食库存负担加大、耕地开发利用强度压迫等多重背景下,依托国土资源优化配置思路建立耕地产能保护区被认为是发展中国家保护有限的耕地资源、保障粮

食安全的重要举措^[80]。面对“美好生活”与“美丽中国”的要求^[137], 迫切需要从理论—方法—视角等多维度探索科学的国土资源优化配置决策和耕地保护调控政策与路径(图4)。

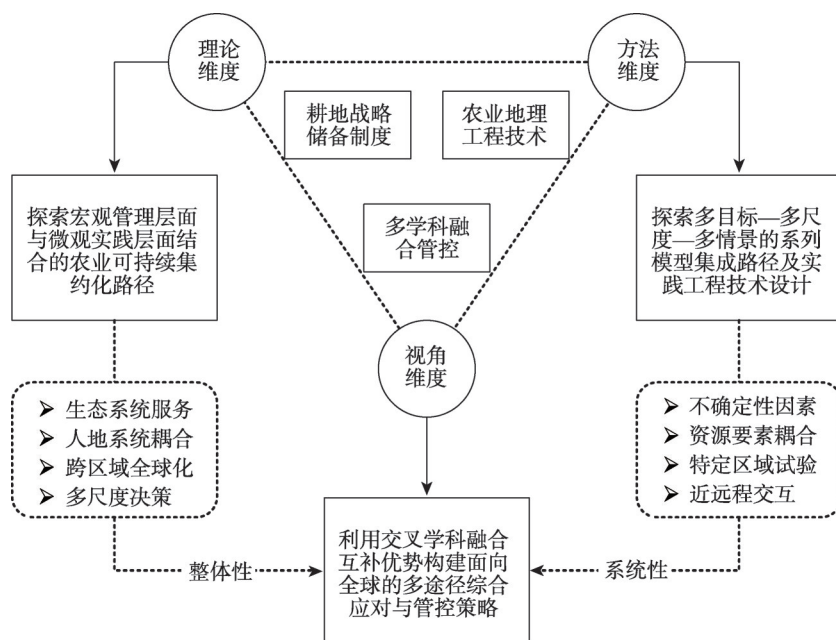


图4 粮食安全背景下的土地资源优化配置展望

Fig. 4 Prospects for optimal allocation of land resources under the background of food security

3.1 理论维度: 协同创新是前提

地理学的研究对象是岩石圈、水圈、大气圈、生物圈和人类智慧圈等相互作用、相互渗透形成的自然—社会—经济综合体。资源稀缺性不仅影响区域人地关系, 同时也影响着人类社会对于自然资源的利用方式以及人类迁徙、资源配置远程耦合等适应性行为^[138]。随着可持续发展研究的深入, 资源环境工作者逐步意识到资源要素间的合理开发利用是可持续发展的基础, 这种思想促使资源地理学研究在区域性主导的前提下走向整体性、圈层化, 表现为综合自然资源学研究与交互耦合类研究的快速增长^[139]。因此, 土地资源优化配置应广泛吸取资源地理学、景观生态学、可持续性科学等多学科理论, 充分借鉴生态系统服务决策、人地系统远程耦合框架等多学科应用, 实现理论维度的持续更新与迭代, 服务于国土资源的多目标、跨区域全球优化配置。

耕地资源优化配置方面应健全休养生息制度体系, 探索宏观管理层面与微观实践层面结合的农业可持续集约化路径。现有的粮食系统把重点放在短期的生产和利润上, 而不是长期的环境可持续性, 因而需要更全面地解决粮食安全和环境可持续性问题, 以及农业景观中多种生态系统服务之间的权衡问题。国家尺度应尽快完善耕地保护方向调控机制, 通过惠农政策激励农户尺度进一步提高耕地利用水平、培育生态环境意识, 进而实现多尺度决策协调。构建耕地数量弹性空间以整合并改善现有耕地保护政策之间的空间衔接问题。休耕及休耕地的规模控制必然会威胁粮食安全, 导致粮食产量减少, 因此需要建立富有弹性的区域粮食系统^[140]。建议从耕地休耕迫切性、保护必要性着手, 构建以“保(优先保护)、建(高标准建设)、治(整治修复)、休(休耕轮作)”为核心的国家耕地

战略储备空间,针对不同分区实施相应的耕地保护政策,加强耕地产能动态占补平衡。

3.2 方法维度:系统集成是基础

资源配置全球化发展的强劲态势打破了资源在地理空间上分布和配置不均的特点^[141]。由于全球环境变化所产生的生态影响具有时滞性,因此在制定土地持续利用发展规划时必须要有超前意识和整体思维^[142]。当前的土地资源优化配置研究多侧重于理论探究和常规模型的组合应用,且系列模型应用不足,难以在系统综合和全局整体上实现全要素资源优化配置过程和结果。在可持续发展背景下国土资源优化配置应面向全球社会生态变化与水土气生多要素融合,探索多目标、多尺度、多情景的系列模型集成路径,通过充分考虑优化过程不确定性因素、近远程交互影响机理、社会经济和社会生态系统嬗变机制等内容提高土地资源精确配置可信度。

此外,传统农业生产面临着复杂的“农业病”问题,诸如耕地退化严重、基础设施薄弱、抗灾减灾能力薄弱、科技支撑能力不足、农业效益与竞争力低下等,严重制约着农业转型与高质量发展^[143],有必要在资源配置实践层面补充农业地理工程技术,弥补以模型模拟优化为核心的理论研究在现实资源配置问题处理方面的不足。农业地理工程试验涵盖特定区域地理环境和农业发展问题的水土配置、土层复配、生态防护、地理空间分析与监测,旨在建立符合健康农业生态系统水土气生状态的可持续土地利用系统与多功能农业经营模式^[144],目前已广泛应用于农村土地利用优化设计中,具有一定的实践案例经验可供参考。

3.3 视角维度:学科融合是趋势

随着地球已进入“人类世”(Anthropocene)新纪元,全球变化环境下的资源环境压力日趋严峻^[145]。为了应对此挑战,基于复杂科学思维,资源科学、地理学等相关学科的科学家们围绕全球性自然资源问题开展了深度且综合的探究,制定并实施了世界气候研究计划(WCRP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)、生物多样性计划(DIVERSITAS)、国际全球变化人文因素计划(IHDP)、地球系统科学联盟(ESSP)、未来地球(Future Earth)等科学计划^[146]。资源研究的“全球化”趋势凸显,研究重点转向资源永续利用和可持续发展,使得对于自然资源问题及其引致的生态环境以及对人类发展路径的影响,成为理解自然资源复杂性的重要方面^[138]。

