

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2025.06.008; CSTR:32311.14.rswc.2025.06.008.

屠晓, 钟太洋. 基于可解释机器学习的耕地卫片监督实施效果评价[J]. 水土保持研究, 2025, 32(6): 216-224.

Tu Xiao, Zhong Taiyang. Assessing the implementation effect of arable land satellite monitoring based on interpretable machine learning[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025, 32(6): 216-224.

基于可解释机器学习的耕地卫片监督实施效果评价

屠晓, 钟太洋

(南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210023)

摘要: [目的] 耕地卫片监督主要包括耕地卫片监测和后续的排查整改两个部分。评价耕地卫片监督的实施效果旨在探讨其对耕地保护的影响程度, 为完善自然资源监管体制提供参考。[方法] 采用 XGBOOST 和 SHAP (Shapley Additive Explanations) 方法, 识别 2015—2021 年影响 31 个省级行政区耕地面积变化率的主要因素及影响力大小, 拟合各省级行政区耕地面积变化率特征值和 SHAP 值用以评估二者的线性关系, 并分析耕地卫片监督实施效果的区域异质性特征。[结果] (1) 耕地卫片监测实施时长与耕地变化率呈显著正相关, 表明该措施有效减少了耕地流失。(2) 耕地流出问题排查整改对耕地保护具有积极影响, 其重要性高于耕地卫片监督的实施时长, 证实了发现耕地问题图斑后的整改工作至关重要。(3) 耕地卫片监测的实施效果具有区域异质性, 即东部地区如河北省、山东省和江苏省的耕地保护效果较好, 而中西部地区如贵州省、重庆市和陕西省则在耕地流出问题排查整改方面保护效果更为显著。[结论] 耕地卫片监督配合年度耕地流出问题排查整改建立起“测、查、改、补”的监管体系, 对发现、遏制耕地流失, 整改、恢复流出耕地具有积极作用, 但由于各地方政策推行时间差, 其实施效果尚未完全显现。

关键词: 耕地保护; 政策评价; 可解释机器学习; 区域异质性

中图分类号: P963

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2025)06-0216-09

Evaluation of implementation effectiveness of farmland satellite monitoring based on explainable machine learning

Tu Xiao, Zhong Taiyang

(School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: [Objective] Satellite monitoring of farmland mainly includes satellite imagery monitoring and subsequent investigation and remediation. Evaluating the implementation effectiveness of farmland satellite monitoring aims to explore its impact on farmland protection and provide references for improving the natural resources regulatory system. [Methods] The Extreme Gradient Boosting (XGBOOST) and Shapley Additive Explanations (SHAP) methods were used to identify the main factors influencing the farmland area change rate and their impact magnitude in 31 provincial-level administrative regions from 2015 to 2021. The feature values of farmland area change rates and SHAP values in each provincial-level administrative region were fitted to evaluate their linear relationships, and regional heterogeneity of the implementation effectiveness of farmland satellite monitoring were analyzed. [Results] (1) The implementation duration of farmland satellite monitoring was significantly positively correlated with the farmland change rate, indicating that this measure effectively reduced farmland loss. (2) The investigation and remediation of farmland outflow had a positive effect on farmland protection, with importance higher than the implementation duration of farmland satellite monitoring, confirming that the remediation efforts after the occurrence of farmland problematic spots was crucial. (3) The implementation effectiveness of farmland satellite monitoring showed regional heterogeneity: the farmland protection effect was

收稿日期: 2024-09-14

修回日期: 2025-01-20

接受日期: 2025-02-20

资助项目: 国家自然科学基金项目(42261144750) 面向环境安全的绿色经济理论探索与实践: 中国和白俄罗斯耕地利用视角的比较分析

第一作者: 屠晓(2000—), 女, 安徽六安人, 硕士研究生, 研究方向为乡村土地利用和耕地保护。E-mail: tuxiaogeo@163.com

通信作者: 钟太洋(1976—), 男, 江西于都人, 博士, 教授, 主要从事乡村土地利用与食物地理研究。E-mail: zty@nju.edu.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

better in eastern regions such as Hebei Province, Shandong Province, and Jiangsu Province, while the protection effect of investigation and remediation of farmland outflow was more significant in central and western regions such as Guizhou Province, Chongqing Municipality, and Shaanxi Province. [Conclusion] Farmland satellite monitoring, combined with annual investigation and remediation of farmland outflow, establishes a “monitoring, investigating, remedying, replenishing” regulatory system. It has played a positive role in discovering and curbing farmland loss, as well as remedying and restoring lost farmland. However, due to differences in policy implementation time across regions, the implementation effectiveness have not been fully realized yet.

