

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.07.013

刘东岳, 董文卓, 勾容, 等. 重庆三峡库区耕地利用绿色转型时空格局及驱动因素研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(7): 143-156.

重庆三峡库区耕地利用绿色转型 时空格局及驱动因素研究

刘东岳¹, 董文卓¹, 勾容¹, 苏维词^{1,2}

1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 401331; 2. 贵州省山地资源研究所, 贵阳 550001

摘要: 探究三峡库区重庆段耕地利用绿色转型, 旨在探索复杂山地丘陵环境下农业高质量发展与区域环境保护的兼容性, 以期对该地区的农业可持续发展提供科学依据。通过构建耕地利用绿色转型指标评价体系, 采用熵权法、空间自相关和随机森林模型, 揭示研究区耕地利用绿色转型时空演变特征并识别其关键因素。结果表明: ① 2005—2020 年间, 研究区耕地利用绿色转型水平逐渐上升, 平均转型指数增加了 0.14, 整体平均提升幅度达到 66.67%。但不同维度转型进程不同步, 其中功能维度转型相对较快, 空间维度转型较慢。② 研究区耕地利用绿色转型水平区域发展不均衡, 整体上呈现为西南高东北低。③ 其全局莫兰指数逼近于 0, 显示耕地利用绿色转型的空间依赖性低, 空间集聚性弱。④ 前期(2005—2010 年)驱动耕地利用绿色转型的关键影响因素是农业生产总值比例与人均国内生产总值, 后期(2015—2020 年), 农民人均收入增长率、坡度、降水成为研究区耕地利用绿色转型的重要影响因素。

关键词: 耕地利用; 绿色转型; 时空演变; 驱动机制; 三峡库区

中图分类号: X22; F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1673-9868(2025)07-0143-14

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on Spatio-Temporal Pattern and Driving Factors of Green Transformation of Cropland in Three Gorges Reservoir Area, Chongqing, China

LIU Dongyue¹, DONG Wenzhuo¹, GOU Rong¹, SU Weici^{1,2}

1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China;

2. Guizhou Institute of Mountain Resources, Guiyang 550001, China

Abstract: Aim of this study is to explore the compatibility between high-quality agricultural development and regional environmental protection in the complex mountainous and hilly environments through analysis of the green transformation of arable land utilization in Chongqing section of the Three Gorges Reservoir

收稿日期: 2024-08-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(42161052); 教育部人文社科规划项目(20YJAZH093); 国家社会科学基金项目(23BJY156)。

作者简介: 刘东岳, 硕士生, 主要从事区域经济与可持续发展研究。

通信作者: 苏维词, 研究员。

area, with a view to providing a scientific basis for the sustainable development of agriculture in the area. By constructing a green transformation index evaluation system for arable land use, the entropy weight method, spatial autocorrelation and random forest model are used to reveal the spatio-temporal evolution characteristics of the green transformation of arable land use in the study area and identify its key factors. The results show that: ① During the period of 2005—2020, the level of green transformation of arable land utilization in the study area gradually increased, the average transformation index increased by 0.14, and the overall average improvement reached 66.67%. However, the transformation process of different dimensions was not synchronized, in which the transformation of the functional dimension was relatively faster and the transformation of the spatial dimension was slower. ② The regional development of green transformation level of arable land use in the study area was not balanced, and the overall level showed was high in the southwest and low in the northeast. ③ Its global Moran's index was close to 0, showing that the spatial dependence of the green transformation of arable land use was low, and spatial agglomeration was weak. ④ The key influencing factors driving the green transformation of arable land use in the early period (2005—2010) were the proportion of agricultural GDP and per capita GDP, and in the later period (2015—2020), the growth rate of farmers' per capita income, slope, and precipitation became the important influencing factors of green transformation of cropland utilization in the study area.

Key words: cropland utilization; green transformation; time-space evolution; driving mechanism; Three Gorges Reservoir area

耕地作为人类社会最基本的生产资料之一,对于保障粮食安全,维护生态平衡和促进农业可持续发展至关重要。中国耕地资源具有人均耕地少、高质量耕地少、后备资源少三大特征^[1],21世纪以来城市化和工业化进程加快,社会经济取得了显著进步,但同时也对耕地资源造成了严重的损害,因此保护耕地,实现耕地利用绿色转型变得尤为重要。耕地利用绿色转型是党的二十大报告提出的绿色发展理念下的重要措施,是保障国家粮食安全,维护地区生态平衡和支持农业可持续发展的重要途径^[2],是推动农业绿色低碳发展的重要举措,受到学界广泛关注^[3-4]。

目前国内外对耕地利用绿色转型的研究主要集中在其概念内涵讨论、指标体系构建^[5]、时空演变及影响因素分析等领域,如崔海莹^[6]、柯善淦等^[7]针对湖北省耕地利用现状,开展了湖北省耕地利用绿色转型研究,柯新利等^[8]、杨斌等^[9]聚焦长江经济带,研究其耕地利用绿色转型时空变化,这些研究深化了对耕地利用绿色转型的认识,为耕地的高效合理利用提供了参考,但目前关于耕地利用绿色转型的研究还存在测度指标体系尚未取得共识,耕地利用绿色转型的驱动机制探讨还不够深入,不同区域耕地利用绿色转型的模式、路径等实证案例研究缺乏总结提炼等问题。

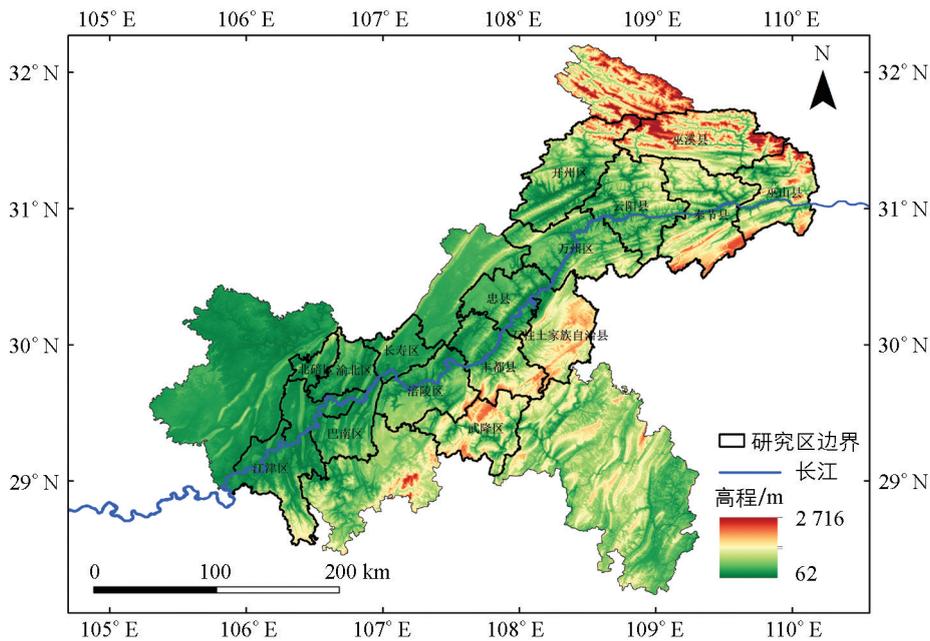
三峡库区作为中国重要的生态功能区,具有丰富的自然资源,以耕地为主的生产用地和以林地、水域为主的生态用地占据库区绝大部分区域,但库区内地势起伏大、生态敏感性高、库岸稳定性低等问题突显^[10],同时不合理的耕作方式、过度使用化肥农药、工业化与城市化进程的不断推进,导致库区内土壤肥力下降,水土流失加剧,耕地质量不断退化^[11-12],严重影响了库区内农业可持续发展与生态安全^[13]。当前如何在复杂山地丘陵地区内实现耕地高效生产与环境保护成为亟待解决的问题之一。绿色转型不仅是推动耕地资源高质量发展的重要途径,更是实现社会经济结构调整与生态环境平衡相互融合的必然选择,其核心在于多维度下优化资源配置,促进经济效益、生态效益共同提升^[14],在此发展模式下,能够有效缓解耕地退化等问题。具体而言,绿色转型通过减少化肥和农药的使用量、鼓励使用农业现代化技术、优化耕地布局等方式,减轻土壤板结,直接改善土壤质量,提升土地承载能力。绿色转型不仅着眼于短期的环境改善,还兼顾长期的农业现代化发展与生态修复等问题,通过推广农业现代化技术,提高农民收入水平,促进重庆三峡库区农业高质量发展。三峡库区集大城市(重庆市都市圈)、大农村、大库区、大山区于一体,本研究通过探讨耕地利用绿色转型的内在含义,基于三峡库区复杂的地形环境条件、高强度的人类活动和生