综上,应在资源地理、乡村地理、土地科学、系统科学、管理学等多学科融合体系下全方位考虑耕地保护与利用战略的尺度效应、耦合机制以及区域差异性。一般而言,粮食安全作为一项复杂的系统问题涉及国家、地方、农户等多种行为主体,在农业资源利用约束背景下,粮食供需动态变化的本质可看作外部多重偶然性与必然性因素共同干扰的人地关系的演变过程,而大尺度单元的研究容易忽略区域内部粮食供需差异性,不利于实现国家层次上对粮食供需的宏观调控^[147]。因此必须加强粮食系统内部多要素—多尺度耦合分析,明确耕地保护多功能区划及其政策配套,利用学科融合优势构建多途径的综合应对与管控策略。面对外部环境的复杂性,加强区域与国家及全球层面的农业监测活动,优化区际信息协调与共享能力,利用空天地一体化遥感监测系统构建多元数据融合平台监测多尺度农业综合产能的动态变化过程。同时需增强跨学科领域交流,通过学科体系优势互补开拓研究认知与思路,有效结合理论与实践、科学与政策,实现全方位的耕地资源优化配置。

4 结论

土地资源优化配置是解决我国土地利用供需矛盾, 促进可持续土地利用的有效手段。伴随学科发展与技术进步, 国土资源优化配置研究已逐步实现从土地利用数量、空间的单项优化方案向数量—空间协同优化并重转型、并向结构—功能权衡优化方案过渡。近年来, 我国资源环境约束弊端逐渐显现, 尤其在新冠肺炎疫情全球爆发后, 国际贸易形势趋紧导致粮食供给不稳定性突增, 粮食安全问题再次受到社会公众广泛关注。如何在城乡统筹发展过程中协调经济发展与生产保护进而优化农村土地资源优化配置, 依然是我国解决粮食安全问题的核心研究内容。南京大学地理学系长期以来致力于土地利用科学研究, 在土地评价与整治、土地利用与规划、土地经济与政策等学科领域方向积累了大量研究成果, 为我国国土资源优化配置贡献了力量。整体而言, 当前土地资源优化配置研究兼具资源学范式、管理学范式、地理学范式、经济学范式等, 不同研究范式各有侧重。面向粮食安全的持续保障问题, 未来国土资源优化配置研究有必要进一步加强学科融合, 重视理论—方法—视角多维度创新, 通过设计合理的耕地保护格局与战略储备制度, 应用农业地理工程技术实现高质量、可持续的耕地资源有效配置。

参考文献(References):

- [1] DELCOURT H R, DELCOURT P A. Quaternary landscape ecology: Relevant scales in space and time. *Landscape Ecology*, 1988, 2(1): 23-44.
- [2] WESTERN D. Human-modified ecosystems and future evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2001, 98(10): 5458-5465.
- [3] ZHENG W, KE X, XIAO B, et al. Optimising land use allocation to balance ecosystem services and economic benefits: A case study in Wuhan, China. *Journal of Environmental Management*, 2019, 248: 109306, Doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109306.
- [4] OCZKOWSKI E, BANDARA Y. Modelling agricultural land use allocation in regional Australia. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2013, 57: 422-440.
- [5] LIU Y, LI Y. Revitalize the world's countryside. *Nature*, 2017, 548: 275-277.
- [6] HERRERO M, THORNTON P K, POWER B, et al. Farming and the geography of nutrient production for human use: A transdisciplinary analysis. *Ecological Modelling*, 2017, 1(1): e33-e42, Doi: 10.1016/S2542-5196(17)30007-4.
- [7] TITTONELL P, GÉRARD B, ERENSTEIN O. Tradeoffs around crop residue biomass in smallholder crop-livestock systems: What's next?. *Agricultural Systems*, 2015, 134: 119-128.
- [8] TSCHARNTKE T, CLOUGH Y, WANGER T C, et al. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 2012, 151(1): 53-59.
- [9] DENG X, GIBSON J. Improving eco-efficiency for the sustainable agricultural production: A case study in Shandong, China-ScienceDirect. *Technological Forecasting & Social Change*, 2019, 144: 394-400.
- [10] LIANG X, JIN X, YANG X, et al. Exploring cultivated land evolution in mountainous areas of Southwest China, an empirical study since the 1980s. *Land Degradation & Development*, 2020, Doi: 10.1002/ldr.3735.
- [11] CHIGBU U E, NTHINYURWA P D, VRIES W T D, et al. Why tenure responsive land-use planning matters: Insights for land use consolidation for food security in Rwanda. *International Journal of Environmental Research & Public Health*, 2019, 16(8): 1354, Doi: 10.3390/ijerph16081354.
- [12] 黄贤金, 宋娅娅. 基于共轭角力机制的区域资源环境综合承载力评价模型. *自然资源学报*, 2019, 34(10): 2103-2112. [HUANG X J, SONG Y Y. Evaluation model of regional resource and environment comprehensive carrying capacity based on the conjugationwrestling mechanism. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(10): 2103-2112.]
- [13] WANG S D, WANG X C, ZHANG H B. Simulation on optimized allocation of land resource based on DE-CA model. *Ecological Modelling*, 2015, 314: 135-144.

