

耕地利用绿色转型的内涵、进展与展望

吕立刚^{1,2}, 逯玲君^{1,2}, 龙花楼^{3*}, 周兵兵⁴, 臧玉珠⁵

(1. 南京财经大学公共管理学院, 南京 210023; 2. 自然资源部长三角国土生态与土地利用野外科学观测研究站, 南京 210017;
3. 广西大学公共管理学院, 南宁 530004; 4. 中国海洋大学国际事务与公共管理学院, 青岛 266100;
5. 中国地质大学(武汉)公共管理学院, 武汉 430074)

摘要: 在全球人口增长和气候变化等多重压力叠加的背景下, 耕地资源系统正面临粮食安全与生态安全的双重挑战。作为全球人口和农业大国, 中国推进耕地利用绿色转型不仅关乎碳达峰与碳中和战略目标的实现, 更是构建新型人地关系、保障农业可持续发展的关键命题。该研究梳理耕地利用绿色转型的内涵认知和研究进展, 并展望未来研究趋势。研究发现, 现有研究对耕地利用绿色转型的理论内涵尚不明确, 转型表征方法与时空格局研究局限性较大, 影响因素与驱动机制的识别缺乏综合分析框架, 转型的多维效应与治理对策探索仍处于初步阶段, 尚未形成系统的量化评估体系。基于此, 未来研究亟需跨学科理论融合, 结合遥感监测、大数据挖掘与人工智能技术, 构建“多尺度-多维度”动态表征体系; 深化系统动力学模型与空间计量方法在驱动机制研究中的应用; 探索“生态-经济-社会”综合效应评估框架, 并加强政策工具的量化模拟与区域适配性分析。该研究可为耕地利用绿色转型的理论体系完善与实践路径优化提供科学支撑, 也为农业高质量发展与国土空间治理政策创新提供决策依据。

关键词: 土地利用转型; 耕地; 绿色转型; 驱动机制; 政策优化

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202503141

中图分类号: F323.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2025)-15-0001-12

吕立刚, 逯玲君, 龙花楼, 等. 耕地利用绿色转型的内涵、进展与展望[J]. 农业工程学报, 2025, 41(15): 1-12. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202503141 <http://www.tcsae.org>

LYU Ligang, LU Lingjun, LONG Hualou, et al. Conceptual connotation, research progress and prospect of green transition of farmland use[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2025, 41(15): 1-12. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202503141 <http://www.tcsae.org>

0 引言

作为全球人口与农业大国, 中国实现农业绿色发展不仅是保障粮食安全的必要条件, 更是保护生态环境的必然选择。随着碳达峰与碳中和(“双碳”目标)被纳入国家战略规划, 农业作为重要的温室气体排放源和碳汇系统, 其绿色低碳转型不仅是实现“双碳”目标的关键路径, 更是推动农业可持续发展的重要战略举措^[1]。耕地作为农业生产的核心物质基础与生态安全的关键屏障^[2], 其利用方式的绿色转型直接关系到国家粮食安全、生态环境质量和农业可持续发展^[3-4]。在气候变化加剧与资源环境约束趋紧的背景下, 耕地利用的绿色转型超越了单一的农业生产效率提升范畴, 其核心在于保障粮食安全的前提下, 通过系统优化耕地资源配置、革新农业生产技术与管理模式, 协同实现资源高效利用、生态环境保护和社会经济效益提升的多元目标^[5-7]。为了推进农业绿色发展和耕地利用绿色转型, 中国政府相继出台了

一系列政策和措施。例如, 2021年发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》明确提出, 要推进农业绿色转型, 深入实施农药化肥减量行动, 治理农膜污染并提升其回收利用率。2024年发布的《中共中央 国务院关于进一步推动经济社会发展全面绿色转型的意见》进一步强调, 要推动经济社会发展向绿色化、低碳化转型, 促进农业农村绿色发展, 严格落实最严格的耕地保护制度和土地节约集约利用制度。上述政策文件表明, 在经济社会全面绿色转型的背景下, 必须以实现耕地资源的节约高效利用为核心目标, 通过减少化肥和农药使用、提升耕地生产效率与生态质量, 确保耕地的可持续利用和农业的可持续发展。因此, 深入开展耕地利用绿色转型研究, 具有重要的理论价值与实践意义。在理论层面, 系统解析耕地利用绿色转型的理论内涵、演变过程与驱动机制, 有助于深化对土地利用系统可持续性转型规律的认识, 丰富和发展土地科学、农业经济学及环境管理学的交叉理论体系, 为构建具有中国特色的农业绿色发展理论提供重要支撑。在实践层面, 探索耕地利用转型的多维效应与实现路径, 可直接服务于国家粮食安全与重要农产品供给保障的核心需求, 是筑牢国家生态安全屏障、应对气候变化的战略举措, 对落实“藏粮于地、藏粮于技”战略、促进农业农村现代化、实现“双碳”目标具有不可替代的支撑作用。

近年来, 耕地利用绿色转型作为推动农业绿色发展的关键议题, 已成为全球农业可持续性、土地利用变化及环境政策研究的热点。现有研究主要集中在耕地绿色

收稿日期: 2025-03-19 修订日期: 2025-06-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(42271271, 42301131, 42201282); 自然资源部长三角国土生态与土地利用野外科学观测研究站开放基金项目(2023YRDLELU02)

作者简介: 吕立刚, 博士, 副教授, 研究方向为耕地资源保护与土地利用转型。Email: liganglv@nufe.edu.cn

*通信作者: 龙花楼, 博士, 教授, 博士生导师。研究方向为城乡发展与土地利用转型。Email: longhl@gxu.edu.cn

利用转型的理论内涵界定^[8]、测度方法与框架构建^[9]、时空演变特征与格局^[10]、关键影响因素识别与转型路径设计^[11-12]等方面；以及耕地绿色转型与城乡融合^[13]、粮食全要素生产率^[14]的耦合效应。以上成果对耕地利用绿色转型理论与实践应用奠定了重要基础。然而，现有研究多关注耕地利用绿色转型的某单一维度，研究内容零散，缺乏全面梳理和深入探讨。鉴于此，本研究运用叙事性文献综述、主题分析和案例研究等方法，在已有耕地利用绿色转型研究的基础上，深化对耕地利用绿色转型的内涵解析，重点从耕地利用绿色转型表征方法与时空格局、影响因素与驱动机制、多维效应与治理对策等方面归纳与综述，旨在明晰当前研究动态与不足，并提出未来研究方向，以期构建更为完善的耕地利用绿色转型研究框架奠定理论基础，并为制定科学、有效的耕地保护与农业绿色发展政策提供依据。

1 耕地利用绿色转型的概念内涵

传统“高投入、高消耗、高污染”耕地利用方式所引发的土壤污染与酸化、农业面源污染、生物多样性受损、资源过度消耗和食品安全风险加剧等问题日益凸显，严重制约了农业可持续发展，亟待推动耕地利用方式向绿色低碳方向转型，以破解资源环境约束，保障粮食安全与生态安全。耕地利用绿色转型是一个涉及自然、社会、经济和生态的复杂系统^[12]，核心目标是通过转变传统耕地利用方式，构建农业生产、生态保护与环境可持

续发展的协同新机制。从理论渊源来看（图1），主要源于“耕地绿色利用”和“耕地利用转型”两个核心理论框架^[6]。

耕地绿色利用理念主要植根于“可持续农业土地利用”（sustainable agricultural land use）和“农业绿色发展”（green development of agriculture）两大理论体系。其中，可持续农业土地利用的理论渊源可追溯至1987年发布的《布伦特兰报告》，其核心是通过科学管理与技术看新，在保障粮食安全的前提下实现土地资源的永续利用，同时最大限度减少农业生产对生态环境的负面影响^[15]；而农业绿色发展则源于2002年联合国开发计划署（The United Nations Development Programme，简称UNDP），其绿色发展理念^[16]强调将资源效率提升、污染控制与生态保护融入农业全产业链，推动农业发展方向集约化、绿色化转型^[17]。两大理论体系在耕地利用领域深度融合，形成以质量提升和生态保护为核心的“耕地绿色利用”理念，强调通过推广绿色种植技术、优化耕地利用结构和加强耕地污染防治等措施，实现耕地资源的高效和持续利用^[18]，为农业绿色发展和可持续发展奠定重要基础。“耕地绿色利用”侧重于描述耕地利用的理想状态或具体实现手段（如采用绿色技术、实施保护性耕作），其关注点在于如何达到或维持“绿色”的结果，对实现这一结果的系统性、动态性转变过程及其驱动机制关注相对不足。

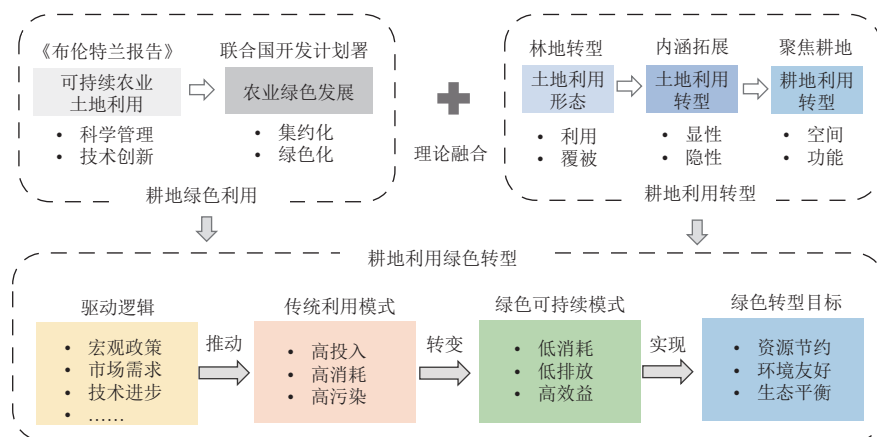


图1 耕地利用绿色转型的相关概念与内涵

Fig.1 A framework for the relevant concepts and connotations of green transition in farmland use