态安全要求高的特殊背景, 分析重庆三峡库区耕地利用绿色转型的时空格局及其影响因素, 探究影响耕地利用绿色转型的驱动因子, 将为库区耕地绿色利用和库区生态安全提供重要参考依据。

1 研究数据与方法

1.1 研究区概况

三峡库区涉及湖北省 4 个区县和重庆市 22 个区县, 三峡库区的主体在重庆, 重庆段的地理坐标为 $28^{\circ}31' - 31^{\circ}44'N$, $105^{\circ}49' - 110^{\circ}12'E$, 包括巴南、北碚、丰都、奉节、涪陵、江津、开州、石柱、万州、巫山、巫溪、武隆、渝北、云阳、长寿、忠县、渝中、沙坪坝、南岸、九龙坡、大渡口、江北 22 个区县, 面积约 $4.62 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占整个三峡库区面积的 79.5% (图 1)^[15-16], 鉴于目前重庆三峡库区的渝中、沙坪坝、南岸、九龙坡、大渡口、江北 6 个区已基本城镇化, 本研究仅将其余 16 个区县作为研究区。研究区内以山地和丘陵为主, 地势起伏大, 整体呈现为东部高西部低, 沿江地区多为陡峭的岸坡和狭窄的河道。亚热带季风性气候, 四季分明, 年平均气温为 $17 \sim 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 年降水量为 $1\ 000 \sim 1\ 355 \text{ mm}$ 。受到峡谷地形影响, 呈现光少、雾多、冬暖、夏热、雨热同季等特征^[17]。土壤以紫色土、黄壤土、石灰土等为主。2021 年末常住人口 1 559.39 万人, 其中农村人口 886.64 万人, GDP 为 10 957.16 亿元, 粮食播种面积 1 040.52 万 hm^2 , 粮食总产量 526 万 t。在绿色发展理念背景下, 三峡库区作为典型复杂山地丘陵地区和长江经济带节点地区, 其耕地利用绿色转型研究对于维护库区安全、生态(水)安全具有现实意义。



基于标准地图服务系统下载的标准地图号为 GS(2024)0650 号的标准地图制作, 底图无修改, 下图同。

图 1 研究区概况

1.2 数据来源

本研究地形数据选取的是 STRM 30 m 分辨率数字高程数据, 来源于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>)。地图来源为国家测绘局地理信息局标准地图 (mnr.gov.cn)。气象数据主要来源于国家青藏高原科学数据中心 (<http://data.tpdc.ac.cn/>)。社会经济数据主要来源于 2005、2010、2015、2020 年《中国农村统计年鉴》《重庆市统计年鉴》以及相关国民经济与社会发展统计公报, 相关缺失数据使用线性插值法补充。

1.3 研究方法

本研究首先分析研究区土地利用的时空演变, 从生产、生态、生活 3 个角度揭示研究区土地利用分布情况, 随后采用熵权法^[18-19]测算研究区耕地利用绿色转型过程中的综合水平, 基于 GIS 技术, 将研究区耕地利用绿色转型以直观、生动的方式呈现出其动态变化趋势。利用空间自相关方法^[20-22], 探讨研究区内耕

地利用绿色转型在空间上的变化效应^[23-27],揭示三峡库区重庆段各区县之间的影响。然后,通过随机森林模型^[28-31],进一步分析影响耕地利用绿色转型时空演变的关键影响因子。

2 理论框架与评价指标体系构建

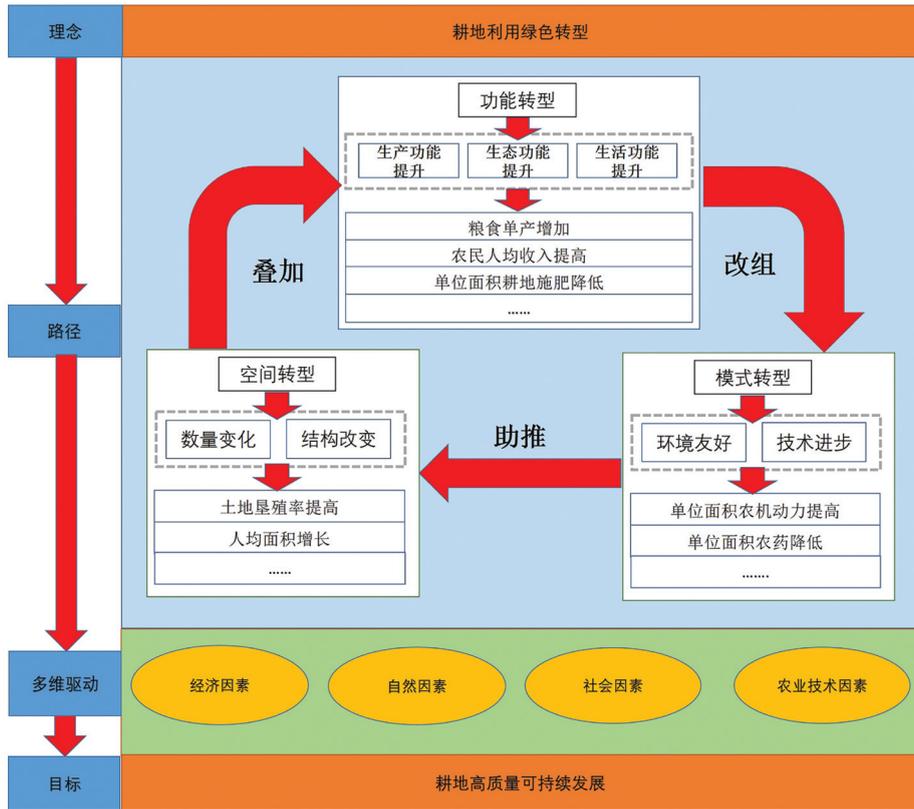
2.1 耕地利用绿色转型内涵

耕地是人类从事农业活动,生产农业产品的基本资源,耕地利用是人类对耕地资源进行的有效管理与使用。绿色转型则是在保持农业生产效率与经济效益的前提下,提高农业活动的环境友好性和可持续性。