- [14] 罗鼎, 许月卿, 邵晓梅, 等. 土地利用空间优化配置研究进展与展望. 地理科学进展, 2009, 28(5): 791-797. [LUO D, XU Y Q, SHAO X M, et al. Advances and prospects of spatial optimal allocation of land use. Progress in Geography, 2009, 28(5): 791-797.]
- [15] 赵其国, 周炳中, 杨浩, 等. 中国耕地资源安全问题及相关对策思考. 土壤, 2002, 34(6): 293-302. [ZHAO Q G, ZHOU B Z, YANG H, et al. Considerations on China's cultivated land resource security and related countermeasures, 2002, 34(6): 293-302.]
- [16] 刘彦随. 中国土地利用战略创新及其模式体系. 中国土地科学, 2009, 23(2): 4-10. [LIU Y S. Innovation of land use strategies and its model system in China. China Land Science, 2009, 23(2): 4-10.]
- [17] 郑荣宝, 董玉祥, 陈梅英. 基于GECM与CA+ANN模型的土地资源优化配置与模拟. 自然资源学报, 2012, 27(3): 497-509. [ZHENG R B, DONG Y X, CHEN M Y. Simulation on optimized allocation of land resource based on GECM and CA+ANN model. Journal of Natural Resources, 2012, 27(3): 497-509.]
- [18] BENABDALLAH S, WRIGHT J R. Multiple subregion allocation models. Journal of Urban Planning & Development, 1992, 118(1): 24-40.
- [19] 倪绍祥, 刘彦随, 张贵祥, 等. 中国东南沿海地区耕地资源保护与可持续利用. 长江流域资源与环境, 1999, 8(3): 49-54. [NI S X, LIU Y S, ZHANG G X, et al. Study on protection and sustainable use of the cultivated land in the coastal region of south-east China. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 1999, 8(3): 49-54.]
- [20] 郑振源, 黄晓宇. 集约用地呼唤土地资源市场配置. 中国土地科学, 2011, 25(4): 13-16. [ZHENG Z Y, HUANG X Y. Intensive land use calls for land resource market allocation. China Land Science, 2011, 25(4): 13-16.]
- [21] 曲福田, 田光明. 城乡统筹与农村集体土地产权制度改革. 管理世界, 2011, (6): 34-46, 187. [QU F T, TIAN G M. The coordination urban growth between rural development, and the reform of the system of the property right of the rural collective land. Management World, 2011, (6): 34-46, 187.]
- [22] 刘彦随, 方创琳. 区域土地利用类型的胁迫转换与优化配置: 以三峡库区为例. 自然资源学报, 2001, 16(4): 334-340. [LIU Y S, FANG C L. A study on regional forced land use conversion and optimal allocation: Taking the Three Gorges Reservoir Area as an example. Journal of Natural Resource, 2001, 16(4): 334-340.]
- [23] 陈梅英, 郑荣宝, 王朝晖. 土地资源优化配置研究进展与展望. 热带地理, 2009, 29(5): 466-471. [CHEN M Y, ZHENG R B, WANG C H. Review on optimal allocation of land resources. Tropical Geography, 2009, 29(5): 466-471.]
- [24] 柯新利, 孟芬, 马才学. 基于粮食安全与经济发展区域差异的土地资源优化配置: 以武汉城市圈为例. 资源科学, 2014, 36(8): 1572-1578. [KE X L, MENG F, MA C X. Optimizing land resource allocation based on food security and regional difference in economic development: A case study in Wuhan Metropolitan. Resources Science, 2014, 36(8): 1572-1578.]
- [25] 袁满, 刘耀林. 基于多智能体遗传算法的土地利用优化配置. 农业工程学报, 2014, 30(1): 191-199. [YUAN M, LIU Y L. Land use optimization allocation based on multi-agent genetic algorithm. Transactions of the CSAE, 2014, 30(1): 191-199.]
- [26] 刘静怡, 蔡永立, 於家, 等. 基于CLUES和灰色线性规划的嘉兴北部土地利用优化配置研究. 生态与农村环境学报, 2013, 29(4): 529-536. [LIU J Y, CAI Y L, YU J, et al. Optimization of land use arrangement in North Jiaxing based on CLUE-S and grey linear programming models. Journal of Ecology and Rural Environment, 2013, 29(4): 529-536.]
- [27] 刘彦随. 土地利用优化配置中系列模型的应用: 以乐清市为例. 地理科学进展, 1999, 18(1): 28-33. [LIU Y S. Family-models used in optimal allocation of regional land use. Progress in Geography, 1999, 18(1): 28-33.]
- [28] FOWLER K R, JENKINS E W, OSTROVE C, et al. A decision making framework with MODFLOW-FMP2 via optimization: Determining trade-offs in crop selection. Environmental Modelling & Software, 2015, 69: 280-291.
- [29] 刘彦随. 中国土地资源研究进展与发展趋势. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 127-133. [LIU Y S. New progress of land resources studies and related developmental tendencies in China. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(1): 127-133.]
- [30] MEMMAH M M, LESOURRET F, YAO X, et al. Metaheuristics for agricultural land use optimization: A review. Agronomy for Sustainable Development, 2015, 35(3): 975-998.
- [31] KAIM A, CORD A F, VOLK M. A review of multi-criteria optimization techniques for agricultural land use allocation. Environmental Modelling & Software, 2018, 105: 79-93.
- [32] GROOT J C J, YALEW S G, ROSSING W, et al. Exploring ecosystem services trade-offs in agricultural landscapes