Keywords: protection; policy evaluation; interpretable machine learning; regional heterogeneity

耕地资源是一类重要的自然资源,充足的耕地资源是保障国家粮食安全、农业发展及经济社会稳定的根基。近年来,工业化进程推进、快速城镇化发展,城镇建设用地、工业用地违法违规占用耕地现象频发,不仅减少耕地面积,还破坏土壤耕作层,降低优质耕地生产力,引发水土流失等生态环境问题^[1]。因此,亟待从技术层面建立耕地资源监督监测机制,充分摸清耕地保有量、明确耕地基础数据。2000年起,我国原国土资源部部署土地卫片执法检查,借助卫星遥感监测耕地、建设用地、工矿用地及其他农用地动态变化,监督并督促整改“未批先建”“批小建大”等土地违法行为。自2011年实现全国覆盖以来,执法方式不断创新,已形成基本稳定的土地利用动态监测覆盖体系^[2]。

土地卫片执法对遏制建设用地占用耕地的土地违法行为具有显著有效性。尽管如此,第二次全国土地调查期间,我国的耕地流失问题仍较为突出。除“非农化”导致的耕地减少外,耕地流向林地、草地、园地等其他农用地及农业设施建设用地导致的“非粮化”也是重要原因^[3]。然而,截至2020年,我国耕地利用动态监管体系以“非农化”为主要监管对象,缺乏对“非粮化”的监督监测方案和管理实践。为充分落实最严格的耕地保护制度、填补对耕地“非粮化”的监管缺失,2021年3月,自然资源部建立耕地卫片监督工作机制,进一步细化卫片执法检查领域,专门对耕地利用变化开展了动态监测,包括耕地转为林地、园地、草地等其他农用地及农业设施建设用地情况。

目前,定期更新的 Landsat 等卫星遥感影像^[3]、GIS 技术^[4]、GNSS^[5]技术被广泛应用于全球耕地损失监测及预测,且已有学者探讨耕地利用监测工具的有效性。一是采用遗传算法结合离散二进制粒子群改进最佳指数因子的特征优选方法、随机森林分类方法、人机交互解译法等评估监测工具在多大程度上有助于满足农田监测需求^[6]。二是聚焦于监测精度,集中讨论了高分辨率遥感方法对不同尺度农田利用变化监测的有效性^[7]。例如,Admire 等^[8]借助高分辨率

卫星 GF-2 影像在 90% 的准确度上有效识别中国广东省、河北省建设用地占用耕地情况;Lomba 等^[9]的研究表明欧盟综合管理和控制系统(Integrated Administration and Control System)的高分辨率地块识别系统(Land Parcel Identification System)相较于传统方式能有效支持欧盟高自然价值农田的评估与监测;Milenov 等^[10]关注欧盟 geo land2 项目的农业应用,证实 Sentinel 等系列卫星获取的高分辨率土地覆盖数据可提升其对欧洲农田撂荒现状监测和风险评估的适用性。实际上,耕地监测效果不仅取决于技术本身,还依赖于与技术相协调的监督制度与执法保障。然而,现有研究大多分离耕地利用监测工具与耕地保护监督制度,单一地分析监测工具或监督制度的有效性,而少有研究关注二者相结合的耕地保护效果。此外,上述研究大多聚焦于评估二者对遏制耕地违法违规转为建设用地的有效性,因政策供给相对不足,少有研究阐述和评估关于耕地转为林地、园地等其他农用地的监管机制及有效性。耕地卫片监督作为填补上述监管缺口的创新性政策供给,一方面整合技术与监督制度,基于卫星遥感影像科学化耕地保护监督机制;另一方面将耕地转为其他农用地纳入监管范围。因此,本研究探讨耕地卫片监督的耕地保护效果完善了遥感技术应用于耕地保护的理论框架,旨在提升土地执法效能,健全耕地资源监管体系。

政策与规划通过约束与疏解以达成一定区域、时间内的土地利用目标,优化国土空间布局。耕地保护政策有效性评估多采用传统的回归模型,微观尺度上既有结合问卷访谈开展定性分析,也有定性与定量相结合的案例研究。一是基于政策特点,采用定量方法如 Logistic 回归^[11]、多元线性回归^[12]、倾向值匹配法^[13]、双重差分法^[14]、断点回归法、工具变量法等开展政策有效性评估^[15],评价政策实施对耕地保护指标优化、耕地细碎化治理、建设用地布局优化和粮食生产供需平衡的影响^[16]。既关注单项政策如耕地保护生态补偿制度、占补平衡制度、土地督查制度等,也有系统梳理新中国成立以来耕地保护政