耕地利用绿色转型不仅仅是保障粮食安全,保护生态环境的重要举措,同时也是推动农业和农村可持续发展的关键手段,因此厘清耕地利用绿色转型内涵,梳理理论框架对于后续指标体系构建,分析时空演变、空间集聚特征与驱动因素至关重要。从宏观角度上看,耕地利用绿色转型主要强调整个地区、国家、全球范围内的农业可持续发展,可通过政策、制度法规、舆论引导、技术等方式推动农业向生态友好型转变,其更偏向于维护整体系统的健康与稳定。从微观角度上看,耕地利用绿色转型聚焦于具体区域或单一农户情境下的实践活动,其强调通过精准农业、循环农业等措施,优化土地利用方式,提高农业生产效率,减少对环境的影响,实现农业生产与生态保护双赢。微观层面下耕地利用绿色转型更偏向于具体技术与农户行为管理方面的改善。总体来说,耕地利用绿色转型是在保证目标一致的前提下,通过多尺度、多路径实现农业可持续发展。同时,耕地利用绿色转型不只是表面上将耕地利用转型和耕地绿色发展结合,而是涉及到更为深入的系统性整合,是在耕地绿色发展框架与多维因素驱动下,耕地利用系统与内部要素逐渐转型^[32]。耕地利用绿色转型在时空层面的趋势分析主要依托于内部空间转型、功能转型与模式转型相结合^[33],如图 2 所示,其空间模型属于显性转型,主要表现在数量与结构上的转变。功能转型属于隐性转型,是在生产、生态、生活 3 个环境下的综合表达,也可通过市场耕地资源价值的转变表现出地区耕地功能转型^[34]。耕地利用绿色转型不应该只关注空间与功能上的转变,其模式转型也值得关注。模式转型主要表现在环境友好层面与农业技术进步层面的转变。耕地利用绿色转型系统内部并不是将空间转型、功能转型、模式转型简单结合在一起,而是在三峡库区社会因素、经济因素、自然因素、农业技术因素的多维驱动下,空间转型、功能转型、模式转型三者相叠加、重组、助推、复合,以此达到三者彼此影响下的有机结合。考虑到三峡库区地形复杂多变,山地丘陵占据大部分空间,地形起伏大,优质耕地少,农业机械化发展不突出等情况,耕地利用绿色转型不仅解决了在环境条件限制下如何最大化保持节约与促进循环的问题,而且提出使用技术创新实现耕地高质量发展 and 人与自然协调发展的思路。

2.2 评价指标体系构建

针对三峡库区重庆段独特的地形特点,结合耕地利用绿色转型内涵,在考虑数据可得性与准确性情况下,参照学界研究成果^[35-38],本研究构建了重庆三峡库区耕地利用绿色转型的评价指标体系(表 1)。该体系综合考虑了空间转型、功能转型、模式转型 3 个维度,多维度地分析了研究区耕地利用绿色转型能力。首先空间转型表现在显性方面,从数量与结构两个方面选取指标,能够更直观、更综合地表达耕地利用转变情况,人均耕地面积体现研究区内整体与个体的土地利用情况。土地垦殖率体现研究区适宜土地开发利用情况,2005—2020 年,受地表坡度、水土流失等影响,研究区耕地面积减少 721.92 km²,减少率为 2.1%,耕地中优质耕地占比较少,因此只适宜在现有耕地上精耕细作(如提高垦殖率等)。复种指数、粮食作物播种比可以体现三峡库区内土地播种效率;功能转型表现在隐性方面,从生产功能、生态功能、生活功能 3 个方面选取指标,其中单位面积种植业总产值、粮食单产能够直接体现耕地生产能力,单位面积耕地化肥施用量、单位面积耕地人口承载力能反映三峡库区耕地质量(如施用化肥导致的土壤板结、肥力退化等)和承载力,农业从业人员比例、人均粮食产量、农民人均收入与研究区内农民生活质量息息相关;模式转型主要体现在技术进步与环境友好两个层面,在绿色发展理念的指导下,单位面积农机总动力、农业用电、单位面积农药使用量、农业生态环境、水田占比等指标反映出耕地向现代化、绿色化方向转型的程度。



基于高佳等^[14]的资料做了修订。

图 2 耕地利用绿色转型内涵图

表 1 耕地利用绿色转型评价指标体系

目标层	因素层	指标层	指标解释	属性	权重
空间转型	数量	人均耕地面积/($\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$)	耕地面积/地区总人口	+	0.040 5
		土地垦殖率	耕地面积/土地总面积	+	0.064 8
	结构	复种指数	农作物播种面积/耕地总面积	+	0.029 0
		粮食作物播种比	粮食作物播种面积/耕地总面积	+	0.023 3
功能转型	生产功能	单位面积种植业总产值/($\text{万元} \cdot \text{hm}^{-2}$)	农业总产值/农作物播种面积	+	0.292 2
		粮食单产/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	粮食总产量/粮食作物播种面积	+	0.030 8
	生态功能	单位面积耕地化肥施用量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	化肥施用总量/耕地总面积	-	0.024 6
		单位面积耕地人口承载量/($\text{人} \cdot \text{hm}^{-2}$)	农村人口/耕地总面积	-	0.029 8
	生活功能	农业从业人员比例	农业从业人员/地区总人口	-	0.071 9
		人均粮食产量/($\text{t} \cdot \text{人}^{-1}$)	粮食产量/地区总人口	+	0.020 2
模式转型	技术进步	单位面积农机总动力/($\text{kW} \cdot \text{hm}^{-2}$)	农业机械总动力/耕地总面积	+	0.045 4
		农业用电/MWh	一定程度反映机械化现代化水平	+	0.101 9
	环境友好	单位面积农药使用量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	农药使用量/耕地总面积	-	0.015 9
		农业生态环境	林地面积/地区总面积	+	0.058 8
		水田占比	水田面积/耕地总面积	+	0.053 2

基于研究区特定的生态环境视角进行土地利用的划分,不同的土地利用类型常常体现出显著的生态环境差异,将研究区耕地、园地归为生产用地,将林地、草地、水域归为生态用地,将城乡结合地归为生活用地^[39],以此来表达研究区土地“三生”利用总体情况。

3 结果与分析

3.1 研究区土地利用时空演变格局分析

通过遥感解译,得到研究区不同时间生产、生态、生活用地图(图 3),2005—2020 年三峡库区重庆段以生产用地(耕地、园地)和生态用地(林地、草地、水域)为主,占比分别为 30.1%与 60.4%。从空间跨度来看,生产用地主要集中在研究区西部北碚区、长寿区等,西北部忠县、万州区等;生态用地分布于研究区东部武陵山区的武隆区、丰都县、石柱土家族自治县等,东北部秦巴山区的巫溪县、巫山县等;生活用地主要围绕生产用地分布,集中在研究区西部北碚区、渝北区等,这些区域属于重庆传统主城扩展的优先区(现已划归主城区)。从时间跨度来看,2005—2020 年,研究区生产用地在开州区、涪陵区、奉节县等区县逐渐增多,生态用地总体维持不变,生活用地在北碚区、渝北区等区县逐渐增多。研究区整体功能以生产功能和生态功能为主,但生活功能不断提升。