耕地利用转型的概念衍生自“土地利用转型”（land use transition）。1995年，GRAINGER^[19]在MATHER森林转型思想启发下，提出了土地利用转型是经济社会发展过程中一个国家或区域土地利用形态的变化，而形态则是指土地利用与覆被的总体格局的概念，这一概念迅速引起了广泛讨论及实证研究。2001年，龙花楼^[20]将土地利用转型研究引入中国，并进一步拓展了土地利用形态的内涵^[21]，将其分为显性形态（数量、结构及空间布局等）和隐性形态（质量、产权、经营方式、投入、产出等）。宋小青等^[22]将土地利用转型概念聚焦到耕地领域，提出耕地利用转型可从空间形态和功能形态两方面度量。“耕地利用转型”作为一种分析框架，主要用于描述和解释耕地利用形态随时间发生的变化，

而这种变化的方向并不预设为“绿色”或“可持续”，本质上是一个价值中性的过程描述概念。

在此基础上，部分学者将耕地绿色利用与耕地利用转型相融合^[9,23]，提出了耕地利用绿色转型的概念。相比于“耕地绿色利用”（侧重静态目标或实现手段）和“耕地利用转型”（侧重中性描述形态变化过程），耕地利用绿色转型则更强调转型过程的动态性与方向性，聚焦于从非绿色状态向绿色状态转变的复杂过程、动力机制、路径依赖、阶段特征以及显著的空间分异性。综合国内外相关研究来看，耕地利用绿色转型是指以资源节约、环境友好和生态平衡为目标，在宏观政策引导、市场需求驱动和技术进步支撑下，通过优化耕地的显性形态（数量、空间结构等）和隐性形态（质量、投入产出及

功能等），推动耕地利用模式从“高投入、高消耗、高污染”向“低消耗、低排放、高效益”的绿色可持续模式转变的动态演进过程。其内涵主要包含两个核心维度^[6,9]：第一，绿色。通过技术替代（如精准农业）、资源优化（如化肥减量）与生产方式创新（如循环农业），突破传统“三高”模式的路径依赖，实现资源-环境-生态的协同增效。第二，转型。不仅包括耕地利用方式与空间结构的调整，更强调耕地利用功能的根本性变革，即从单一生产功能向“生产-生态”复合功能转型。需要注意的是，耕地利用绿色转型具有鲜明的政策导向性与实践操作性，其理论内涵将随技术进步与生态需求升级持续演进，最终形成融合了目标导向（绿色）、动态过程（转型）与系统变革（功能复合化）的系统化农业发展范式。

2 耕地利用绿色转型的相关研究进展

2.1 耕地利用绿色转型的表征方法与时空格局

准确测度耕地利用绿色转型的现状与趋势，是深刻理解其驱动机制和优化路径的基础。耕地利用绿色转型本质上是经济、社会、生态、资源环境等多维度协调发展的动态过程。然而，直接测度这一复杂“转型”本身存在困难，通常需要通过构建评价体系来系统表征特定时空点上的耕地利用“绿色状态”，进而通过时空格局的对比分析（如区域差异、时序变化）来推断转型的方向、速度和程度。对于如何度量耕地利用绿色状态，学界已发展出多种表征视角，大致可归纳为以下 4 类（表 1）。1）基于投入-产出效率视角。其核心在于构建耕地利用生态效率、绿色效率或绿色低碳利用效率等指标^[24]。尽管指标名称可能各异，但其测度逻辑基本一致，即在传统投入产出框架（包括期望产出与非期望产出）基础上^[25-27]，引入生态效益（如碳吸收）作为期望产出，纳入环境压力（如碳排放、面源污染）作为非期望产出^[28-29]，通过量化投入与期望/非期望产出的关系^[30-33]，评估耕地资源利用的绿色经济绩效，侧重于转型的经济-环境协调效率维度。2）基于显性-隐性形态转型视角。借鉴土地利用

转型的理论思想，认为耕地利用绿色转型表现为空间形态（如数量、结构、分布）、功能形态（如生产、生态、生活功能）及利用模式（如技术模式、经营模式）的综合变化^[9,11,13-14]。该视角通过构建涵盖空间、功能、模式等多维度的指标体系，侧重刻画耕地利用绿色转型过程中各类“形态”的显性（可直接观测）与隐性（内在属性）特征及其演变，例如关注空间配置优化、功能协调性提升或模式向资源节约环境友好转变。3）基于社会-生态系统（social-ecological system, SES）属性视角。将耕地视为复杂的社会-生态系统^[17,34]，从适应性、活力与抗逆性等系统属性角度构建评价框架。其中，适应性指耕地对外部环境变化的调整能力；活力指其经济产出与社会支持能力；抵抗力则指应对自然灾害与生态退化的稳定性。该视角侧重评估耕地系统维持其可持续性和应对外部冲击的内在能力与韧性。4）基于资源要素联动视角。立足于“水-能源-粮食纽带关系（WEF-Nexus）”系统理论^[35]，强调耕地利用系统中关键资源要素的相互依赖与协同管理^[36-37]。该视角通过构建反映资源要素利用效率、相互影响及可持续性的指标体系（如单位耕地耗水量、土壤有机质含量、粮食产出效率、农田碳排放强度等），侧重解析耕地资源要素间耦合关系对绿色转型的约束与推动作用，关注系统内部的资源流动与协同优化。总体而言，上述不同表征视角为刻画耕地利用绿色状态提供了多元化的理论基础和分析框架，共同服务于对耕地利用绿色转型时空格局的解析；不同视角的表征方法有优势，也有其局限性（表 1）。然而，现有耕地利用绿色转型表征的研究多侧重于经济效率，仅有部分研究纳入了生态指标，未充分体现耕地利用绿色转型在保障民生福祉、维护生态环境和传承农耕文化等方面的特征。部分测度体系构建过于复杂，数据获取和计算难度大，限制了定量评价的精准度和推广性。后续研究亟需探索构建统一的数据采集与处理标准，优化改进现有表征体系，以提高不同区域间的可比性，提升耕地利用绿色转型表征的科学性和普适性。

表 1 不同耕地利用绿色转型表征视角比较
Table 1 Comparison of characterization perspectives for the green transition of farmland use

表征视角 Characterization perspective	表征思想 Characterization concept	优劣势 Advantages and disadvantages	代表性文献 Representative literature
投入-产出效率 Input-output efficiency	在传统投入产出模型（包括期望产出与非期望产出）基础上，引入能够表征生态、环境或绿色发展的指标，表征耕地利用的绿色效率或程度，试图强调经济效益与生态效益的综合平衡	优势：较为直观地量化了耕地利用的绿色水平，契合农业绿色绩效评估需求，适用于不同区域或时间截面比较 劣势：部分生态或环境指标可能被简化为单一数值，忽略耕地系统的复杂性（如生物多样性、生态服务功能）。较少纳入社会公平、农户生计等社会可持续性指标	HAN 等 ^[25] 、谢花林等 ^[26] 、CHEN ^[27] 、吴诗嫚等 ^[28] 、吕添贵等 ^[29]
显性-隐性形态转型 Dominant - recessive morphological transition	借鉴了土地利用转型测度框架，基于耕地利用的显性与隐性形态，从空间转型、功能转型及模式转型等方面构建评估指标体系	优势：全面反映耕地系统的结构性变化，适用于长期监测耕地利用转型的动态 劣势：功能转型与模式转型的指标选择易受研究者偏好影响；部分指标需依赖问卷调查或访谈，成本较高；且存在难以直接量化，降低了结果的可比性	柯善淦等 ^[9] 、高佳等 ^[11] 、柯新利等 ^[13] 、卢新海等 ^[14]
社会-生态系统属性 Social-ecological system (SES) attributes	将耕地视为复杂的社会-生态系统，从适应性（Adaptability）、活力（Vitality）与抗逆性（Resistance）等维度开展测度	优势：将经济、生态和社会纳入统一框架，解构了耕地系统内部构成之间的固有联系，避免了单一维度评价的片面性。在关注耕地利用现状的同时，重视耕地系统应对未来扰动的能力 劣势：适应性、活力、抗逆性三者概念边界模糊，且存在交叉；需整合自然灾害、经济波动等多源异构数据，对数据连续性要求高	NIU 等 ^[17] 、FU 等 ^[34]
资源要素联动 Nexus coupling of resource elements	基于耕地利用系统的生命周期，在水-能源-粮食纽带（WEF-Nexus）关系理论基础上，融合了碳排放，从资源要素联动耦合的角度构建评价框架	优势：覆盖耕地生产、流通和消费全链条，紧密结合联合国设定的可持续发展目标，便于国际比较 劣势：水、能源、碳等数据的时空尺度缺乏相应的统计数据，指标系统过于复杂，阻碍了定量评估的实现	CHEN 等 ^[36] 、NIU 等 ^[37]