- with a multi-objective programming approach. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 172: 29-36.
- [33] 倪绍祥, 刘彦随. 区域土地资源优化配置及其可持续利用. *农村生态环境*, 1999, (2): 9-13, 22. [NI S X, LIU Y S. Study on optimal allocation of land resource and its sustainable use. *Rural Eco-Environment*, 1999, (2): 9-13, 22.]
- [34] 胡业翠, 刘彦随, 邓旭升. 土地利用/覆被变化与土地资源优化配置的相关分析. *地理科学进展*, 2004, 23(2): 51-57. [HU Y C, LIU Y S, DENG X S. Relativity analysis on land use and land cover change and optimal allocation of land resource. *Progress in Geography*, 2004, 23(2): 51-57.]
- [35] 李鑫, 严思齐, 肖长江. 不确定条件下土地资源空间优化的弹性空间划定. *农业工程学报*, 2016, 32(16): 241-247. [LI X, YAN S Q, XIAO C J. Determination of flexible space for land resource spatial optimization under uncertain conditions. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(16): 241-247.]
- [36] 李超, 张凤荣, 宋乃平, 等. 土地利用结构优化的若干问题研究. *地理与地理信息科学*, 2003, 19(2): 52-55, 59. [LI C, ZHANG F R, SONG N P, et al. Discussion on theory and method of optimal regional allocation of land use structure. *Geography and Geo-Information Science*, 2003, 19(2): 52-55, 59.]
- [37] 胡业翠, 赵庚星. 农业可持续发展与土地资源优化配置. *农业现代化研究*, 2002, (2): 102-105. [HU Y C, ZHAO G X. Optimal allocation of land resources on the basis of sustainable development. *Research of Agricultural Modernization*, 2002, (2): 102-105.]
- [38] YAO J, ZHANG X, MURRAY A T. Spatial optimization for land-use allocation: Accounting for sustainability concerns. *International Regional Science Review*, 2017, 41(6): 1-22.
- [39] 王飞, 邢世和. 作物种植区划研究进展. *中国农业资源与区划*, 2007, 28(5): 37-40. [WANG F, XING S H. Progress of the research on crop planting regional planning. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2007, 28(5): 37-40.]
- [40] 樊杰. 中国主体功能区划方案. *地理学报*, 2015, 70(2): 186-201. [FAN J. Draft of major function oriented zoning of China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(2): 186-201.]
- [41] LIU D, TANG W, LIU Y, et al. Optimal rural land use allocation in central China: Linking the effect of spatiotemporal patterns and policy interventions. *Applied Geography*, 2017, 86: 165-182.
- [42] LIU Y, YUAN M, HE J, et al. Regional land-use allocation with a spatially explicit genetic algorithm. *Landscape and Ecological Engineering*, 2015, 11: 209-219.
- [43] CHANG Y C, KO T T. An interactive dynamic multi-objective programming model to support better land use planning. *Land Use Policy*, 2014, 36: 13-22.
- [44] LU S, GUAN X, ZHOU M, et al. Land resources allocation strategies in an urban area involving uncertainty: A case study of Suzhou, in the Yangtze River Delta of China. *Environmental Management*, 2014, 53(5): 894-912.
- [45] ZHANG H, ZENG Y, JIN X, et al. Simulating multi-objective land use optimization allocation using Multi-agent system: A case study in Changsha, China. *Ecological Modelling*, 2016, 320: 334-347.
- [46] EOM S, SUZUKI T, LEE M-H. A land-use mix allocation model considering adjacency, intensity, and proximity. *International Journal of Geographical Information Science*, 2020, 34(5): 899-923.
- [47] 张佰林, 钱家乘, 蔡为民. 论农村居民点用地混合利用的研究框架. *自然资源学报*, 2020, 35(2): 2929-2941. [ZHANG B L, QIAN J C, CAI W M. Discussion on mixed use of rural residential land research framework. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(2): 2929-2941.]
- [48] 王向东, 张恒义, 刘卫东, 等. 论土地利用规划分区的科学化. *经济地理*, 2015, 35(1): 7-14. [WANG X D, ZHANG H Y, LIU W D, et al. Scientific of land use planned regionalization. *Economic Geography*, 2015, 35(1): 7-14.]
- [49] 郑红玉, 吴次芳, 沈孝强. 土地混合利用研究评述及框架体系构建. *经济地理*, 2018, 38(3): 157-164. [ZHENG H Y, WU C F, SHEN X Q. Review on the research context of mixed land use and systematic framework construction. *Economic Geography*, 2018, 38(3): 157-164.]
- [50] RAMAN R, ROY U K. Taxonomy of urban mixed land use planning. *Land Use Policy*, 2019, 88: 104102, Doi: 10.1016/j.landusepol.2019.104102.
- [51] JAFARI N, NUSE B L, MOORE C T, et al. Achieving full connectivity of sites in the multiperiod reserve network design problem-ScienceDirect. *Computers & Operations Research*, 2017, 81: 119-127.
- [52] LI W, GOODCHILD M F, CHURCH R. An efficient measure of compactness for two-dimensional shapes and its application in regionalization problems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 2013, 27(5-6): 1227-1250.

- [53] MASOOMI Z, MESGARI M S, HAMRAH M. Allocation of urban land uses by multi-objective particle swarm optimization algorithm. *International Journal of Geographical Information Science Ijgis*, 2013, 27(3-4): 542-566.
- [54] CULLOTTA S, BARBERA G. Mapping traditional cultural landscapes in the Mediterranean area using a combined multidisciplinary approach: Method and application to Mount Etna (Sicily; Italy). *Landscape & Urban Planning*, 2011, 100(1-2): 98-108.
- [55] 马爱慧, 蔡银莺, 张安录. 基于土地优化配置模型的耕地生态补偿框架. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(10): 97-102. [MA A H, CAI Y Y, ZHANG A L. Eco-compensation of cultivated land and accounting framework based on the optimal allocation model of Land. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(10): 97-102.]
- [56] ELALAMY Y, DOYEN L, MOUYSET L. Contribution of the land use allocation model for agroecosystems: The case of Torrecchia Vecchia. *Journal of Environmental Management*, 2019, 252: 109607, Doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109607.
- [57] LIANG X, LI Y, RAN C, et al. Study on the transformed farmland landscape in rural areas of Southwest China: A case study of Chongqing. *Journal of Rural Studies*, 2020, 76: 272-285.
- [58] HANAN N P. Agroforestry in the Sahel. *Nature Geoscience*, 2020, 76: 272-285.
- [59] MBOW C, NOORDWIJK M V, LUEDELING E, et al. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2014, 6(1): 61-67.
- [60] WALDRON A, GARRITY D, MALHI Y, et al. Agroforestry can enhance food security while meeting other sustainable development goals. *Tropical Conservation Science*, 2017, 10: 1-6.
- [61] 李春越, 谢永生, 王益. 生态经济适宜性评价基础上的农户土地资源优化配置初探. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(4): 174-178. [LI C Y, XIE Y S, WANG Y. Optimal allocation of household land resources on the basis of eco-economic suitability evaluation. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(4): 174-178.]
- [62] GREEN R E, CORNELL S J, SCHARLEMANN J P W, et al. Farming and the fate of wild nature. *Science*, 2005, 307(5709): 550-555.
- [63] 冯喆, 许学工, 周建, 等. 基于生态系统服务视角的“土地分离与共享框架”解析. *地理科学进展*, 2016, 35(9): 1100-1108. [FENG Z, XU X G, ZHOU J, et al. Land sparing versus sharing framework from ecosystem service perspective. *Progress in Geography*, 2016, 35(9): 1100-1108.]
- [64] HABEL J C, WEISSER W W, EGGERMONT H, et al. Food security versus biodiversity protection: An example of land-sharing from East Africa. *Biodiversity & Conservation*, 2013, 22(6-7): 1553-1555.
- [65] 胡甜, 吴健生, 彭建, 等. 土地分离与共享框架的研究现状及应用拓展. *地理科学进展*, 2020, 39(5): 880-888. [HU T, WU J S, PENG J, et al. Development and prospect of the land-sparing versus land-sharing framework. *Progress in Geography*, 2020, 39(5): 880-888.]
- [66] DURU M, THEROND O, MARTIN G, et al. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2015, 35(4): 1259-1281.
- [67] POWER A G. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 2010, 365: 2959-2971.
- [68] PHALAN B. What have we learned from the land sparing-sharing model?. *Sustainability*, 2018, 10(6): 1-24.
- [69] NAVARRO L, PEREIRA H. Rewilding abandoned landscapes in Europe. *Ecosystems*, 2012, 15: 900-912.
- [70] KARNER K, CORD A F, HAGEMANN N, et al. Developing stakeholder-driven scenarios on land sharing and land sparing-Insights from five European case studies. *Journal of Environmental Management*, 2019, 241: 488-500.
- [71] LUSKIN M S, LEE J S H, EDWARDS D P, et al. Study context shapes recommendations of land-sparing and sharing: A quantitative review. *Global Food Security*, 2017, 16: 29-35.
- [72] 赵明月, 王仰麟, 胡智超, 等. 面向空心村综合整治的农村土地资源配置探析. *地理科学进展*, 2016, 35(10): 1237-1248. [ZHAO M Y, WANG Y L, HU Z C, et al. Comprehensive consolidation of hollowing village oriented rural land resource allocation. *Progress in Geography*, 2016, 35(10): 1237-1248.]
- [73] 李红波, 张小林. 城乡统筹背景的空间发展: 村落衰退与重构. *改革*, 2012, (1): 148-153. [LI H B, ZHANG X L. Spatial extension in the context of urban and rural development: Village recession and reconstruction. *Reform*, 2012, (1): 148-153.]
- [74] 刘彦随. 科学推进中国农村土地整治战略. *中国土地科学*, 2011, 25(4): 3-8. [LIU Y S. Scientifically promoting the strategy of reclamation and readjustment of rural land in China. *China Land Science*, 2011, 25(4): 3-8.]