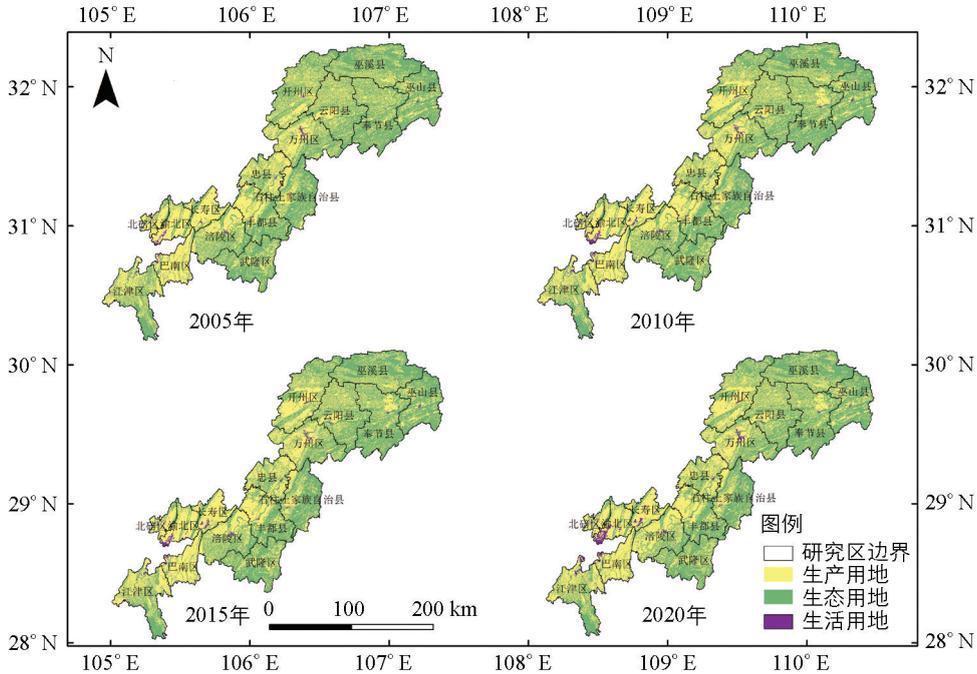


图 3 研究区土地利用分类图

3.2 耕地利用绿色转型时空演变格局特征分析

2005—2020 年研究区耕地利用绿色转型指数如表 2 和图 4 所示,2005、2010、2015、2020 年研究区耕地利用绿色转型指数平均值分别为 0.21、0.24、0.29、0.35,总体呈现上升趋势,表明在绿色发展理念下,研究区耕地利用绿色转型受到了重视,复杂山地丘陵地形下的耕地也可以实现耕地利用绿色转型。

时间上,一是研究区所有区县耕地利用绿色转型综合水平总体表现出增长态势,但各区县增长速率不一样。三峡库区重庆段耕地绿色利用转型指数从 2005 年的 0.21 上升到 2020 年的 0.35,平均提高了 66.67%,其中耕地利用绿色转型增长速率较高的区县是北碚区、江津区、武隆区。这些区县在地理位置上更靠近中心城区,受到中心城区经济与科技辐射较强,区县内部生产用地与生态用地兼具,具有较好的农业发展基础,在经济与科技的支撑下,耕地利用绿色转型水平不断增高。绿色转型增长速率较低的区县是奉节县、涪陵区、巫山县等,这些区县地处三峡库区东部、东北部,多山区林地,区域生态敏感性

高, 导致耕地利用绿色转型进程缓慢, 水平不高; 二是研究区各区县在不同维度下耕地利用绿色转型不同步。整体来看, 空间转型、功能转型、模式转型 3 个维度下, 功能转型相对较快, 空间转型相对较慢。主要因为功能转型中许多指标受政策支持、技术进步、市场驱动等多方面原因的支持, 转型速率较快, 而空间转型则受到自然条件、政策法规、环境保护等多重因素制约, 导致其转型相对较慢。其中江津区、开州区在功能转型维度下转型速率快, 主要得益于政策支持、自然条件相对较好、市场需求的驱动、农业技术推广等。渝北区、涪陵区在空间转型维度下转型速率较慢, 主要是因为城镇化进程下, 农业劳动力减少、生活用地增加、生产用地减少等原因。

表 2 研究区 2005—2020 年耕地利用绿色转型指数

区县	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年	增长率/%
巴南区	0.23	0.25	0.33	0.38	65.22
北碚区	0.21	0.31	0.38	0.37	76.19
丰都县	0.19	0.23	0.27	0.33	73.68
奉节县	0.20	0.23	0.25	0.29	45.00
涪陵区	0.29	0.30	0.31	0.35	20.69
江津区	0.25	0.30	0.34	0.69	176.00
开州区	0.18	0.21	0.25	0.30	66.67
石柱土家族自治县	0.21	0.25	0.28	0.31	47.62
万州区	0.25	0.26	0.32	0.37	48.00
巫山县	0.19	0.20	0.23	0.26	36.84
巫溪县	0.17	0.18	0.30	0.29	70.59
武隆区	0.20	0.25	0.29	0.40	100.00
渝北区	0.20	0.23	0.28	0.33	65.00
云阳县	0.16	0.18	0.23	0.26	62.50
长寿区	0.25	0.26	0.32	0.37	48.00
忠县	0.20	0.22	0.27	0.33	65.00
平均值	0.21	0.24	0.29	0.35	66.67

空间上, 研究区各区县耕地利用绿色转型指数逐步从低值向高值转移, 高值区增多, 总体呈现西南高东北低的分布态势。2005 年, 各区县耕地利用绿色转型指数普遍较低, 其中巫溪县、巫山县、云阳县等地的指数相对较低, 涪陵区耕地利用绿色转型指数最高; 2010 年, 各区县耕地利用绿色转型指数均有所提高, 但仍处于较低水平, 区县间的差异较为明显, 整体提升速度较慢; 2015 年是一个重要转折年, 各区县耕地利用绿色转型指数显著提高, 北碚区、江津区绿色转型指数相对较高, 巫山县、云阳县绿色转型指数相对较低; 2020 年各区县耕地利用绿色转型指数进一步提高, 大部分区县绿色转型指数达到 0.31 以上, 整体转型效果明显。总体来看, 转型指数较高的区县主要集中在西南方向, 如江津区、涪陵区、巴南区, 其在各个时间点上的耕地利用绿色转型指数始终保持在较高水平, 表现出显著的耕地利用绿色转型成效。主要原因是该片区属于城市发展新区, 地形相对平缓, 土壤肥沃, 环境承载力较强, 经济发展水平相对较高, 绿色农业技术与环保措施投资较大, 使得三峡库区西南部(即渝西经济走廊)耕地利用绿色转型指数较高, 绿色转型进展迅速。绿色转型指数较低的区县主要集中在东北方向, 包括开州区、云阳县、巫山县、巫溪县等, 其在各个时间点上的耕地利用绿色转型指数始终处于较低水平, 主要原因是东北部原生自然条件相对较差, 存在地形复杂、山多坡陡、耕地破碎、土壤贫瘠等问题, 环境承载力有限, 同时该地区经济基础薄弱, 经济发展水平不高, 导致其在绿色农业技术方面的外界投资有限。