为深入理解耕地利用绿色转型的动态过程及其空间异质性，学者们运用前述表征方法，对耕地利用绿色转

型的时空格局与区域差异进行了实证分析。从研究的对象来看,涉及全国^[8,27,33,38-40]、长江流域^[41-43]、黄河流域^[23,32,44]、东北粮食主产区^[11]、西南喀斯特地区^[5]以及部分省^[9,14]和市等^[45]。在研究方法上,学者们多采用空间自相关和探索性空间数据分析(exploratory spatial data analysis, ESDA)来揭示全局和局部的空间聚类特征^[5]。核密度估计被用于分析耕地利用绿色转型的动态分布特征^[32],趋势面分析则用于揭示其空间变化趋势和发展规律^[29]。标准差椭圆和泰尔指数也被广泛应用^[17],主要用于刻画研究对象的时空分布、演化特征及区域间的差异。从实证结果所呈现的趋势和规律来看,中国耕地利用绿色转型水平总体处于中等偏低水平^[27,33],但呈现出波动上升的趋势,不同区域的转型速度和效果存在显著差异。例如,中部地区水平较高,东北和东部地区居中,西部地区相对较低^[8]。也有研究指出^[33],东北地区最高,其次是西南地区、东部地区和西北地区,而中部地区最低。研究结果的差异可能是由于所选用的评价体系及其数据来源不同所致。耕地利用绿色转型水平具有明显的正向空间相关性,并且随着时间的推移,聚类特征变得更加显著。高值区域能够带动周边地区效率的提升,形成高值集聚区^[5]。低山丘陵和平原地区由于地势平坦、水源充足、耕地资源集中连片,且机械化水平和农业基础设施条件较好,其耕地利用绿色转型水平较高;而山区由于耕地破碎化严重,转型水平相对较低^[9]。总体而言,开展区域耕地利用绿色转型时空格局的案例研究仍显不足,

多数研究的时间尺度集中在某单一的时间截面,缺少长时间序列的分析以及对转型过程中突变点的识别,难以全面反映区域转型态势、特征及其演化规律。此外,现有研究多侧重于宏观行政区尺度及大流域尺度,较少开展市、县、乡镇、村域及不同地貌类型区域的实证研究,这可能与宏观尺度研究数据获取更为容易有关。

2.2 耕地利用绿色转型的影响因素与驱动机制

揭示耕地利用绿色转型的关键影响因素及其作用机制是制定精准治理对策的基础。目前直接关于耕地利用绿色转型影响因素的研究较为有限,因此,本文还借鉴了耕地利用效率、土地绿色利用及土地利用转型等相关领域的部分研究成果^[46-48],较为系统地梳理耕地利用绿色转型的影响因素及其作用机制。相关研究表明^[23],从系统边界和主体能动性视角出发,耕地利用绿色转型的影响因素可归纳为外部因素和内部因素两大类(图2)。其中,外部因素是指耕地利用主体决策和行动所依赖或受其约束的环境条件,主要包括自然条件(如地形和降水等)、社会经济条件(如城镇化水平、人口规模、经济发展水平和市场需求等)、技术条件(如农业科技发展和绿色技术应用等)以及政策环境等;内部因素则是直接参与耕地经营决策和管理的多元行为主体及其特征,行为主体主要涉及个体农户、专业大户、家庭农场、农业合作社以及农业企业等。外部和内部因素对耕地利用绿色水平的作用机制呈现出显著的区域差异性和空间分异效应^[49]。

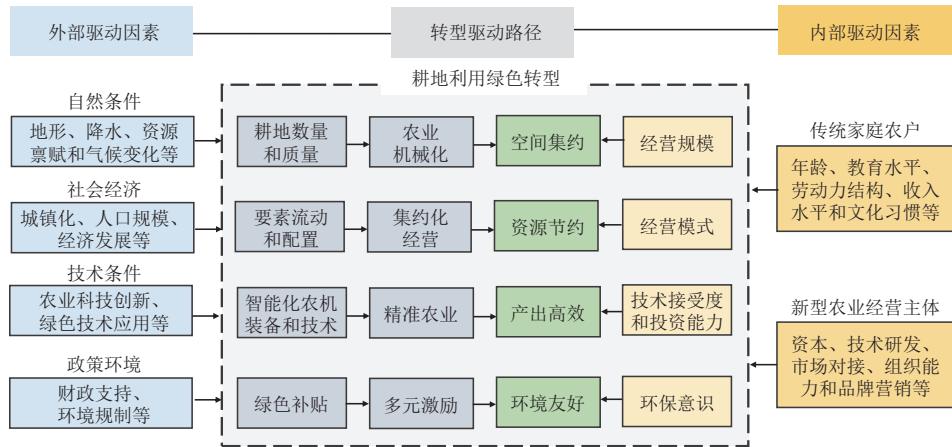


图2 耕地利用绿色转型的影响因素与驱动机制

Fig.2 Influencing factors and mechanisms of green transition of farmland use

区域地形和降水等自然条件通过影响耕地资源数量、质量和空间格局,决定了耕地利用绿色转型的潜力空间。其中,高程和坡度的空间分异直接作用耕地立地环境的温度、湿度等气候条件^[50],进而影响农作物生长周期和产量^[51-52];与此同时,高程和坡度也是耕地投入产出的重要限制因素,例如在丘陵山区耕地破碎度会随着高程增加而升高,导致耕作难度加大,难以推广机械化生产。此外,高海拔地区普遍存在土壤肥力较低和水土流失严重等问题,限制了耕地利用的绿色水平^[5,53]。自然环境条件综合作用形成的耕地资源的数量和质量差异格局,也影响了耕地绿色利用的效率和经营模式。肥沃的耕地资源凭借其优越的生态承载能力,为农业机械化规模生产

提供了必要条件,有利于实现耕地利用的规模经济效益和空间集聚效应^[8]。值得关注的是,近年来气候变化对耕地利用的影响日益凸显,直接关系到农业生产的可持续性。特别是极端天气事件(如干旱、暴雨、洪涝、霜冻等)频发,对农业生产系统造成了严重威胁^[54]。

城镇化、人口规模和经济发展水平等社会经济因素共同决定了耕地利用绿色转型的速度与方向。城镇化进程通过改变耕地利用的投入产出组合影响其利用效率,这种影响具有双重性^[41]。一方面,城镇化导致的耕地资源流失可能推动耕地利用方式从粗放型向集约型转变^[55]。实证研究表明^[56],人口城镇化水平与耕地利用绿色转型整体呈现显著正相关,随着农村人口向城镇转移,农业

劳动力减少倒逼先进耕种技术和机械替代传统劳动力，从而改变耕地生产要素的投入结构。同时，耕地经营权流转机会的增加为集约化和规模化经营创造了有利条件；此外，城镇人口集聚区域对绿色农产品需求的增长也形成了倒逼机制，推动了耕地利用绿色转型^[10]。然而，城镇化对耕地利用绿色水平的影响也存在抑制作用。主要表现为高度城镇化地区农业劳动力资源短缺，导致化肥和农药等投入品使用量增加，造成环境污染和碳排放上升，从而降低耕地利用绿色转型水平^[5,41,57]。多数研究证实经济发展水平对耕地利用绿色水平具有正向影响^[23]，因为更高的经济发展水平往往伴随着更先进的农业生产资料投入，有利于提升耕地利用绿色水平^[43]。但值得注意的是，也有研究发现农业经济水平与耕地利用绿色转型呈负向相关，这可能因为高农业经济水平下耕地经营主体对短期利益的追求，导致化肥和农药使用量增加，虽然短期内提高了粮食产量，却带来了严重的环境问题，威胁耕地资源的可持续利用，最终降低绿色转型水平^[8]。

农业科技发展和绿色技术应用可显著推动耕地利用向高效、绿色、智能和可持续的方向转型。耕地利用的绿色转型离不开农业技术的创新，特别是农业生产方式的现代化。例如，精准农业技术和智能化农机装备的应用，可提高耕地利用效率，增加粮食产量，减少资源浪费^[58]。相关研究也表明，农业科技水平与耕地利用绿色转型水平呈现明显的正向关系^[41]，新型农业技术改变了传统农业生产方式，极大地缓解了土地资源和环境承受的压力，促进了农业清洁生产和面源污染控制，实现了农产品生产和生态环境保护的协调发展。也有研究表明，数字乡村建设促进资本、劳动力和先进生产技术等各种生产要素的跨区域流动，可有效提升区域耕地利用绿色转型效率，还在很大程度上产生积极的空间溢出效应^[40,59]。

政策和法规是推动耕地利用绿色转型的重要制度工具，能够为耕地利用绿色转型提供制度保障、资金支持和技术引导^[60]。财政支持作为政府促进耕地可持续管理的关键手段，在推动耕地利用绿色转型中发挥着重要作用^[61-63]。从现有研究成果来看，政府财政支持与耕地利用绿色转型水平的关系较为复杂。建立以绿色生态为导向的农业补贴制度，可支持耕地质量保护和粮食适度规模经营；并通过强化环境规制，增加耕地污染防治的投入，激发农户在耕地利用绿色转型中的内在动力^[10]。然而也有研究表明，政府的过度介入可能会引发非市场化的问题，使得耕地经营者过分依赖政府资助，从而减弱了通过技术进步和产能提升来实现绿色转型的自主动力^[64]。例如，政府加大对农药、化肥、地膜等农资的补贴力度，降低了农资采购成本，导致耕地经营者过量使用农药、化肥等化学品，加剧农业面源污染^[65]。政府的资助也可能限制资金来源的多元化，造成长期资金支持不足，最终可能抑制耕地利用绿色转型的持续推进^[8]。

农户、企业及合作社等经营主体是耕地利用绿色转型的直接实施者，各类经营主体的自身特征、生产模式、资源禀赋及利用能力^[66-67]，直接或间接地作用于耕地利用绿色转型过程（图 2）。相关研究表明，传统家庭农户个体与家庭特征对耕地利用绿色转型的影响主要体现在农户的年龄、受教育程度以及家庭劳动力数量与结构、