- [75] 刘彦随, 朱琳, 李玉恒. 转型期农村土地整治的基础理论与模式探析. 地理科学进展, 2012, 31(6): 777-782. [LIU Y S, ZHU L, LI Y H. The essential theories and models of rural land consolidation in the transitional period of China. Progress in Geography, 2012, 31(6): 777-782.]
- [76] 洪鸿加, 彭晓春, 陈志良, 等. SD-MOP 整合模型在长沙市耕地资源优化配置中的应用. 长江流域资源与环境, 2010, 19(s1): 34-39. [HONG H J, PENG X C, CHEN Z L, et al. Application of SE-MOP integrated model in optimal allocation of arable land in Changsha. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(s1): 34-39.]
- [77] 刘彦随, 杨子生. 我国土地资源学研究新进展及其展望. 自然资源学报, 2008, 23(2): 353-360. [LIU Y S, YANG Z S. New progress and its prospects of land resources sciences research in China. Journal of Natural Resources, 2008, 23(2): 353-360.]
- [78] 李玉恒, 胡智超, 刘彦随. 中国东部沿海地区农地非农化配置效益研究. 地域研究与开发, 2014, 33(2): 130-134. [LI Y H, HU Z C, LIU Y S. Research on economic difference of western region in China at city-level. Areal Research and Development, 2014, 33(2): 130-134.]
- [79] LI H, ZHAO Y, ZHENG F. The framework of an agricultural land-use decision support system based on ecological environmental constraints. Science of the Total Environment, 2020, 717: 137149, Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137149.
- [80] 聂亚玲, 肖炘, 曾玉娇, 等. 农业用地优化决策的食品—能源—水关联评价方法. 科技导报, 2020, 38(11): 78-88. [NIE Y L, XIAO X, ZENG Y J, et al. Towards a food-energy-water nexus metric for agricultural land use optimization and decision. Science & Technology Review, 2020, 38(11): 78-88.]
- [81] JI L, ZHANG B, HUANG G, et al. Multi-stage stochastic fuzzy random programming for food-water-energy nexus management under uncertainties. Resources Conservation & Recycling, 2020, 155: 104665, Doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104665.
- [82] PEI W, GUO X, REN Y, et al. Study on the optimization of staple crops spatial distribution in China under the influence of natural disasters. Journal of Cleaner Production, 2020, 278: 123548, Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123548.
- [83] 陈志刚, 黄贤金. 南京大学土地利用学科发展回顾与展望. 人文地理, 2012, 27(3): 152-155. [CHEN Z G, HUANG X J. Retrospect and prospect of land use discipline in Nanjing University. Human Geography, 2012, 27(3): 152-155.]
- [84] 任美镔. 国土整治与中国地理学. 地理研究, 1983, 2(4): 41-47. [REN M E. Territorial readjustment and geography in China. Geographical Research, 1983, 2(4): 41-47.]
- [85] 包浩生, 彭补拙, 倪绍祥. 国土整治与自然资源研究. 地理学报, 1987, 42(1): 62-68. [BAO H S, PENG B Z, NI S X. Territorial development and management and research on natural resources. Acta Geographica Sinica, 1987, 42(1): 62-68.]
- [86] 倪绍祥. 遥感与土地资源研究. 自然资源, 1987, 9(2): 88-94. [NI S X. Remote sensing and land resources research. Resources Science, 1987, 9(2): 88-94.]
- [87] 张敏, 黄贤金, 张捷, 等. 南京大学人文地理学发展系谱. 人文地理, 2012, 27(3): 147-151. [ZHANG M, HUANG X J, ZHANG J, et al. Development and pedigree of human geography in Nanjing University. Human Geography, 2012, 27(3): 147-151.]
- [88] 张芳怡, 濮励杰, 邢志远, 等. 中国资源地理学发展的现状与趋势. 地理科学进展, 2010, 29(5): 543-548. [ZHANG F Y, PU L J, XING Z Y, et al. Study on status and trends of resources geography in China. Progress in Geography, 2010, 29(5): 543-548.]
- [89] 刘敏, 赵雲泰, 钟太洋. “倒挂型”土地利用总体规划的耕地保护效果评价. 中国土地科学, 2020, 34(3): 84-92. [LIU M, ZHAO Y T, ZHONG T Y. Effect on cultivated land preservation from the "cap lower than existing amount" general land-use plan. China Land Science, 2020, 34(3): 84-92.]
- [90] 杨悉廉, 杨齐祺, 金晓斌, 等. 城乡结合部粮食生产能力变化研究: 以廊坊市为例. 中国农学通报, 2013, 29(14): 56-60. [YANG X L, YANG Q Q, JIN X B, et al. Patial pattern change of grain productive capacity in rural-urban fringe based on the food security: A case of Langfang. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(14): 56-60.]
- [91] 徐国鑫, 金晓斌, 宋佳楠, 等. 耕地集约利用对粮食产量变化影响的定量分析: 以江苏省为例. 地理研究, 2012, 31(9): 1621-1630. [XU G X, JIN X B, SONG J N, et al. The impact of intensive use of agricultural land on grain yields: A case study of Jiang province. Geographical Research, 2012, 31(9): 1621-1630.]
- [92] 赵其国, 杨劲松, 周华. 保障我国“耕地红线”及“粮食安全”十字战略方针. 土壤, 2011, 43(5): 681-687. [ZHAO Q G, YANG J S, ZHOU H. "Ten Words" strategic policy for ensuring red line of farmland and food security in China. Soils, 2011, 43(5): 681-687.]
- [93] JIANG P, LI M, LV J. The causes of farmland landscape structural changes in different geographical environments. Science of the Total Environment, 2019, 685: 667-680.