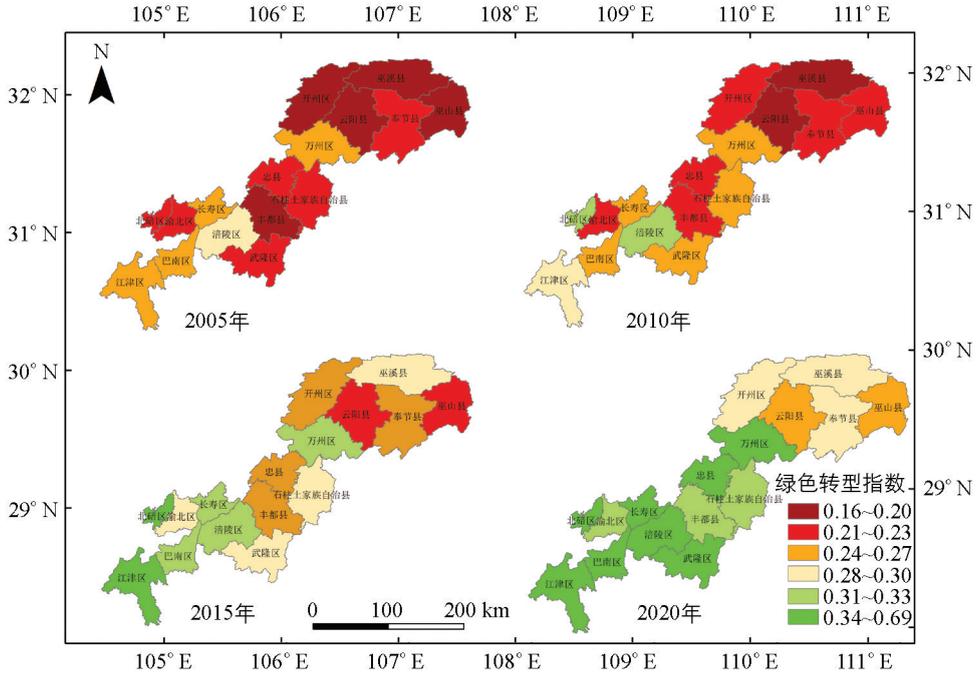


图 4 研究区耕地利用绿色转型时空格局

3.3 耕地利用绿色转型空间集聚特征

经计算得到研究区 2005—2020 年耕地利用绿色转型全局莫兰指数, 如表 3 所示。全局莫兰指数分别为 0.306、0.271、0.180、0.201, 其数值均为正但接近于 0, 表明研究区耕地利用绿色转型指数在空间分布上呈现较弱聚集性, 空间分布更趋向于随机分布而非聚集分布。研究区全局莫兰指数先降低再略有增长, 表明其空间模式存在阶段性转变特征。由于研究区地处复杂丘陵山地区, 空间聚集性减弱, 后期随着长江经济带高质量发展战略(如要搞大保护, 不搞大开发等)的实施推进, 农业技术进步和土地流转力度加大, 耕地的规模化利用程度将有所提升。

局部自相关分析法得到耕地利用绿色转型 LISA 聚类图(图 5), 表明研究区各区县耕地利用绿色转型的不显著区多于显著区, 2005 年巫溪县、巫山县空间集聚类型为低—低, 巴南区空间集聚类型为高一高, 其余区县为不显著区。2010 年研究区各区县空间聚集性特征与 2005 年保持一致。2015 年奉节县空间集聚类型为低—低, 巫溪县、万州区空间集聚类型为高一低, 渝北区空间集聚类型为低—高。2020 年显著区以低—低集聚类型为主, 分别是巫溪县、奉节县。从 2005 年到 2015 年, 高一低聚集区逐渐增多, 虽增幅不大, 但表明部分区县开始从低效耕地利用向高效耕地利用转变。2020 年的低—低聚集区显著, 揭示三峡库区腹地生态脆弱区面临转型滞后的空间锁定风险, 应进行差异化治理。

表 3 2005—2020 年研究区耕地绿色利用转型全局莫兰指数

年份	莫兰指数	年份	莫兰指数
2005	0.306	2015	0.180
2010	0.271	2020	0.201

4 耕地利用绿色转型驱动因素

上述分析显示, 研究区耕地利用绿色转型倾向于随机分布, 而非集聚分布。传统的地理探测器方法要求数据具有特定的空间分布模式, 因此使用它来探究该区域的驱动因素可能导致分析结果的局限性。而随机森林模型通过处理高维数据和非线性关系, 建立决策树以增强泛化能力, 能精确分析影响研究区耕地利用绿色转型的各种因素。本研究从自然因素、经济因素、社会因素、农业现代化因素 4 个方面选取 13 个指

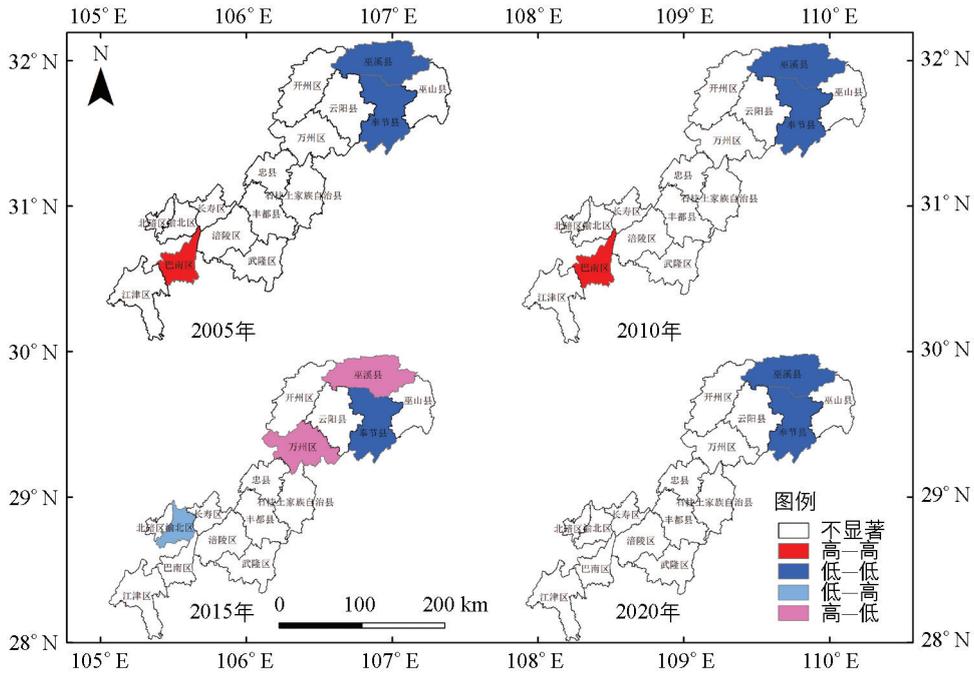


图 5 耕地利用绿色转型 LISA 聚类图

标对研究区耕地利用绿色转型驱动因子进行分析(表 4)。

自然因素方面,选取降雨量、气温、坡度、高程、与主城区距离 5 个指标。降雨量与气温是决定耕地利用绿色转型发展的重要自然因素,它们不仅直接决定了耕地土壤状态与水源含量,还间接决定农耕的适宜性,对耕地的生产力与可持续发展能力产生深远影响。坡度与高程是三峡库区内粮食生产中极为关键的自然因素,影响耕地的分布、农业机械化普及程度和粮食的成熟期。与主城区距离反映了其接受主城经济与科技辐射的强度大小及对农产品需求的强弱,间接影响了农业耕作。5 个指标同时也影响耕地利用绿色转型系统内部要素之间的联系、系统整体功能与外部之间的关联,从而影响了耕地利用绿色转型发展^[40]。