家庭收入、土地经营规模以及文化习惯等方面^[68,59]。年轻农户通常更容易接受新技术和新理念，而年长农户可能因习惯传统耕作方式而对转型持保守态度^[69]；教育水平较高的农户则更容易理解和掌握现代农业技术，也更愿意尝试新的生产模式，对绿色环保理念的理解也更深^[27]。部分研究认为，劳动力短缺的家庭可能更加依赖农业机械化；农业收入较高的家庭则更倾向于采用绿色技术（如有机肥料、生物农药）和高效设备；经营耕地规模较大的家庭更加有条件开展机械化、标准化生产^[23]。此外，近年来专业大户、家庭农场、农民专业合作社、农业龙头企业等新型农业经营主体的不断发展，显著扩大了耕地经营规模，提升了专业化与集约化水平^[70]。相较于传统家庭农户，新型农业经营主体通常具备更大的经营规模、更强的资金实力、更广泛市场渠道、更突出的技术获取能力以及对长期可持续性的关注，使其在绿色技术投入和管理模式创新上更具潜力，成为推动绿色生产模式规模化应用的引领者，对耕地利用绿色转型起到正向推动作用。然而也有研究指出，新型农业经营主体高度依赖资本投入，加速了耕地利用从劳动集约型向资本集约型转变，导致化肥、农药、农机械等农业生产要素投入所占比例不断提高，增加了耕地利用过程中碳排放和面源污染等非期望产出^[71]，这在一定程度上可能制约耕地利用绿色转型进程。

从研究方法来看，现有关于耕地利用绿色转型的影响因素及其驱动机制的研究，采用了多元化的定量分析方法。一是基于线性回归模型^[2,5,72]、Logistic 回归模型和 Tobit 模型^[27]等传统计量经济学方法。二是运用空间计量经济模型^[40,43]、地理加权回归模型^[9,72]和地理探测器^[11]等空间计量方法，有效揭示了耕地利用绿色转型影响因素的空间异质性和空间依赖性。三是采用主成分分析^[73]等多维分析方法。尽管现有研究方法已较为丰富，但在深化系统动力学模型与空间计量方法应用，以揭示耕地利用绿色转型过程的动态机制以及预测未来发展趋势等方面仍有待加强。

总体来看，对于耕地利用绿色转型的影响因素与驱动机制的探究较为初步，缺乏多维度、系统性的综合分析框架，难以全面揭示耕地利用绿色转型的复杂机制。耕地利用绿色转型的动态演变特征，决定了其影响因素和驱动机制具有明显的时空异质性。因此，未来研究应在完善驱动机制的综合分析框架的基础上，聚焦平原农区、山地丘陵区、生态脆弱区等不同地理单元丰富案例研究，重点模拟和预测不同政策情景与技术路径下各影响因素的相互作用机制，在深化对影响因素和驱动机制的动态认知同时，也为区域差异化耕地利用政策设计提供依据。

2.3 耕地利用绿色转型的多维效应与治理对策

针对耕地利用转型效应的探索主要集中在耕地利用绿色转型对城乡融合协调发展^[13]、农业经济增长^[6]、粮食全要素生产率^[14]等方面。进一步借鉴土地利用转型^[74-75]、农业绿色发展^[76-77]等相关领域研究来看，耕地利用绿色转型可能在生态环境改善、农业经济可持续发展和乡村社会变迁等方面展现多维效应。第一，耕地利用绿色转型可降低农业面源污染，减少碳排放，从而有效地改善

生态环境。通过化肥、农药、农膜等投入品的减量化,有效控制农业面源污染,改善耕地资源系统的生态环境,确保耕地利用的可持续性。耕地具有碳源-碳汇双重属性^[76],规模化和集约化的耕地绿色利用,能直接降低耕地利用碳排放强度;增强土壤碳固定能力,显著提升农业系统碳汇功能^[78]。推广有机肥、轮作休耕等措施,可提高土壤肥力,减少土地退化。相关研究认为,保护性耕作(包括免耕和少耕)等绿色耕作技术的使用可增强土壤养分和土壤对外部环境变化的抵抗力,有效减少水土流失^[79]。第二,耕地利用绿色转型可提高资源利用效率和作物生产能力,推动区域农业经济可持续发展^[45]。相关研究认为,耕地利用绿色转型通过优化耕地空间格局,增加农业经济收益、改善农业生产条件,有助于实现城乡融合发展^[13]。农业技术进步和革新,在一定时期内可提升农业经济增长质量^[80]。传统农业向环境友好型耕地利用转变,对农业生产效率有显著影响^[6]。此外,消费者对优质安全农产品的市场需求日益旺盛,而耕地土壤质量直接影响农产品的品质^[77],开展耕地利用绿色转型可保护耕地质量,在提高农产品品质的同时,还可增加农民收入,增强农业经济活力。第三,耕地利用绿色转型可优

化乡村就业结构,降低农民健康风险,推动乡村社会发生深刻变化。耕地利用绿色转型改变了传统粗放的农业生产模式,提高了耕地的生产效率和利用强度,通过释放劳动力为进一步推动城镇化创造了条件^[81];与此同时,耕地绿色利用可能会创造新的就业机会,吸纳具有农业新技术的青年返乡创业^[82],进而增加乡村内生发展动力,推动乡村振兴。推行有机肥替代化肥、生物防治替代化学农药等环境友好的耕作方式,可缓解农业资源过度消耗,降低乡村土壤和水源污染风险;也可减少农民接触有害化学品的风险,降低职业病发病率,为农民创造更加宜居和宜业的乡村空间。总体来看,耕地利用绿色转型效应现有成果多聚焦单个效应的测度,尚未形成耕地利用绿色转型的生态-经济-社会多元复合效应的系统量化框架。对耕地利用绿色转型过程中多维效应交互机理鲜少涉及,致使理论成果与实践决策需求存在差距。

耕地利用绿色转型的有效推进,既依赖于政策实践的不断深化,也需要科学研究的持续支撑。梳理现有政策实践来看,政府治理政策演变经历了从理念倡导到系统治理、再到高质量发展的渐进过程(图3),呈现出明显的阶段性。

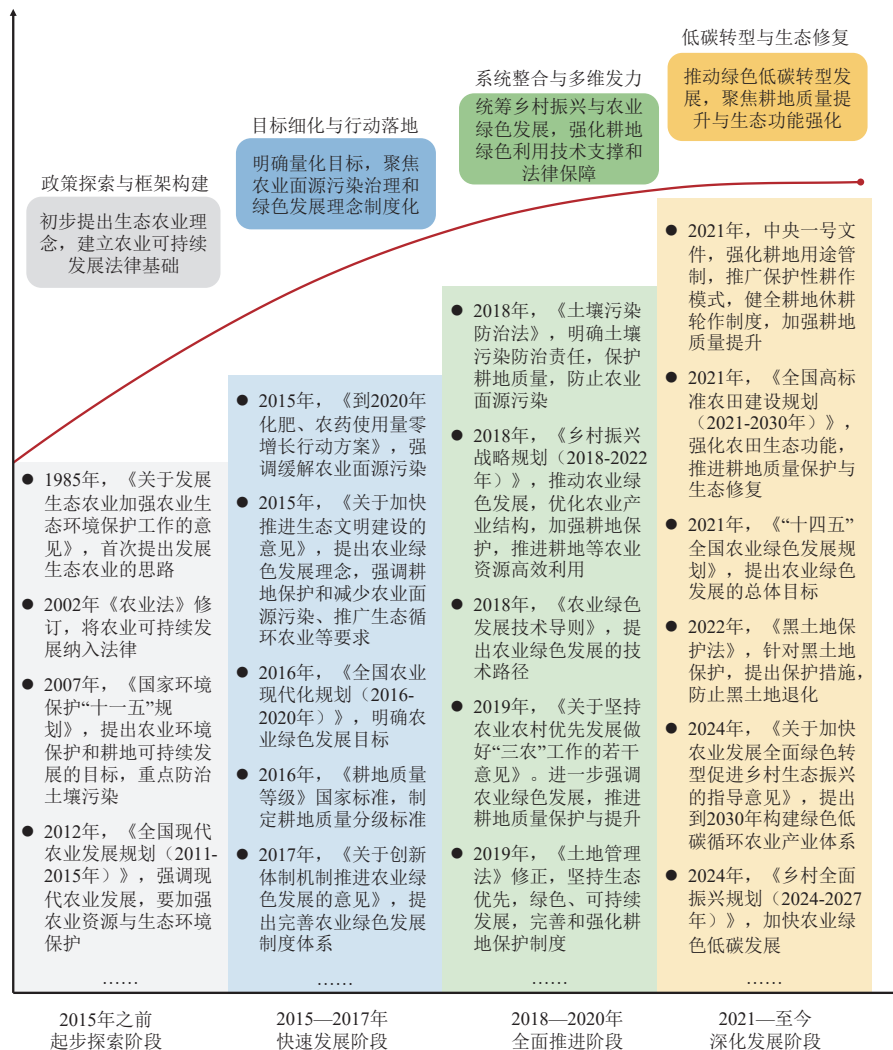


图3 耕地利用绿色转型治理相关政策演变梳理

Fig.3 Policy evolution for the green transition of farmland use

具体来看, 1) 起步探索阶段(2015年之前), 以 理念倡导和法律框架搭建为主。将农业可持续发展思想

纳入法律,制定农业环境保护和耕地可持续发展目标,初步探索了耕地绿色转型的政策框架。2) 快速发展阶段(2015—2017 年),政策从宏观理念转向具体行动。2015 年,“绿色”成为“十三五”规划五大基本理念之一,随后相继出台的政策文件和相关规划,通过设定农业面源污染治理的量化目标,将农业绿色发展提升至国家战略高度^[83]。3) 全面推进阶段(2018—2020 年),治理政策逐步覆盖技术、法律和规划等多个维度。治理重点将绿色发展与耕地保护结合,明确了耕地绿色利用技术路径;通过修正《土地管理法》强调生态优先和耕地保护。4) 深化发展阶段(2021 年至今),治理政策向精细化、区域化和低碳化升级。治理重点聚焦耕地质量提升和绿色发展总体目标,强化耕地用途管制,推广保护性耕作模式,针对黑土地等重点区域制定保护措施。由此可见,耕地利用绿色转型政策的演变体现了从理念倡导到系统治理、再到高质量发展的渐进逻辑,治理手段从行政管控转向科技支撑与制度创新相结合,耕地保护的重点从“数量型”转向“数量+质量+生态型”。