策的演化路径和阶段特征,分析不同时期各类政策手段组合实施下的耕地保护成效^[17]。二是从区域内农户耕地保护意愿、行为意识和行为方式的视角,研究政策对农户耕地保护行为的多重影响,基于农户行为意愿和认知的中介效应分析其对区域耕地保护效果的调节作用^[18]。三是在分析土壤理化性质的基础上,研究土地整治对小尺度单元区域内耕地质量动态变化的影响^[19]。

评价耕地保护政策效果为政策的沿用、修正和废止提供重要参考。上述分析表明,尽管我国的土地卫片执法检查进一步细分出耕地卫片监督以加强对耕地利用的监测监管,但对其耕地保护机制、效果评价的研究尚未见报道。此外,耕地卫片监督作为耕地利用动态监测的技术性手段,服务于耕地保护全要素,其推行时间尚短且各地推行时间不同,传统的回归模型评估其效果并不理想。评价耕地卫片监督实施效果旨在挖掘耕地面积变化的主要影响因素,解释存在个体强度差异的政策变量与耕地面积变化的关联性。而实施强度分析本质上是一个分类问题,机器学习模型对解决分类问题有良好效果。在较长一段时间内机器学习因难以揭露模型内部决策过程被视为“黑箱”方法,模型的解释性一直是重要课题。引入 SHAP 值的 XGBoost 模型作为一种全局解释性方法,通过计算每个特征的 SHAP 值量化模型对预测结果的贡献,能够较为清晰地呈现个体耕地面积变化与输入政策特征的关联性^[20]。已有学者将可解释的机器学习方法运用于政策评估以识别政策因果效应^[21],但尚未有研究使用机器学习方法评估耕地卫片监督的效果。基于此,本文采用可解释的机器学习方法分析耕地卫片监督对耕地面积变化率的影响力。研究选取全国各省级行政区 2015—2021 年的耕

地面积变化率作为因变量,采用可解释机器学习方法进行政策因果分析,主要解决两个问题:一是耕地卫片监测及耕地流出问题排查整改的有效性,二是耕地卫片监督实施效果是否具有区域异质性。

1 政策逻辑与理论假设

1.1 政策逻辑

根据 2021 年自然资源部印发的《耕地卫片监督方案(试行)》(自然资办发[2021]32号),耕地卫片监督是以全国耕地和永久基本农田保护目标地块图斑为基础,通过比对不同时期卫星遥感影像结合实地举证核实耕地变化情况,采取半年通报、年度检查评估的监督方式。为进一步排查卫片监督未能充分发现的耕地流失并及时整改问题地块以恢复为耕地用途,2022 年 6 月,中华人民共和国自然资源部办公厅和国家林业和草原局办公室印发了《2021 年度耕地流出问题排查整改方案》,各省随后细化并实施地方耕地流出问题排查整改方案。

1998 年土地管理法修订以来,我国耕地利用监管体系存在 4 个明显的薄弱区:一是对建设用地占用耕地遏制不到位产生的管控薄弱区。由此产生的耕地流失长期挤压农业发展空间;二是对建设用地占用耕地补充不到位产生的薄弱区,使得耕地数量减少、质量降低,影响粮、油、棉等基础性农作物生产;三是对耕地转为其他农用地管控缺失产生的薄弱区,耕地的非粮化程度攀升,挤压粮食生产空间;四是对农业设施建设用地占用耕地管控缺失产生的薄弱区,对耕地数量和质量均产生威胁。耕地卫片监督主要覆盖上述薄弱区一、薄弱区三、薄弱区四,耕地流出问题排查整改主要覆盖上述薄弱区二,形成“从测到查—从查到改—从改到补”的耕地监管逻辑闭环(图 1)。