经济因素方面,选取人均国内生产总值、农业生产总值比例、第二产业占比和第三产业占比 4 个指标。人均国内生产总值反映各区县的经济发展水平及其对耕地利用绿色转型的投资差异,进而直接影响耕地利用绿色转型的发展程度^[41]。农业生产总值比例不仅反映出各区县农业经济发展程度,还反映出各区县对农业的依赖程度,进一步影响农业现代化实践与耕地可持续发展的实施进程。第二产业与第三产业占比主要反映出经济结构转变、资本投入与政策支持等方面对研究区耕地利用绿色转型与粮食生产方面的影响。

社会因素方面,选取人口密度和城镇化水平两个指标。人口密度与城镇化水平会影响研究区内资源水平与生态环境^[42]、生产用地与生活用地、农耕地与建设用地之间的矛盾。人口密度通过增加食物需求压力和影响耕地可用性,促使地区采纳更高效和持续的耕作技术,以提升土地利用效率。城镇化水平的提升带动了农业技术进步与农产品市场化(对农产品数量和质量需求)提高,进而推动各区县耕地利用绿色转型进程。

农业现代化因素方面,选取农业机械化水平与农民人均收入增长率两个指标。农业机械化水平与农民人均收入增长率直接反映了农业生产效率的提升和农民经济福利的改善。农业机械化水平能够显著反映出各区县耕地生产力与利用率,其水平的提升对耕地利用绿色转型产生积极影响。农民人均收入增长率能够反映一定程度的农业现代化程度^[43-44],农民人均收入增长率的提高有利于提升耕地利用绿色转型投资成功率。

将上述指标导入到随机森林模型中,得到 2005、2010、2015、2020 年三峡库区重庆段耕地利用绿色转

型驱动因子重要性排序(图 6)。

表 4 研究区耕地利用绿色转型驱动因素

因素层	驱动因子	公式
自然因素	降雨量/mm	年平均降水
	气温/℃	年平均气温
	坡度/(°)	ArcGIS 计算
	高程/m	ArcGIS 计算
	与主城区距离/km	ArcGIS 计算
经济因素	人均国内生产总值/(元·人 ⁻¹)	GDP/总人口
	农业生产总值比例	农业 GDP/GDP
	第二产业占比	第二产业 GDP/GDP
	第三产业占比	第三产业 GDP/GDP
社会因素	人口密度/(人·hm ⁻²)	总人口/总土地面积
	城镇化水平	非农人口/总人口
农业现代化因素	农业机械化水平/(kW·hm ⁻²)	农业机械总动力/农作物播种面积
	农民人均收入增长率	(本年人均收入-上年人均收入)/上年人均收入

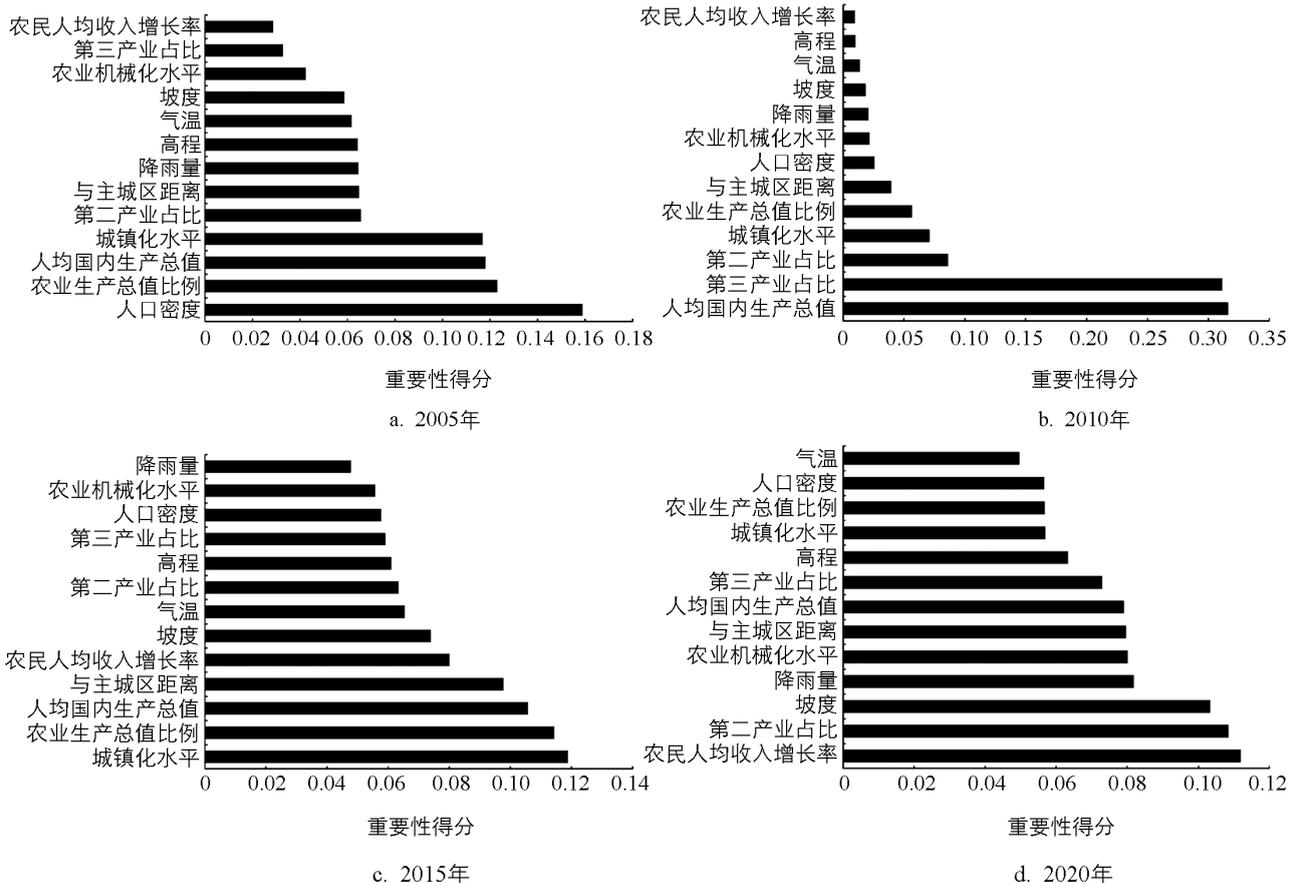


图 6 随机森林分析结果

2005年,人口密度、农业生产总值比例、人均国内生产总值是对研究区绿色转型影响较大的因子。人口密度过高意味着对耕地资源需求增高,在耕地资源有限的情况下,其推动研究区农业集约化利用,农业