此外,梳理现有科学研究可知,相关学者基于案例研究从多角度尝试提出了耕地利用绿色转型治理路径。在环境治理方面,强调通过强化绿色环境规制,严格控制耕地利用碳排放来源^[84],消除高污染低效的农药^[43]。在土地要素配置方面,应重视耕地利用的制度创新和管理创新,优化耕地空间布局与种植结构,提高耕地资源利用的可持续能力^[85-86]。在农业科技创新与应用方面,在加强基础前沿研究的同时,加大耕地绿色生产技术推广力度^[9]。在经营主体的引导方面,加强技术培训与资金支持,提高绿色农业补贴,促进农业增收^[64,67]。在绿色市场培育方面,引导农产品生产符合绿色消费需求,以提高耕地绿色生产回馈能力^[10]。总体来看,对于耕地利用绿色转型的治理探索侧重宏观制度供给,与区域耕地系统的异质性需求仍存在一定差距;治理政策执行效果评估受限于数据可得性,多以定性描述为主,系统性量化分析及实证检验不足。更为重要的是,科学研究供给明显滞后于政府决策需求,案例研究较为匮乏,制约了区域差异化施策的理论创新。

3 耕地利用绿色转型的研究展望

现有研究在耕地利用绿色转型的表征方法与时空格局、影响因素与驱动机制、多维效应及治理对策等方面取得了一定进展,未来研究仍需在以下方面加强:

1) 构建多学科交叉的理论分析框架,强化人地系统耦合解析。现有研究在耕地利用绿色转型的理论界定方面尚未形成共识。其理论内涵从最初多关注单一农业生产效率提升,随后逐步拓展为考虑生态、经济和社会效益的综合发展模式。但仍存在概念边界不清晰、核心特征不够明确的问题,缺乏可操作化的理论分析框架。耕地利用绿色转型具有鲜明的制度嵌入性与实践操作性,后续研究亟需以人地系统耦合为核心,整合农学、生态学、地理学、经济学和社会学等相关学科的理论和方法,明确耕地利用绿色转型的理论内涵和边界,解析耕地利用绿色转型以及其与农业现代化进程、生态安全格局优化及城乡空间重构的耦合关系,明确不同区域耕地利用

绿色转型的阈值区间与临界点,为差异化政策设计提供理论基础。

2) 完善表征方法与多尺度时空分析,突破动态监测技术瓶颈。现有耕地利用绿色转型表征方法多侧重于经济效率,对保障民生福祉、维护生态环境和传承农耕文化等方面的特征量化不足,且部分指标体系过于复杂,数据可得性差,限制了定量评价的精准度和推广性。时空格局研究多以宏观尺度的行政区或流域为主,较少关注县域、乡镇等微观尺度。此外,现有成果多为静态截面分析,缺乏长期动态监测与预测模拟,难以有效揭示耕地利用绿色转型的时空演化特点及规律。未来研究在表征耕地利用绿色转型状况时,应充分考虑社会公平、生态系统服务以及耕地文化功能等方面的指标,结合大数据挖掘与人工智能技术,探索标准化数据采集与处理方法,以提高区域间的可比性。注重采用跟踪调查和多期遥感监测等长时间序列数据,进一步丰富市、县、乡镇和村级等不同空间尺度的实证案例研究,为认识耕地利用绿色转型的演化规律提供更精细化的科学支撑。

3) 深化驱动机制的解析及动态模拟研究,揭示非线性交互效应。现有研究多聚焦单因素作用,缺乏对自然条件、政策工具与经营主体行为的非线性交互解析。同时,研究区域高度集中于粮食主产区,对山地、丘陵、生态脆弱区等不同地理单元的差异化驱动机制探索不足,导致研究结论普适性受限。未来研究从宏观与微观视角进一步完善驱动因素与作用机制的综合分析框架,可采用系统动力学、主体建模等方法,模拟不同政策情景与技术路径下各影响因素的相互作用机制,重点揭示自然禀赋、经济水平与政策工具的交互效应,为差异化政策设计提供依据。

4) 探索多维效应评估与政策优化研究,推动治理体系精准适配。现有研究对耕地利用绿色转型效应的关注较为零散,多侧重于单一效应的评估;转型效应的交互机理鲜少涉及,致使理论成果与实践决策需求存在差距。耕地利用绿色转型的治理政策的执行效果多以定性描述为主,系统性量化分析及实证检验相对不足;对政策工具的交互效应及其协同机制尚不明确。后续研究可从生态、经济和社会等角度,构建耕地利用绿色转型效应评估体系,并深入探索各效应间的协同与权衡机制。建立科学的耕地利用绿色转型治理政策评估体系,结合自然实验、双重差分等方法加强政策执行效果的定量分析和动态监测,采用多目标优化模型探索政策工具的最优组合效应及协同优化路径,制度“分区-分类-分级”治理策略,进一步提升政策的区域适用性。

4 结 语

耕地利用绿色转型作为破解资源环境约束、保障国家粮食安全与生态安全的战略核心,是推动农业高质量发展、实现人与自然和谐共生的关键路径。本研究在解析耕地利用绿色转型概念内涵基础上,较为系统地梳理了表征方法与时空格局、影响因素与驱动机制、多维效应及治理对策等领域的国内外研究进展,并指出了现有的研究不足及未来方向,以期能对耕地利用绿色转型的理论创新、方法突破与实践深化提供启示。推动耕地利

用向绿色可持续模式深刻转变,是一个涉及自然、经济、社会复杂系统的动态演进过程。尽管现有研究在理论探索、方法构建、政策实践等方面已取得一定进展,但跨学科融合不足,尚未形成可操作化的系统分析框架;多尺度时空动态监测技术薄弱,生态-社会综合指标量化不足;自然条件、政策工具与主体行为的非线性交互机制尚未明晰;治理路径的精细化设计与区域异质性响应缺乏实证支撑。期待未来研究面向国家粮食安全、“双碳”目标与乡村振兴的重大需求,强化多学科交叉融合,构建“自然-经济-社会”耦合的耕地利用绿色转型理论体系;整合遥感、人工智能与大数据技术,研发普适性的动态评估技术、揭示区域异质性驱动规律、探索精细化治理路径,为构建以科技支撑为核心、区域适配为导向的耕地保护政策体系提供决策依据。