- [94] 龚媛, 李飞雪, 王丽妍, 等. 耕地空间优化配置研究: 以常州市新北区为例. 水土保持研究, 2016, 23(4): 199-205. [GONG Y, LI F X, WANG L Y, et al. Studies on spatial optimization allocation of cultivated land: Taking Xinbei district, Changzhou city as the example. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(4): 199-205.]
- [95] LIU J, JIN X, XU W, et al. Influential factors and classification of cultivated land fragmentation, and implications for future land consolidation: A case study of Jiangsu province in Eastern China. Land Use Policy, 2019, 88: 104581, Doi: 10.1016/j.landusepol.2019.104185.
- [96] JIANG P, CHEN D, LI M. Farmland landscape fragmentation evolution and its driving mechanism from rural to urban: A case study of Changzhou city. Journal of Rural Studies, 2021, 82: 1-18.
- [97] XU W, JIN X, LIU J, et al. Analysis of influencing factors of cultivated land fragmentation based on hierarchical linear model: A case study of Jiangsu province, China. Land Use Policy, 2020, 101: 105119, Doi: 10.1016/j.landusepol.2020.105119.
- [98] 韩博, 金晓斌, 孙瑞, 等. 土地整治项目区耕地资源优化配置研究. 自然资源学报, 2019, 34(4): 718-731. [HAN B, JIN X B, SUN R, et al. Optimized allocation of cultivated land in land consolidation project area based on multi-objective linear programming. Journal of Natural Resources, 2019, 34(4): 718-731.]
- [99] LIANG X, JIN X, SUN R, et al. A typical phenomenon of cultivated land use in China's economically developed areas: Anti-intensification in Jiangsu province. Land Use Policy, 2021, 102: 105223, Doi: 10.1016/j.landusepol.2020.105223.
- [100] 吕晓, 牛善栋, 黄贤金, 等. 基于内容分析法的中国节约集约用地政策演进分析. 中国土地科学, 2015, 29(9): 11-18, 26. [LYU X, NIU S D, HUANG X J, et al. Policy evolution of economical and intensive use of land in China based on content analysis method. China Land Sciences, 2015, 29(9): 11-18, 26.]
- [101] LIN J, JIN X, REN J, et al. Rapid mapping of large-scale greenhouse based on integrated learning algorithm and Google Earth Engine. Remote Sensing, 2021, 13: 1245.
- [102] 闫梦露, 王柏源, 赵小凤, 等. 新型职业农民对城市郊区耕地利用“大棚化”转型的影响: 以南京市为例. 地理科学进展, 2019, 38(9): 1294-1304. [YAN M L, WANG B Y, ZHAO X F, et al. Influence of commercialized production-oriented "new professional farmers" on the plastic tunnels transition: A case study in Nanjing city. Progress in Geography, 2019, 38(9): 1294-1304.]
- [103] 漆信贤, 张志宏, 黄贤金. 面向新时代的耕地保护矛盾与创新应对. 中国土地科学, 2018, 32(8): 9-15. [QI X X, ZHANG Z H, HUANG X J. The contradiction of cultivated land protection in the new era and its innovative countermeasures. China Land Science, 2018, 32(8): 9-15.]
- [104] 张琳, 陈逸, 张群, 等. 基于基尼系数的耕地保有量分配优化模型. 经济地理, 2012, 32(6): 132-137. [ZHANG L, CHEN Y, ZHANG Q, et al. Optimization model for cultivated land allocations based on the gini coefficient. Economic Geography, 2012, 32(6): 132-137.]
- [105] 吴飞, 濮励杰, 许艳, 等. 耕地入选基本农田评价与决策. 农业工程学报, 2009, 25(12): 270-277. [WU F, PU L J, XU Y, et al. Evaluation and decision-making for selecting cultivated land into prime farmland. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 270-277.]
- [106] 郭贝贝, 金晓斌, 杨绪红, 等. 基于农业自然风险综合评价的高标准基本农田建设区划定方法研究. 自然资源学报, 2014, 29(3): 377-386. [GUO B B, JIN X B, YANG X H, et al. Study on zoning approach for well-facilitated capital farmland: Based on a comprehensive assessment of agricultural natural disaster risk. Journal of Natural Resources, 2014, 29(3): 377-386.]
- [107] 张鸿辉, 刘友兆, 曾永年, 等. 耕地质量预警系统设计与实证. 农业工程学报, 2008, 24(8): 74-79. [ZHANG H H, LIU Y Z, ZENG Y N, et al. Design and empirical research of cultivated land quality early-warning system. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 74-79.]
- [108] 曹伟, 周生路, 吴绍华, 等. 城乡统筹中的土地利用研究进展. 中国农业资源与区划, 2013, 34(5): 8-15. [CAO W, ZHOU S L, WU S H, et al. Research progress on land use in urban-rural integration. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2013, 34(5): 8-15.]
- [109] LIU J, JIN X, XU W, et al. A new framework of land use efficiency for the coordination among food, economy and ecology in regional development. Science of the Total Environment, 2019, 710: 135670, Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135670.
- [110] HONG W, LI F, LI M, et al. Toward a sustainable utilization of land resources in China: Problems, policies, and practices. Ambio, 2014, 43: 825-835.
- [111] LIANG X, JIN X, REN J, et al. A research framework of land use transition in Suzhou city coupled with land use structure and landscape multifunctionality. Science of the Total Environment, 2020, 737: 139932.