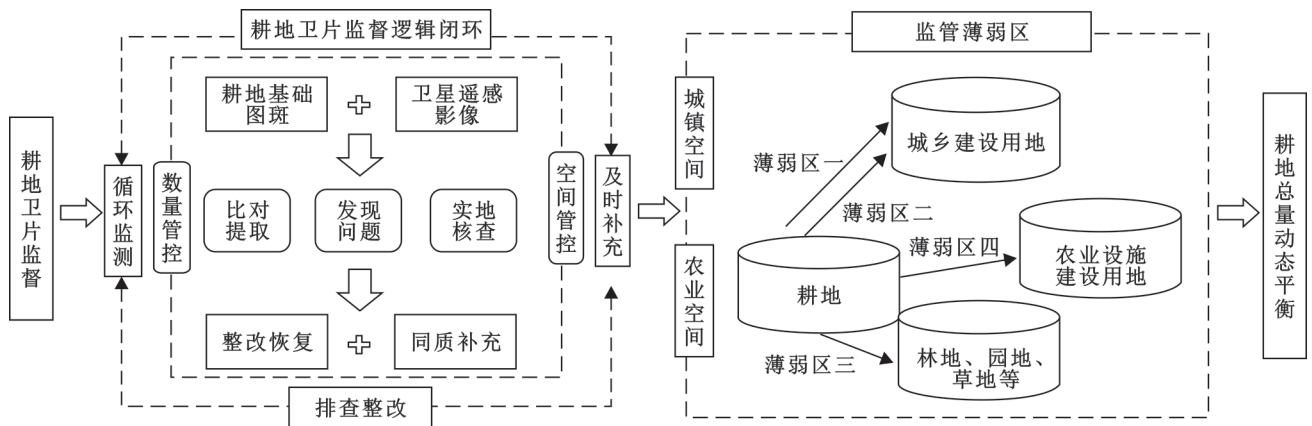


图 1 耕地卫片监督工作机制

Fig. 1 Supervision mechanism satellite monitoring

1.2 理论假设

基于上述政策机制分析,耕地卫片监督遵循动

态监测、监督整改协同推进的原则,与年度耕地流出问题排查整改协同实施,对耕地流向其他农用地、耕

地流向建设用地情况分类处置、跟进整改,并加强土地违法立案和查处工作,以实现耕地总量不减少、质量不降低的耕地保护目标。对此,本文提出以下研究假设:一是耕地卫片监督借助卫星遥感监测加强了耕地流失的问题发现机制,耕地卫片监督实施强度越高的地区耕地保护效果越好;二是各地区耕地卫片监督实施细则推行时长和耕地资源本底条件存在差异,耕地卫片监督的实施效果具有区域异质性;三是实施耕地流出问题排查整改加强了对流失耕地的整改和及时复耕,有助于稳定地方耕地保有量。

2 方法和数据

2.1 变量选择

2.1.1 关键政策变量的表达 根据上文政策逻辑部分,耕地卫片监督要求地方结合自然资源部下发的卫星遥感影像,实地举证核实疑似问题地块,动态监测耕地利用变化情况。实际上,耕地卫片监督的执行包括中央“政策发布”到地方“实施部署”的政策响应过程。2021年起各省级行政区陆续发布耕地卫片监督实施细则,部署地方的耕地卫片监测工作。因此,地方存在因政策响应时间不同引发的年度耕地卫片监测强度差异。为表征这一差异并进一步评估其对耕地保护效果的影响,本研究选取各省级行政区当年的耕地卫片监督细则推行时长作为核心政策变量。此外,2021年起部分省、市自然资源部门出台耕地流出问题排查整改细则,强化基于卫星遥感影像的核查整改工作,并将整改后的耕地纳入2021年度国土变更调查成果中。基于此,为表征地区耕地排查整改的强度差异,本研究以省级行政区耕地流出问题排查整改细则覆盖的耕地面积占比表征整改强度。

2.1.2 其他控制变量的选择 本文考虑的控制变量包括土地执法监察强度^[22]、农业禀赋^[23]、城镇化水平^[24]、经济发展水平、交通建设、农户知识水平^[23]。陈志刚等^[25]的研究表明土地执法监察有助于减少土地违法。本文选取各省级行政区土地违法历年隐漏案例中涉及的耕地面积表征土地执法强度,当年查出的历年隐漏案例涉及耕地面积越多,表明当年的土地执法监察力度越强。数据来源于《中国国土资源统计年鉴》和《中国自然资源统计年鉴》。此外,钱静雯^[26]、程永生^[23]等的研究表明农业生产禀赋越突出的地区耕地保护力度通常越强。基于此,本文选取当年粮食产量来表征地区的农业生产禀赋,数据来源于《中国农村统计年鉴》。高延雷等^[24]证实了城镇化发展和地区经济增长往往带来建设用地的增加,易侵占耕地,与上文理论部分分析的耕地流失原因相符。本文分别