【参 考 文 献】

- [1] MI Z F, WEI Y M, WANG B, et al. Socioeconomic impact assessment of China's CO₂ emissions peak prior to 2030[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 2227-2236.
- [2] ZHOU Y, LI X H, LIU Y S. Cultivated land protection and rational use in China[J]. *Land Use Policy*, 2021, 106: 105454.
- [3] LAI Z H, CHEN M Q, LIU T J. Changes in and prospects for cultivated land use since the reform and opening up in China[J]. *Land Use Policy*, 2020, 97: 104781.
- [4] 杨一单, 姚成胜, 刘伟芳. 中国粮食安全系统转型的时空特征及驱动因素[J]. *地理学报*, 2024, 79(9): 2372-2388.
YANG Yidan, YAO Chengsheng, LIU Weifang. Spatio-temporal evolution characteristics and driving factors of food security system transformation in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2024, 79(9): 2372-2388. (in Chinese with English abstract)
- [5] ZHANG J Y, ZHANG P, LIU Y Y, et al. An analysis of the spatiotemporal evolution and driving force of cultivated land green utilization in karst region of southwest China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 434: 140002.
- [6] CUI H Y, KE S A, LU X H. An empirical study on the impact of green transition of farmland use on agricultural economic growth: A case of Hubei Province of China[J]. *Habitat International*, 2024, 148: 103090.
- [7] 刘晶, 金晓斌, 徐伟义, 等. 耕地细碎化对可持续集约利用的影响机理与治理框架[J]. *地理学报*, 2022, 77(11): 2703-2720.
LIU Jing, JIN Xiaobin, XU Weiyi, et al. Influence mechanism of cultivated land fragmentation on sustainable intensification and its governance framework[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(11): 2703-2720. (in Chinese with English abstract)
- [8] 匡兵, 范翔宇, 卢新海. 中国耕地利用绿色转型效率的时空分异特征及其影响因素[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(21): 269-277.
KUANG Bing, FAN Xiangyu, LU Xinhai. Spatial-temporal differentiation characteristics of the efficiency of green transformation of cultivated land use and its affecting factors in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2021, 37(21): 269-277. (in Chinese with English abstract)
- [9] 柯善淦, 崔海莹, 卢新海, 等. 耕地利用绿色转型的时空格局及其驱动机制研究——以湖北省为例[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(12): 64-74.
KE Shangan, CUI Haiying, LU Xinhai, et al. Research on the spatial-temporal pattern and mechanisms of green transition of farmland use: A case of Hubei Province[J]. *China Land Science*, 2021, 35(12): 64-74. (in Chinese with English abstract)
- [10] 吕添贵, 付舒斐, 胡晗, 等. 农业绿色转型约束下耕地绿色利用效率动态演进及其收敛特征研究——以长江中游粮食主产区为例[J]. *中国土地科学*, 2023, 37(4): 107-118.
LYU Tianguai, FU Shufei, HU Han, et al. Dynamic evolution and convergence characteristics of cultivated land green use efficiency based on the constraint of agricultural green transition: Taking the main grain producing areas in the middle reaches of the Yangtze River as an example[J]. *China Land Science*, 2023, 37(4): 107-118. (in Chinese with English abstract)
- [11] 高佳, 杨宇. 东北粮食主产区耕地利用绿色转型的时空格局及驱动因素[J]. *中国土地科学*, 2023, 37(10): 114-123, 134.
GAO Jia, YANG Yu. Spatial-temporal patterns and driving factors of green transformation for cultivated land use of major grain-producing areas in Northeastern China[J]. *China Land Science*, 2023, 37(10): 114-123, 134. (in Chinese with English abstract)
- [12] 胡海洋, 余敦, 魏鹏, 等. 鄱阳湖平原耕地利用绿色转型时空格局及驱动因素[J]. *水土保持研究*, 2025, 32(3): 270-281.
HU Haiyang, YU Dun, WEI Peng, et al. Spatial-temporal pattern and driving factors of green transformation of cultivated land use in Poyang Lake Plain[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2025, 32(3): 270-281. (in Chinese with English abstract)
- [13] 柯新利, 邓洁, 宋钰. 长江经济带耕地利用绿色转型与城乡耦合协调发展发展的时空格局研究[J]. *生态学报*, 2024, 44(13): 5773-5785.
KE Xinli, DENG Jie, SONG Yu. Spatial-temporal pattern of coupling coordination between green transition of farmland use and urban-rural integration development in the Yangtze River Economic Belt[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(13): 5773-5785. (in Chinese with English abstract)
- [14] 卢新海, 崔海莹, 柯善淦, 等. 湖北省耕地利用绿色转型与粮食全要素生产率的耦合协调及其驱动机制研究[J]. *中国土地科学*, 2022, 36(8): 75-84.
LU Xinhai, CUI Haiying, KE Shangan, et al. Coupling coordination and driving mechanism of green transition of farmland use and total factor productivity of grain in Hubei Province[J]. *China Land Science*, 2022, 36(8): 75-84. (in Chinese with English abstract)
- [15] AZNAR-SANCHEZ J A, PIQUER-RODRIGUEZ M, VELASCO-MUNOZ J F, et al. Worldwide research trends on sustainable land use in agriculture[J]. *Land Use Policy*, 2019, 87: 104069.
- [16] 联合国开发计划署. 中国人类发展报告 2002: 绿色发展必选之路[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2002.
- [17] NIU S D, LYU X, GU G Z, et al. A framework for quantification and integration of green development of cultivated land in China: From the perspective of adaptability-vitality-resistance[J]. *Land Degradation & Development*, 2024, 35(5): 1938-1959.
- [18] 叶思菁, 宋长青, 高培超, 等. 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 Sijing, SONG Changqing, GAO Peichao, et al. Construction of the new cognitive system for arable land resources from geospatial perspective[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2023, 39(9): 225-240. (in Chinese with English abstract)
- [19] GRAINGER A. National land use morphology: Patterns and

- possibilities[J]. *Geography*, 1995, 80(3): 235-246.
- [20] 龙花楼. 长江沿线样带土地利用变化与土地可持续利用[R]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2001.
- [21] 龙花楼. 论土地利用转型与乡村转型发展[J]. *地理科学进展*, 2012, 31(2): 131-138.
LONG Hualou. Land use transition and rural transformation development[J]. *Progress in Geography*, 2012, 31(2): 131-138. (in Chinese with English abstract)
- [22] 宋小青, 吴志峰, 欧阳竹. 耕地转型的研究路径探讨[J]. *地理研究*, 2014, 33(3): 403-413.
SONG Xiaoqing, WU Zhifeng, OUYANG Zhu. Route of cultivated land transition research[J]. *Geographical Research*, 2014, 33(3): 403-413. (in Chinese with English abstract)
- [23] LU X, QU Y, SUN P L, et al. Green transition of cultivated land use in the Yellow River Basin: A perspective of green utilization efficiency evaluation[J]. *Land*, 2020, 9(12): 475.
- [24] BONFIGLIO A, ARZENI A, BODINI A. Assessing eco-efficiency of arable farms in rural areas[J]. *Agricultural Systems*, 2017, 151: 114-125.
- [25] HAN H B, ZHANG X Y. Static and dynamic cultivated land use efficiency in China: A minimum distance to strong efficient frontier approach[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 246: 119002.
- [26] 谢花林, 张道贝, 王伟, 等. 鄱阳湖生态经济区耕地利用效率时空差异及其影响因素分析[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(5): 214-221.
XIE Hualin, ZHANG Daobei, WANG Wei, et al. Analysis of cultivated land use efficiency and its influencing factors for Poyang Lake Ecological Economic Zone[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(5): 214-221. (in Chinese with English abstract)
- [27] CHEN Q R, XIE H L. Temporal-spatial differentiation and optimization analysis of cultivated land green utilization efficiency in China[J]. *Land*, 2019, 8(11): 158.
- [28] 吴诗嫒, 丁如, 匡兵, 等. 土地综合整治对耕地利用生态效率的影响研究——基于农户微观数据的实证分析[J]. *中国土地科学*, 2023, 37(11): 95-105.
WU Shiman, DING Ru, KUANG Bing, et al. Impact of comprehensive land consolidation on ecological efficiency of cultivated land use: Empirical analysis based on the micro survey data of farmers[J]. *China Land Science*, 2023, 37(11): 95-105. (in Chinese with English abstract)
- [29] 吕添贵, 付舒斐, 胡略, 等. 农业绿色转型约束下耕地利用生态效率时空分异特征及空间效应[J]. *水土保持研究*, 2024, 31(1): 269-279+289.
LYU Tianguai, FU Shufei, HU Han, et al. Spatiotemporal differentiation characteristics and spatial effects of ecological efficiency of cultivated land use based on the constraints of agricultural green transformation[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2024, 31(1): 269-279+289. (in Chinese with English abstract)
- [30] QIAO Z, CHEN H. Club convergence analysis of regional ecological efficiency in China[J]. *Pacific Economic Review*, 2020, 25(3): 384-401.
- [31] 曾贤刚, 牛木川. 高质量发展下长江经济带生态效率及影响因素[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(2): 906-918.
ZENG Xiangang, NIU Muchuan. Measurement and influence factors of ecological efficiency of the Yangtze River economic belt under high quality development conditions[J]. *China Environmental Science*, 2020, 40(2): 906-918. (in Chinese with English abstract)
- [32] 张子晴, 张道军, 陈亮, 等. 黄河流域城镇化与耕地利用生态效率的耦合协调度评价、时空特征及驱动因素[J]. *农业工程学报*, 2024, 40(16): 240-250.
ZHANG Ziqing, ZHANG Daojun, CHEN Liang, et al. Coupling coordination evaluation, spatiotemporal characteristics and driving factors between urbanization and cultivated land use ecological efficiency in the Yellow River Basin[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2024, 40(16): 240-250. (in Chinese with English abstract)
- [33] XIE H L, CHEN Q R, WANG W, et al. Analyzing the green efficiency of arable land use in China[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018, 133: 15-28.
- [34] FU S F, LV T G, WU G, et al. Discerning changes in carbon emission intensity of cultivated land utilization since agricultural green transformation: Based on the motivation-opportunity-ability (MOA) framework[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2025, 114: 107946.
- [35] ENDO A, TSURITA I, BURNETT K, et al. A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus[J]. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2017, 11: 20-30.
- [36] CHEN A Q, HAO Z, WANG R, et al. Cultivated land sustainable use evaluation from the perspective of the water-land-energy-food nexus: A case study of the major grain-producing regions in Quzhou, China[J]. *Agronomy*, 2023, 13(9): 2362.
- [37] NIU S D, LYU X, GU G Z. A new framework of green transition of cultivated land-use for the coordination among the water-land-food-carbon nexus in China[J]. *Land*, 2022, 11(6): 933.
- [38] QIU G J, XING X A, CONG G Q, et al. Measuring the cultivated land use efficiency in China: A super efficiency MinDS model approach[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 20(1): 583.
- [39] ZHOU M, ZHANG H, KE N. Cultivated land transfer, management scale, and cultivated land green utilization efficiency in China: Based on intermediary and threshold models[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(19): 12786.
- [40] TANG Y, CHEN M H. The impact mechanism and spillover effect of digital rural construction on the efficiency of green transformation for cultivated land use in China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(23): 16159.
- [41] HOU X H, LIU J M, ZHANG D J, et al. Impact of urbanization on the eco-efficiency of cultivated land utilization: A case study on the Yangtze River Economic Belt, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 238: 117916.
- [42] LUO X, AO X H, ZHANG Z, et al. Spatiotemporal variations of cultivated land use efficiency in the Yangtze River Economic Belt based on carbon emission constraints[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2020, 30: 535-552.
- [43] YANG B, WANG Z Q, ZOU L, et al. Exploring the eco-efficiency of cultivated land utilization and its influencing factors in China's Yangtze River Economic Belt, 2001-2018[J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 294: 112939.
- [44] ZHOU X, WU D, LI J F, et al. Original cultivated land use efficiency and its driving factors in the Yellow River Basin, China[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 144: 109411.
- [45] YU X D, WANG Q, TIAN M J, et al. Exploring the impact of cultivated land utilization green transformation on agricultural economic growth: Evidence from Jiangsu Province in China[J]. *Sustainability*, 2024, 16(16): 7032.
- [46] 张伟, 李文, 王伟. 山西省耕地利用效率及其影响因素研