- [112] 杨绪红, 吴晓莉, 范洲, 等. 规划引导下利津县村庄分类与整治策略. 农业机械学报, 2020, 51(5): 232-241, 323. [YANG X H, WU X L, FAN Y, et al. Zoning and consolidation strategy of rural residential areas guiding by planning regulation in Lijin county. Transactions of the CSAM, 2020, 51(5): 232-241, 323.]
- [113] 张侠, 王嘉陵, 彭补拙. 城市边缘区土地利用动态规划管理系统. 长江流域资源与环境, 2002, 11(4): 332-337. [ZHANG X, WANG J L, PENG B Z. Research on the system of land-use dynamic planning and management in urban fringe. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2002, 11(4): 332-337.]
- [114] 项晓敏, 金晓斌, 王温鑫, 等. 供给侧结构性改革视角下的土地整治制度创新初探. 中国土地科学, 2017, 31(4): 12-21. [XIANG X M, JIN X B, WANG W X, et al. Institutional innovations of land consolidation from the perspective of supply-side structural reform. China Land Sciences, 2017, 31(4): 12-21.]
- [115] 丁宁, 金晓斌, 胡静, 等. 高速铁路大临设施制梁场复垦方案优化设计. 农业工程学报, 2011, 27(4): 301-309, 402. [DING N, JIN X B, HU J, et al. Reclamation optimal design of high-speed railway temporary facilities prefabrication yard construction land. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 301-309, 402.]
- [116] 杨绪红, 金晓斌, 郭贝贝, 等. 基本农田调整划定方案合理性评价研究: 以广东省龙门县为例. 自然资源学报, 2014, 29(2): 265-274. [YANG X H, JIN X B, GUO B B, et al. Study on the rationality of basic farmland adjustment scheme: A case study of Longmen county in Guangdong province. Journal of Natural Resources, 2014, 29(2): 265-274.]
- [117] 陈艳华, 黄贤金, 林依标. 丘陵山区耕作层剥离再利用空间配置方法. 农业工程学报, 2015, 31(22): 267-275. [CHEN Y H, HUANG X J, LIN Y B. Spatial configuration method about plow layer stripping and reusing in hilly region. Transactions of the CSAE, 2015, 31(22): 267-275.]
- [118] ZHOU Y, HUANG X, ZHONG T, et al. Can annual land use plan control and regulate construction land growth in China?. Land Use Policy, 2020, 99: 105026.
- [119] 王万茂. 土地用途管制的实施及其效益的理性分析. 中国土地科学, 1999, 13(3): 10-13. [WANG W M. The implementation of land use control and the rational analysis of its benefits. China Land Science, 1999, 13(3): 10-13.]
- [120] 赵小凤, 黄贤金, 肖飞. 中国城市土地储备研究进展及展望. 资源科学, 2008, 30(30): 1715-1722. [ZHAO X F, HUANG X J, XIAO F. Review of research on urban land reserves in China. Resources Science, 2008, 30(30): 1715-1722.]
- [121] 陈宇琼, 钟太洋. 土地审批制度改革对建设占用耕地的影响: 基于1995—2013年省级面板数据的实证研究. 资源科学, 2016, 38(9): 1692-1701. [CHEN Y Q, ZHONG T Y. The impact of land examination and approval system reform on cultivated land occupation by construction according to provincial level panel data in China from 1995 to 2013. Resources Science, 2016, 38(9): 1692-1701.]
- [122] 张笑寒, 黄贤金. 论农地制度创新与农业劳动力转移. 中国人口·资源与环境, 2003, 13(5): 46-50. [ZHANG X H, HUANG X J. Study on the reform of rural land system and the transfer of rural labor force. China Population, Resources and Environment, 2003, 13(5): 46-50.]
- [123] 邢元志, 彭补拙, 吴素兰. 我国土地储备制度研究: 以南通市为例. 经济地理, 2001, 21(3): 341-345. [XING Y Z, PENG B Z, WU S L. Study on land deposit system in China: A case study in Nantong. Economic Geography, 2001, 21(3): 341-345.]
- [124] 赵云泰, 黄贤金, 钟太洋, 等. 土地督察制度实施对耕地占补数量平衡效果评估. 农业工程学报, 2012, 28(s1): 1-7. [ZHAO Y T, HUANG X J, ZHONG T Y, et al. Effects of land supervision on cultivated land requisition-compensation balance in China. Transactions of the CSAE, 2012, 28(s1): 1-7.]
- [125] 汤其琪, 黄贤金. 土地督察信息公开的风险影响评价: 以专项督察制度为例. 中国土地科学, 2015, 29(2): 38-45. [TANG Q Q, HUANG X J. Risks of the transparency of land supervision information: Taking land special supervision as an example. China Land Sciences, 2015, 29(2): 38-45.]
- [126] 马育军, 黄贤金, 许妙苗. 上海市郊区农业土地流转类型与土地利用变化响应差异性研究. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(5): 117-121. [MA U J, HUANG X J, XU M M. Differences study on type of farmland market and response of land use change in the suburbs of Shanghai. China Population, Resources and Environment, 2006, 16(5): 117-121.]
- [127] HUANG X, LI H, ZHANG X, et al. Land use policy as an instrument of rural resilience: The case of land withdrawal mechanism for rural homesteads in China. Ecological Indicators, 2018, 87: 47-55.
- [128] 何为, 黄贤金, 陈志刚, 等. 1990—2010年间中国城镇化进程中农民土地权益损失估算. 土地经济研究, 2014, (1): 137-159. [HE W, HUANG X J, CHEN Z G, et al. Estimating the loss of farmers land income owing to land expropriation during 1990 to 2010 of urbanization in China. Journal of Land Economics, 2014, (1): 137-159.]