生产向更高效、更环保的方式转变,进而对绿色转型产生重要影响。农业生产总值比例、人均国内生产总值则反映了地区对农业的依赖程度与对绿色转型的投入水平,农业生产总值比例高表明研究区农业经济占有重要地位,较高的人均国内生产总值通常与较高的经济水平和较高的环保意识相关联,二者将推动研究区农业绿色转型的投入,促使研究区更加重视农业可持续发展与绿色转型,是推动耕地利用绿色转型的根本动力。2010年,第二产业占比、第三产业占比、城镇化水平成为主要影响因子,第二产业占比、第三产业占比与城镇化水平改变表明地区经济结构发生改变,第二产业占比增高迫使研究区考虑如何通过绿色技术与可持续实践来平衡工业发展和环境保护,进一步影响研究区耕地利用绿色转型。第三产业占比提高将对高质量和环境友好型农产品的需求增加,从而推动绿色转型进步。城镇化发展意味着对农产品数量和质量(如更多健康安全的农产品)需求增加,有助于提高农业生产效率,加速农业绿色转型。2015年,影响耕地利用绿色转型的关键因子是城镇化水平、农业生产总值比例、人均国内生产总值,坡度、气温、高程等自然因素影响占比提高。到2020年,农民人均收入增长率、第二产业占比、坡度、降雨量逐渐成为影响研究区耕地利用绿色转型的关键因素,这表明耕地利用绿色转型受经济活动与自然因素双重影响。农民人均收入增长率的提升伴随着生活水平的提高,居民追求更高的生活质量,将对环境质量和可持续农业实践提出更高要求,使得耕地利用绿色转型受到的影响加剧。降雨量直接影响耕地水分供给,适度的降水有助于作物生长,而降雨过量将导致土壤侵蚀、水土流失、土壤肥力下降,使得耕地质量降低。这种现象在山地丘陵区尤其明显,陡峭的坡度与起伏较大的地形使得降雨更容易引发此类问题。

自然因素从2015年起影响占比提高,到2020年,坡度、降雨量成为影响耕地利用绿色转型的重要因素。表明自然因素虽然是客观存在但不是静态的,气候改变给研究区耕地利用绿色转型带来了一定影响,通过前文研究得到重庆三峡库区主要以生态用地为主,研究区大部分地区生态系统脆弱,环境承载力较差,随着经济活动的增加,环境承载力逐渐接近或超过阈值,导致自然因素(如降雨量、坡度)的限制作用变得更加明显。由图3得知,研究区生活用地增加,表明在城市化进程的不断推进下,经济结构逐渐改变,生活用地的扩展和基础设施的建设(如道路、桥梁)将导致研究区地形、地表径流发生改变,致使研究区自然因素(如降雨量、坡度)的影响更加显著。2014年,《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》出台,城镇化扩张加快,中国对于环境保护与可持续发展的重视程度逐渐提高,出台了多项政策与措施。这些政策的实施加剧了自然因素对耕地利用绿色转型的影响。例如,退耕还林政策限制了耕地的拓展,使得耕地必须在原有自然因素的限制下进行生产与转型,这表明在农业生产水平和技术达到一定程度(面临某种瓶颈)后,在某些政策的加持下,坡度、海拔等山区自然环境因子作为农业生产的硬约束条件,对农业绿色转型利用的影响力日渐凸显。

综合来看,研究区前期(2005—2010年)对耕地利用绿色转型影响最大的是农业生产总值比例、人均国内生产总值、第二产业占比、第三产业占比等经济指标,自然因素指标影响不强。后期(2015—2020年)坡度、降雨量等自然因素影响增强,与农民人均收入增长率、第二产业占比共同成为影响研究区耕地利用绿色转型的关键因子,这表明经济发展与自然环境的复杂互动共同影响了耕地利用绿色转型。未来需要在经济发展和生态环境保护之间找到平衡点,确保农业高质量、可持续发展。

5 结论与政策启示

5.1 结论

本研究聚焦于2005—2020年间三峡库区重庆段的16个区县,探讨研究区耕地利用绿色转型的时空演变趋势与驱动因素,研究结论如下:

(1) 2005—2020年,研究区各区县耕地利用绿色转型水平整体较低,但呈波动上升趋势,平均绿色转型指数提高了66.67%。

(2) 研究区不同(空间、功能、模式)维度耕地绿色利用转型不同步,功能转型较快,空间转型较慢。

(3) 研究区耕地利用绿色转型存在空间差异,水平较低的区县主要集中在研究区东北部,如云阳县、巫山县、奉节县,而水平较高的主要分布在西南部重庆中心城区的周边区县,如巴南区、北碚区、江津区。

(4) 研究区耕地利用绿色转型的不显著区多于显著区,空间集聚更偏向于随机分布。

(5) 随着时间迁移,研究区受到自然、经济、社会、农业现代化等因素的多维驱动,在不同年份表现出对耕地利用绿色转型不同的主要驱动因子,前期(2005—2010年)研究区耕地利用绿色转型的主要驱动因子是社会、经济因子,如农业生产总值比例、人均国内生产总值、第二产业占比、第三产业占比,后期(2015—2020年),坡度、降雨量等自然因素对研究区耕地利用绿色转型的影响开始凸显,与农民人均收入增长率、第二产业占比等经济因素共同成为影响耕地利用绿色转型的关键因子。

5.2 政策启示

第一,三峡库区重庆段耕地利用绿色转型正处于积极发展阶段,存在一定的提升空间。因此在明确耕地利用绿色转型是一个系统的前提下,需要对内加强耕地利用绿色转型系统内各要素彼此之间的相互联系,优化空间转型、功能转型、模式转型三大子系统的协调共进联动模式,对外强调自然、社会、经济等因素对地区耕地利用绿色转型的影响,促进人与自然协调可持续发展。三峡库区重庆段各区县应积极寻找耕地生产力与耕地利用绿色转型的平衡点,最大化触发空间转型、功能转型、模式转型三大子系统的协调联动效应。

第二,三峡库区重庆段各区县耕地利用绿色转型水平存在较大差异,因此需要因地制宜采用适宜的方法提升耕地利用绿色转型发展水平。例如,研究区东北部具有自然条件差、生态承载力弱等问题,因此需要在维护地区生态环境的情况下开展农业生产,发展现代山地生态农业。研究区西南部属于城市发展新区,具有经济水平较为突出、农业现代化水平较高等特点,因此需要继续推动农业现代化转型、技术转型,发展精细农业、设施农业等。

第三,随着时间推移,三峡库区重庆段影响耕地利用绿色转型水平的主导因素开始转变。影响耕地利用绿色转型主导因素的转变反映出地区发展动态的自然演进也在不断变化,这说明耕地利用绿色转型是一个多维度、动态调整的过程,需要根据不同阶段的实际情况灵活应对。在经济发展初期,发展目标主要是提高农业生产总值与生产效率,因此在开展耕地利用绿色转型时,需保障生产与转型协调统一。随着经济水平逐渐提高,农民人均收入不断增高,耕地利用绿色转型将聚焦于科技进步与高质量发展,在农业现代化的驱动下实现人地协调发展,同时坡度、降雨量等自然因素对耕地利用绿色转型的影响也逐渐加剧,需合理调整研究区土地利用结构和布局,采用生态恢复工程、水土保持工程,利用先进农业科技手段等措施促进农业可持续发展。

研究表明,三峡库区重庆段耕地利用绿色转型指数逐步上升,其时空变化特征与当前可持续发展目标相符合^[32-34]。本研究根据耕地利用绿色转型内涵,结合研究区时空演变特征、空间集聚特征和时空演变的驱动因素,得到研究区耕地利用绿色转型发展特点,厘清发展趋势,提出研究区耕地利用绿色转型相应的方向,对现有研究形成一定补充^[3,11-12,24,37-40]。但是耕地利用绿色转型是一个空间转型、功能转型和模式转型的复杂系统,与流域(区域)农业高质量发展要求、山区多变的自然环境条件等存在复杂联系。因此梳理在复杂山地丘陵地区的耕地利用绿色转型与农业高质量发展之间的关系、互动机制等成为未来的研究重心。

参考文献:

- [1] 吴宇哲,沈欣言.中国耕地保护治理转型:供给、管制与赋能[J].中国土地科学,2021,35(8):32-38.
- [2] 魏钰邦,甘藏春,程建,等.论土地绿色利用[J].中国土地科学,2021,35(10):27-34.