- 究[J]. 中国土地科学, 2011, 25(2): 47-55.
ZHANG Wei, LI Wen, WANG Wei. Study on cultivated land use efficiency and its influencing factors in Shanxi Province[J]. China Land Science, 2011, 25(2): 47-55. (in Chinese with English abstract)
- [47] 龙花楼. 土地利用转型的解释[J]. 中国土地科学, 2022, 36(4): 1-7.
LONG Hualou. Explanation of land use transitions[J]. China Land Science, 2022, 36(4): 1-7. (in Chinese with English abstract)
- [48] 朱庆莹, 王玉琳, 陈坤, 等. 主体功能区视角下湖北省耕地利用转型时空分异特征[J]. 农业工程学报, 2024, 40(15): 222-232.
ZHU Qingying, WANG Yulin, CHEN Kun, et al. Spatial-temporal divergence of cultivated land use transformation in Hubei Province from the perspective of main functional zones[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2024, 40(15): 222-232. (in Chinese with English abstract)
- [49] LI H H, SONG W. Spatial transformation of changes in global cultivated land[J]. Science of the Total Environment, 2023, 859: 160194.
- [50] 付慧, 刘艳军, 孙宏日, 等. 京津冀地区耕地利用转型时空分异及驱动机制[J]. 地理科学进展, 2020, 39(12): 1985-1998.
FU Hui, LIU Yanjun, SUN Hongri, et al. Spatiotemporal characteristics and dynamic mechanism of cultivated land use transition in the Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Progress in Geography, 2020, 39(12): 1985-1998. (in Chinese with English abstract)
- [51] 张佑铭, 郎梦凡, 刘梦云, 等. 土地利用转变与海拔高度协同作用黄土高原植被固碳变化特征[J]. 生态学报, 2022, 42(10): 3897-3908.
ZHANG Youming, LANG Mengfan, LIU Mengyun, et al. Vegetation carbon sequestration in the Loess Plateau under the synergistic effects of land cover change and elevations[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(10): 3897-3908. (in Chinese with English abstract)
- [52] 宋颖, 高明秀, 王卓然, 等. 环渤海山东区耕地 NPP 时空变化特征及其驱动因子探测[J]. 环境科学, 2024, 45(8): 4733-4743.
SONG Ying, GAO Mingxiu, WANG Zhuoran, et al. Spatiotemporal variation characteristics and driving factors of cultivated land NPP in the Shandong area around the Bohai Sea[J]. Environmental Science, 2024, 45(8): 4733-4743. (in Chinese with English abstract)
- [53] 王翔宇, 张学霞, 胡韵哲, 等. 基于地理探测器的耕地土壤肥力及影响因子[J]. 环境科学, 2024, 45(12): 7378-7389.
WANG Xiangyu, ZHANG Xuexia, HU Yunzhe, et al. Soil fertility and influencing factors of cultivated land based on the geodetector[J]. Environmental Science, 2024, 45(12): 7378-7389. (in Chinese with English abstract)
- [54] 董金玮, 崔屹峰, 邸媛媛, 等. 大数据时代耕地红线管控监测的机遇与挑战[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(12): 1781-1792.
DONG Jinwei, CUI Yifeng, DI Yuanyuan, et al. Opportunities and challenges in monitoring cultivated land red line in big data era[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(12): 1781-1792. (in Chinese with English abstract)
- [55] DENG X Z, HUANG J K, ROZELLE S, et al. Impact of urbanization on cultivated land changes in China[J]. Land Use Policy, 2015, 45: 1-7.
- [56] 高延雷, 王志刚. 城镇化是否带来了耕地压力的增加?——来自中国的经验证据[J]. 中国农村经济, 2020(9): 65-85.
GAO Yanlei, WANG Zhigang. Does urbanization increase the pressure of cultivated land? Evidence based on interprovincial panel data in China[J]. Chinese Rural Economy, 2020(9): 65-85. (in Chinese with English abstract)
- [57] SUN B, XU X C. Spatial-temporal evolution of the relationship between agricultural material inputs and agricultural greenhouse gas emissions: Experience from China 2003–2018[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(31): 46600-46611.
- [58] XU D D, LIU Y, LI Y C, et al. Effect of farmland scale on agricultural green production technology adoption: Evidence from rice farmers in Jiangsu Province, China[J]. Land Use Policy, 2024, 147: 107381.
- [59] 付舒斐, 朱丽萌, 吕添贵, 等. 乡村数字化转型对耕地绿色利用效率的影响机制及门槛效应研究[J]. 中国土地科学, 2024, 38(4): 90-100, 112.
FU Shufei, ZHU Limeng, LYU Tianguai, et al. Research on the influencing mechanism and threshold effect of rural digital transformation on cultivated land green use efficiency[J]. China Land Science, 2024, 38(4): 90-100, 112. (in Chinese with English abstract)
- [60] HLAVSA T, HRUSKA M, TURKOVA E. The impact of investment support from the Rural Development Programme of the Czech Republic for 2007-2013 on the economic efficiency of farms[J]. Studies in Agricultural Economics, 2017, 119(1): 11-17.
- [61] KURKALOVA L, KLING C, ZHAO J H. Green subsidies in agriculture: Estimating the adoption costs of conservation tillage from observed behavior[J]. Canadian Journal of Agricultural Economics, 2006, 54(2): 247-267.
- [62] LIN H C, HULSBERGEN K J. A new method for analyzing agricultural land-use efficiency, and its application in organic and conventional farming systems in southern Germany[J]. European Journal of Agronomy, 2017, 83: 15-27.
- [63] BUITENHUIS Y, CANDEL J J L, TERMEER K J A M, et al. Does the common agricultural policy enhance farming systems' resilience? Applying the resilience assessment tool (ResAT) to a farming system case study in the Netherlands[J]. Journal of Rural Studies, 2020, 80: 314-327.
- [64] QU Y, LYU X, PENG W L, et al. How to evaluate the green utilization efficiency of cultivated land in a farming household? A case study of Shandong Province, China[J]. Land, 2021, 10(8): 789.
- [65] 石志恒, 慕宏杰, 孙艳. 农业补贴对农户参与农业绿色发展的影响研究[J]. 产经评论, 2019, 10(3): 144-154.
SHI Zhiheng, MU Hongjie, SUN Yan. A study on the influence of agricultural subsidy on farmer participation in green development of agricultural[J]. Industrial Economic Review, 2019, 10(3): 144-154. (in Chinese with English abstract)
- [66] 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 Min, ZHANG Anlu. 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 with English abstract)
- [67] 刘洪彬, 王秋兵, 边振兴, 等. 农户土地利用行为特征及影响因素研究——基于沈阳市苏家屯区 238 户农户的调查研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(10): 111-117.
LIU Hongbin, WANG Qiubing, BIAN Zhenxing, et al. Studying the characteristics and its influencing factors of the