- [129] 黎贻肆, 周寅康, 彭补拙. 城市土地资源市场配置的缺陷与税收调节. 中国土地科学, 2000, 14(5): 21-24. [LI P S, ZHOU Y K, PENG B Z. The defects and tax adjustment on market allocation of urban land resources. China Land Science, 2000, 14(5): 21-24.]
- [130] 金晓斌, 丁宁, 张志宏, 等. 中国土地整治资金在省际间分配及土地整治效果. 农业工程学报, 2012, 28(16): 1-9. [JIN X B, DING N, ZHANG Z H, et al. Inter-provincial allocation of land consolidation fund and effects of land consolidation in China. Transactions of the CSAE, 2012, 28(16): 1-9.]
- [131] 匡文慧. 新时代国土空间格局变化和美丽愿景规划实施的若干问题探讨. 资源科学, 2019, 41(1): 23-32. [KUANG W H. Issues regarding spatial pattern change of national land space and its overall implementation on beautiful vision in New Era. Resources Science, 2019, 41(1): 23-32.]
- [132] GAO L, BRYAN B A. Finding pathways to national-scale land-sector sustainability. Nature, 2017, 544(7649): 217-222.
- [133] STEFFEN W, RICHARDSON K, ROCKSTRÖM J, et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science, 2015, 347(6223): 736-746.
- [134] SETO K C, GÜNERALP B, HUTYRA L R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. PNAS, 2012, 109(40): 16083-16088.
- [135] PRETTY J, BENTON T G, BHARUCHA Z P, et al. Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. Nature Sustainability, 2018, 1(8): 441-446.
- [136] 成升魁, 李云云, 刘晓洁, 等. 关于新时代我国粮食安全观的思考. 自然资源学报, 2018, 33(6): 911-926. [CHENG S K, LI Y Y, LIU X J, et al. Thoughts on food security in China in the new period. Journal of Natural Resources, 2018, 33(6): 911-926.]
- [137] 牛善栋, 方斌. 中国耕地保护制度 70 年: 历史嬗变、现实探源及路径优化. 中国土地科学, 2019, 33(10): 1-12. [NIU S D, FANG B. Cultivated land protection system in China from 1949 to 2019: Historical evolution, realistic origin exploration and path optimization. China Land Science, 2019, 33(10): 1-12.]
- [138] 濮励杰, 黄贤金. 地理学与资源科学研究的交叉与融合. 自然资源学报, 2020, 35(8): 1830-1838. [PU L J, HUANG X J. The interdisciplinary study and integration of disciplines for geography and resources science. Journal of Natural Resources, 2020, 35(8): 1830-1838.]
- [139] 张晓霞, 金晓斌, 杨绪红, 等. 基于文献计量学的 1983—2012 年中国自然资源学发展回顾. 资源科学, 2014, 36(4): 661-669. [ZHANG X X, JIN X B, YANG X H, et al. A bibliometric review of natural resources sciences of China during 1983-2012. Resources Science, 2014, 36(4): 661-669.]
- [140] 马恩朴, 蔡建明, 林静, 等. 2000—2014 年全球粮食安全格局的时空演化及影响因素. 地理学报, 2020, 75(2): 332-347. [MA E P, CAI J M, LIN J, et al. Spatio-temporal evolution of global food security pattern and its influencing factors in 2000-2014. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(2): 332-347.]
- [141] 黄贤金, 卢芹莉. 世界资源地理研究: 中国资源地理学的现状、缺失与机遇. 地理研究, 2016, 35(4): 607-616. [HUANG X J, LU Q L. World resource geography: The present status, deficiency and opportunity of China's resource geography. Geographical Research, 2016, 35(4): 607-616.]
- [142] 梁长青, 周寅康, 彭补拙. 全球环境变化与中国土地可持续利用. 中国人口·资源与环境, 1998, 8(3): 71-74. [LIANG C Q, ZHOU Y K, PENG B Z. Global change and land sustainable utilization in China. China Population, Resources and Environment, 1998, 8(3): 71-74.]
- [143] 李裕瑞, 刘彦随, 龙花楼, 等. 大城市郊区村域转型发展的资源环境效应与优化调控研究: 以北京市顺义区北村为例. 地理学报, 2013, 68(6): 825-838. [LI Y R, LIU Y S, LONG H L, et al. Village transformation development, resources and environment effects and their optimal regulation in the metropolitan suburbs: The case of Beicun in Shunyi district, Beijing. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(6): 825-838.]
- [144] 刘彦随, 冯巍仑, 李裕瑞. 现代农业地理工程与农业高质量发展: 以黄土丘陵沟壑区为例. 地理学报, 2020, 75(10): 2029-2046. [LIU Y S, FENG W L, LI Y R. Modern agricultural geographical engineering and agricultural high-quality development: Case study of loess hilly and gully region. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(10): 2029-2046.]
- [145] WATERS C N, ZALASIEWICZ J, SUMMERHAYES C, et al. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. Science, 2016, 6269(351): 137-147.
- [146] 史培军, 宋长青, 程昌秀. 地理协同论: 从理解“人—地关系”到设计“人—地协同”. 地理学报, 2019, 74(1): 3-15. [SHI P J, SONG C Q, CHENG C X. Geographical synergetics: From understanding human-environment relationship to

designing human-environment synergy. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(1): 3-15.]

- [147] 胡甜, 鞠正山, 周伟. 中国粮食供需的区域格局研究. *地理学报*, 2016, 71(8): 1372-1383. [HU T, JU Z S, ZHOU W. Regional pattern of grain supply and demand in China. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(8): 1372-1383.]

Optimal allocation of land resources and its key issues from a perspective of food security

LIANG Xin-yuan^{1,2}, JIN Xiao-bin^{1,2,3}, SUN Rui¹, ZHANG Xiao-lin¹,
LI Han-bing¹, ZHOU Yin-kang^{1,2,3}

(1. School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 2. Key Laboratory of Coastal Zone Exploitation and Protection, Ministry of Natural Resources, Nanjing 210023, China; 3. Jiangsu Land Development and Consolidation Technology Engineering Center, Nanjing 210023, China)

Abstract: The optimal allocation of land resources is an important means to improve land use efficiency, alleviate land use conflicts, and promote harmonious man-land development. Current research on the optimal allocation of land resources in China has made great progress in theoretical exploration and practical applications. However, in the face of rapid land use changes, inefficient land management, and ecosystem degradation, the traditional optimal allocation way based on "quantity-spatial coupling" has been unable to meet the current needs in pursuit of a better life and sustainable development goals. Meanwhile, global food security is facing a series of severe challenges. The optimal allocation of land resources will directly affect and act on the coordination process between food production and economic development conflicts. Since the reform and opening up in the late 1970s, to serve the national strategic needs and key areas development (Yangtze River Delta and coastal areas), Nanjing University has carried out much research and practice around land resources optimization, so as to achieve the goal of ensuring resource security and food security. Researchers have focused on farmland pattern optimization, farmland intensification transition, farmland protection and planning, land use and urban-rural planning, land consolidation and agricultural land management, land use system innovation, land economic policy optimization and other characteristic research fields. Research directions take advantages of interdisciplinary development of geography and management, and have made contributions to disciplinary development and institutional innovations in the optimization and sustainable use of national land resources. In brief, this paper summarizes the key issues on China's land resource allocation by systematically combing the research progress related to the optimization allocation of land resources. Furthermore, on the basis of reviewing the academic contributions of Nanjing University, the opportunities and challenges faced by the optimal allocation of land and resources in China from the perspective of food security are summarized. The research can provide references for sustainable land use optimization.

Keywords: food security; land resources; optimal allocation; research progress; Nanjing University