- [3] 盖美,杨尚菲,何亚宁. 东北粮食主产区农业绿色发展水平时空演化及其影响因素 [J]. 资源科学, 2022, 44(5): 927-942.
- [4] 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.
- [5] 谢京. 黑龙江省垦区耕地利用绿色转型研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2023.
- [6] 崔海莹. 湖北省耕地利用绿色转型对农业经济增长的影响研究 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2023.
- [7] 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.
- [8] 柯新利,邓洁,宋钰. 长江经济带耕地利用绿色转型与城乡融合耦合协调发展的时空格局研究 [J]. 生态学报, 2024, 44(13): 5773-5785.
- [9] 杨斌,杨俊,王占岐,等. 长江经济带耕地绿色低碳利用的时空格局及其成因分析 [J]. 中国土地科学, 2022, 36(10): 63-71.
- [10] 朱平宗,张峰,冯滔,等. 三峡库区小流域典型植物群落水源涵养功能 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(2): 133-144.
- [11] 王树文,祁源莉, FARHED A. SHAH. 三峡工程对生态环境与生态系统的影响及政策分析模型研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(5): 106-113.
- [12] 刘睿,周李磊,彭瑶,等. 三峡库区重庆段土壤保持服务时空分布格局研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(6): 932-942.
- [13] 王佳慧,史邵华,付千好,等. 三峡库区不同支流浮游植物群落季节动态比较研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(5): 68-82.
- [14] 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.
- [15] 廖桃,温兆飞,周旭,等. 三峡库区重庆段森林长势空间分异性及其驱动因子 [J]. 生态学报, 2022, 42(10): 4076-4090.
- [16] 叶琰,翁薛柔,马黎华,等. 基于 ITA 的三峡库区地温时空演变格局 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(8): 151-164.
- [17] 崔红婧,褚琳,尹雅琦,等. 1990—2020 年三峡库区植被物候时空格局及其演变机制 [J]. 生态学报, 2024, 44(9): 3775-3790.
- [18] 孙鲁云,王力. 基于层次分析法-熵权法的中国棉花质量综合评价与分析 [J]. 江苏农业学报, 2022, 38(3): 642-649.
- [19] 李俊甫,房阿曼,吴克宁,等. 河南省耕地“非粮化”空间分异特征及其驱动因素分析 [J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(11): 23-34.
- [20] 史书汇,王晓云,李发文. 淮河流域皖西大别山区地形因子与水系结构关联性分析 [J]. 水资源保护, 2024, 40(1): 117-126.
- [21] 王怡然,王雅晖,杨金霖,等. 黄河流域森林生态安全等级评价与时空演变分析 [J]. 生态学报, 2022, 42(6): 2112-2121.
- [22] MENG F, TAN Y Z, CHEN H. Decoupling Relationship between Greenhouse Gas Emissions from Cropland Utilization and Crop Yield in China: Implications for Green Agricultural Development [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30(43): 97160-97177.
- [23] 崔瑾,李馨诺. 陕西省新型城镇化与乡村振兴耦合协调发展研究 [J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(2): 170-179.
- [24] 刘玉洁,张安录,刘蒙罢. 长江中下游粮食主产区城镇化与耕地利用生态效率耦合协调度时空格局分析 [J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(8): 106-118.
- [25] YANG L S, FENG Q, LU T X, et al. The Response of Agroecosystem Water Use Efficiency to Cropland Change in Northwest China's Hexi Corridor [J]. Agricultural Water Management, 2023, 276: 108062.

- [26] 戈大专, 龙花楼, 杨忍. 中国耕地利用转型格局及驱动因素研究——基于人均耕地面积视角 [J]. 资源科学, 2018, 40(2): 273-283.
- [27] 赵午冬, 李旭谱, 张立伟, 等. 重大公共卫生安全事件下城市居民对绿地类型及生态系统服务的需求时空演变特征 [J]. 生态学报, 2024, 44(10): 4157-4169.
- [28] BREIMAN L. Random Forests [J]. Machine Learning, 2001, 45(1): 5-32.
- [29] 杨练兵, 陈春波, 郑宏伟, 等. 基于优化随机森林回归模型的土壤盐渍化反演 [J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(9): 1662-1674.
- [30] 李业涵, 周媛, 吴雪飞. 基于地理探测器和随机森林模型的区域景观游憩服务潜在供应评估方法研究——以亚热带湿润淮阳低山景观区为例 [J]. 生态学报, 2024, 44(13): 5629-5645.
- [31] 李光一, 李海萍, 万华伟, 等. 随机森林算法在新疆物种丰富度影响因素研究中的应用 [J]. 中国环境科学, 2021, 41(2): 941-950.
- [32] 龙花楼. 土地利用转型的解释 [J]. 中国土地科学, 2022, 36(4): 1-7.
- [33] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴 [J]. 地理学报, 2018, 73(4): 637-650.
- [34] 柯楠, 卢新海, 匡兵, 等. 碳中和目标下中国耕地绿色低碳利用的区域差异与影响因素 [J]. 中国土地科学, 2021, 35(8): 67-76.
- [35] 龙花楼, 屠爽爽. 土地利用转型与乡村振兴 [J]. 中国土地科学, 2018, 32(7): 1-6.
- [36] 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.
- [37] 徐志雄, 徐维祥, 刘程军. 环境规制对土地绿色利用效率的影响 [J]. 中国土地科学, 2021, 35(8): 87-95.
- [38] 卢新海, 崔海莹, 柯善淦, 等. 湖北省耕地利用绿色转型与粮食安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.
- [39] 夏春华, 李阳兵, 曾晨岑, 等. 三峡库区坡耕地利用转型及其社会经济-生态环境影响——以奉节县为例 [J]. 生态学报, 2023, 43(7): 2688-2702.
- [40] 张红梅, 宋戈, 姚双双. 粮食种植结构视角下东北黑土区耕地利用结构调控研究 [J]. 农业机械学报, 2023, 54(3): 198-209.
- [41] 闫晓静, 边宏广, 孟悌清, 等. 农业经济与绿色经济协同发展动力机制及实现路径 [J]. 农业经济, 2023(3): 12-14.
- [42] 张玥, 代亚强, 陈媛媛, 等. 中国耕地低碳利用效率时空演变及其驱动因素 [J]. 农业工程学报, 2022, 38(8): 234-243.
- [43] 姚成胜, 黄琳, 吕晞, 等. 基于能值理论的中国耕地利用集约度时空变化分析 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(8): 1-12.
- [44] 赵建军, 张洪岩, 王野乔, 等. 基于 AHP 和 GIS 的省级耕地质量评价研究——以吉林省为例 [J]. 土壤通报, 2012, 43(1): 70-75.

责任编辑 包颖