- farmer land-use behavior in the process of industrialization and urbanization: A case study in Sujiatun District of Shenyang City, Liaoning Province[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(10): 111-117. (in Chinese with English abstract)
- [68] 赖昭豪, 陈美球, 邝佛缘, 等. 基于分布式认知理论的农户生态耕种意愿影响因素分析[J]. *南方农业学报*, 2019, 50(4): 905-912.
LAI Zhaohao, CHEN Meiqiu, KUANG Foyuan, et al. Influencing factors of farm households' willingness to ecological farming based on the distributed cognition theory[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2019, 50(4): 905-912. (in Chinese with English abstract)
- [69] KHAI H V, YABE M. Technical efficiency analysis of rice production in Vietnam[J]. *Journal of ISSAAS*, 2011, 17(1): 135-146.
- [70] 冉龙池, 张仕超, 张焯赟, 等. 丘陵山区新型农业经营主体流转土地利用集约度及差异研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2024, 45(12): 162-175.
Ran Longchi, Zhang Shichao, Zhang Xuanyun, et al. Study on land use intensity and difference of new agricultural management entities in hilly and mountainous areas[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources*, 2024, 45(12): 162-175. (in Chinese with English abstract)
- [71] 周敏, 吕宏宇, 柯楠. 农业生产要素配置与耕地绿色利用效率的空间相关与溢出效应[J]. *农林经济管理学报*, 2024, 23(1): 41-50.
ZHOU Min, LUY Hongyu, KE Nan. Spatial correlation and spillover effects of allocation of agricultural production factors and green use efficiency of cultivated land[J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2024, 23(1): 41-50. (in Chinese with English abstract)
- [72] PENG J C, WEN L, FU L N, et al. Total factor productivity of cultivated land use in China under environmental constraints: Temporal and spatial variations and their influencing factors[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27: 18443-18462.
- [73] HUO K, RUAN Y F, FAN H Z, et al. Spatial-temporal variation characteristics of cultivated land and controlling factors in the Yangtze River Delta region of China[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2022, 10: 871482.
- [74] LYU L G, ZHU J J, LONG H L, et al. Effects of farmland use transition on soil organic carbon in dry farming areas[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2024, 26(3): 7055-7078.
- [75] 吕立刚, 周生路, 周兵兵, 等. 区域发展过程中土地利用转型及其生态环境响应研究——以江苏省为例[J]. *地理科学*, 2013, 33(12): 1442-1449.
LYU Ligang, ZHOU Shenglu, ZHOU Bingbing, et al. Land use transformation and its eco-environmental response in process of the regional development: A case study of Jiangsu Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(12): 1442-1449. (in Chinese with English abstract)
- [76] 付舒斐, 吕添贵, 朱丽萌, 等. 农业绿色发展对耕地利用碳排放强度的影响机制和空间效应[J]. *中国农业大学学报*, 2025, 30(4): 286-299.
FU Shufei, LYU Tianguai, ZHU Limeng, et al. Impact mechanism and spatial effect of agricultural green development on carbon emission intensity of cultivated land use[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(4): 286-299. (in Chinese with English abstract)
- [77] 于法稳. 新时代农业绿色发展动因、核心及对策研究[J]. *中国农村经济*, 2018(5): 19-34.
- YU Fawen. An analysis of the reasons, core and countermeasures of agricultural green development in the new era[J]. *Chinese Rural Economy*, 2018(5): 19-34. (in Chinese with English abstract)
- [78] KE S A, WU Y Q, CUI H Y, et al. The mechanisms and spatial-temporal effects of farmland spatial transition on agricultural carbon emission: Based on 2018 counties in China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, 30(49): 107716-107732.
- [79] LV L G, GAO Z B, LIAO K H, et al. Impact of conservation tillage on the distribution of soil nutrients with depth[J]. *Soil and Tillage Research*, 2023, 225: 105527.
- [80] 向敬伟, 李江凤. 贫困山区耕地利用转型对农业经济增长质量的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(1): 71-81.
XIANG Jingwei, LI Jiangfeng. Influence of cultivated land use transition on quality of agricultural economic growth in poor mountainous areas[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(1): 71-81. (in Chinese with English abstract)
- [81] 龙花楼, 戈大专, 王介勇. 土地利用转型与乡村转型发展耦合研究进展及展望[J]. *地理学报*, 2019, 74(12): 2547-2559.
LONG Hualou, GE Dazhuan, WANG Jieyong. Progress and prospects of the coupling research on land use transitions and rural transformation development[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2547-2559. (in Chinese with English abstract)
- [82] 曾亿武, 宋逸香, 林夏珍, 等. 中国数字乡村建设若干问题刍议[J]. *中国农村经济*, 2021(4): 21-35.
ZENG Yiwu, SONG Yixiang, LIN Xiazhen, et al. Some humble opinions on China's digital village construction[J]. *Chinese Rural Economy*, 2021(4): 21-35. (in Chinese with English abstract)
- [83] 杨嫒, 许若冰, 薛佳丽. 中国农业绿色发展政策主题与发文机构网络演进研究——基于 1982—2022 年政策文本的实证分析[J]. *中国农业大学学报*, 2023, 28(11): 236-250.
YANG Huan, XU Ruobing, XUE Jiali. Study on the policy themes and issuing institution networks' evolution of green development of agriculture sector in China: An empirical analysis based on policy texts from 1982 to 2022[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(11): 236-250. (in Chinese with English abstract)
- [84] 符海月, 吴树东, 姜朋辉. 中国粮食主产区耕地绿色低碳利用转型指数构建及分区[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(23): 238-246.
FU Haiyue, WU Shudong, JIANG Penghui. Index and zoning for green and low-carbon transition of cultivated land utilization in main grain-producing areas of China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2023, 39(23): 238-246. (in Chinese with English abstract)
- [85] 孙心怡, 王介勇, 朱西存, 等. 基于人地系统视角耕地利用转型过程及其驱动因素分析——以黑龙江省齐齐哈尔市为例[J]. *自然资源学报*, 2025, 40(2): 350-366.
SUN Xinyi, WANG Jieyong, ZHU Xicun, et al. Transformation of cultivated land utilization and its driving factors based on human-earth system perspective: Taking Qiqihar city, Heilongjiang province, as an example[J]. *Journal of Natural Resources*, 2025, 40(2): 350-366. (in Chinese with English abstract)
- [86] 张立新, 朱道林, 谢保鹏, 等. 中国粮食主产区耕地利用效率时空格局演变及影响因素——基于 180 个地级市的实证研究[J]. *资源科学*, 2017, 39(4): 608-619.
ZHANG Lixin, ZHU Daolin, XIE Baopeng, et al.

Spatiotemporal pattern evolvement and driving factors of cultivated land utilization efficiency of the major grain

producing area in China[J]. Resources Science, 2017, 39(4): 608-619. (in Chinese with English abstract)

Conceptual connotation, research progress and prospect of green transition of farmland use

LYU Ligang^{1,2}, LU Lingjun^{1,2}, LONG Hualou^{3*}, ZHOU Bingbing⁴, ZANG Yuzhu⁵

(1. School of Public Administration, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China; 2. Observation Research Station of Land Ecology and Land Use in the Yangtze River Delta, Ministry of Natural Resources, Nanjing 210017, China; 3. School of Public Administration, Guangxi University, Nanning 530004, China; 4. School of International Affairs and Public Administration, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 5. School of Public Administration, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract: A farmland system has been required to balance the food security and ecological sustainability under the dual pressures from global population and global warming. Sustainable human-land relationships can be redefined as the populous large-scale agriculture in China. Among them, the green transition of farmland use (GTFU) is very critical to attain the carbon peaking and neutrality. This research aims to perform on the literature review, thematic analysis and case study, in order to systematically examine the conceptual connotation and research progress on the GTFU. Subsequently, the future outlooks were also proposed to advance the research direction in this field. The mainstream conceptualization of the GTFU was integrated with the "farmland green use" (on the sustainable states/practices like green technologies) and "farmland use transition" (value-neutral morphological variations). Specifically, there was the dynamic shift from the "high-input, high-consumption, and high-pollution" to the "low-consumption, low-emission, high-efficiency" mode. The dominant (quantity, and spatial structure) and recessive (quality, function, and input-output) morphologies were optimized and then driven by policy, markets, and technology—with the core dimensions of the "greenness" (resource-environment-ecology synergy via technology substitution, and resource optimization) and "transition" (fundamental functional shift towards production-ecology integration). The research progress revealed that: 1a) Existing conceptual operationalization of the GTFU was relied on the approaches, like the input-output efficiency (e.g., green eco-efficiency), dominant-recessive morphology transition, social-ecological system attributes (e.g., adaptability, vitality, and resilience), and resource element nexus (e.g., WEF-Carbon). Yet, these approaches were typically overemphasized on the economic efficiency without considering the social/ecological/cultural dimensions or data/complexity constraints. 1b) Spatiotemporal analysis indicated that the overall transition level was moderate-low but rising unevenly, with the significantly regional disparities (e.g., higher levels in the plains/low hills vs. mountains) and the emerging positive spatial autocorrelation. Most studies were confined to the macro-scales with the static snapshots. It was still lacking on the micro-scale granularity and dynamic monitoring. 2a) Influencing factors were the external drivers—natural conditions (terrain, climate, and increasingly extreme weather), socio-economic forces (urbanization showing dual effects: positive via technology adoption/green demand but negative via labor shortage/pollution; economic level generally positive but potentially incentivizing short-term pollution), technology advancement, and policy instruments (crucial yet complex, where excessive intervention was hindered the innovation)—and internal drivers that linked to the stakeholder characteristics (farmers' age/education; and cooperatives/enterprises' scale/capacity). There was also the high spatial heterogeneity. Yet it was still lacking to integrate the frameworks and dynamic simulations (e.g., system dynamics) with the nonlinear interactions across diverse regions. 3a) Multidimensional factors included the ecological gains (pollution/carbon reduction, and soil health/carbon sequestration enhancement), economic benefits (improved efficiency, and productivity, income), and social improvements (employment optimization, and health risk reduction), though the assessment was remained on the fragmented without the "ecological-economic-social" framework or the inter-effect synergies/trade-offs. 3b) Governance policy was progressively evolved from the conceptualization (pre-2015) to the implementation (2015-2017), comprehensive integration (2018-2020), and refined, regionalized, low-carbon strategies (2021-present). The basic quantity protection of the "quantity-quality-ecology" was shifted from the administrative to the tech/institution-integrated approaches. The pathways were still lacked on the regional differentiation and quantitative evaluation. The critical research gaps were then focused on the theoretical foundations, limited characterization, dynamic monitoring, insufficient understanding of nonlinear driver interactions across geographies, fragmented assessment, and inadequate regionally-tailored governance design/evaluation. Therefore, the future research on the GTFU should: 1) develop the interdisciplinary theoretical frameworks that centered on the farmland-relevant social-environmental coupling; 2) enhance the conceptual operationalization with the ecological-economic-social metrics. Big data/AI was used for the standardized and multi-scale dynamic analysis; 3) deepen driver analysis using system dynamics/agent-based modeling to simulate the interactions and scenarios; 4) establish the comprehensive multi-dimensional evaluation on the synergies/trade-offs; and 5) design/evaluate to tailor the "place-based, multidimensional, and multi-level" governance policies via natural experiments and multi-objective optimization. These advancements can greatly contribute to the GTFU theory and practice. Ultimately, the finding can also provide the strong support to the national food security, ecological conservation, carbon goals, and rural revitalization in China.

Keywords: land use transition; farmland; green transition; driving mechanism; policy-based optimization