选取城镇人口比重和人均GDP来表征城镇化水平和地区经济增长的影响,数据来源于《中国统计年鉴》和各省统计年鉴。余述琼等^[27]指出交通线路的大规模修建增加了建设用地占用耕地的面积。参考其结论,本文选取路网密度指标表征交通线路修建对耕地面积变化的影响,相关数据来自《中国统计年鉴》和各省统计年鉴。此外,农户是耕地保护的重要行为主体,研究表明文化程度较高的农民具有较强的耕地质量保护意识,多从事管理、技术岗位并指导耕地保护工作,对耕地保护知识和政策的接受度更高。参考俞振宁等^[28]的研究,本文选取农村平均受教育年限来表征地区农户的平均文化程度,该数据来源于《中国农村统计年鉴》(表1)。

2.2 研究方法

XGBoost(Extreme Gradient Boosting)是一种基于梯度提升框架的机器学习算法,被广泛应用于数据科学和预测建模领域。它是一种集成学习方法,通过多个弱学习器的串行训练和集成来提高预测性能。XGBoost在目标函数中引入了正则化项,用于控制模型的复杂度并避免过拟合^[20]。目标函数如下:

$$L(\theta) = \sum_i l(y_i, \hat{y}_i) + \sum_k \Omega(f_k) \quad (1)$$

式中: i 是第 i 个样本; k 是第 k 个决策树; $L(\theta)$ 是线性空间上的表达; y_i 为第 i 个样本耕地面积变化率实际值; \hat{y}_i 为第 i 个样本耕地面积变化率预测值; $l(y_i, \hat{y}_i)$ 为损失函数; $\Omega(f_k)$ 为正则化项。评价耕地保护的一般效果旨在揭示实施耕地卫片监督对省级行政区耕地面积变化率的影响。本文采用XGBoost(Extreme Gradient Boosting)可解释的机器学习算法进行数据预测和建模,揭示因变量耕地面积变化率的影响因素,并使用SHAP value(Shapley Additive Explanations)解释各自变量对模型的影响^[20]。当自变量的SHAP值为正时,说明该变量对因变量有正向影响,以此解释各省级行政区耕地卫片监督和耕地面积变化率的相关关系。

2.3 数据获取

本文以全国31个省级行政区为研究区域,耕地面积数据来源于《中国国土资源统计年鉴》和《中国自然资源统计年鉴》。被解释变量为2015—2021年各省级行政区的年度耕地面积变化率。选取2021年各省级行政区发布“耕地卫片监督”细化方案时点至2021年底的时长作为核心变量,数据来源于各省、市自然资源部门官方网站及微信公众号平台发布的政策文件。选取各省级行政区发布2021年度耕地流出问题排查整改细化方案的地级市面积占全省面积比值作为另一个核心变量,以评估耕地流出问题排查整

改对耕地卫片监督的补充效果。根据政策要求,实施整改的地区排查 2021 年度耕地流出地块并整改恢复为耕地用途,同时落实“占补平衡”和年度“进出平衡”

要求。另外,细化方案推行占比越高的省级行政区通常对耕地保护的重视度更高,因此该解释变量与被解释变量耕地面积变化率预期呈正相关(表 2)。

表 1 变量选取与数据来源

Table 1 Variable selection and data source

变量名称	变量含义	数据来源
因变量		
耕地面积变化率	31 个省级行政区各单元当年的耕地面积变化率(%)	《中国国土资源统计年鉴》《中国自然资源统计年鉴》
核心变量		
耕地卫片监督细则推行时长	31 个省级行政区各单元当年的耕地卫片监督细则推行时长(月)	自然资源部门官方网站及微信公众号平台
耕地流出问题排查整改占比	31 个省级行政区各单元当年的耕地流出问题排查整改细则覆盖耕地面积占总耕地面积比例(%)	自然资源部门官方网站及微信公众号平台
控制变量		
土地执法监察强度	31 个省级行政区各单元当年查出的土地违法历年遗漏案例中涉及耕地面积(km ²)	《中国国土资源统计年鉴》《中国自然资源统计年鉴》
农业生产禀赋	31 个省级行政区各单元当年的粮食产量(万 t)	《中国农村统计年鉴》、各省统计年鉴
城镇化水平	31 个省级行政区各单元当年的城镇化水平,即城镇人口比重(%)	
人均 GDP	31 个省级行政区各单元当年的人均 GDP(元/人)	《中国统计年鉴》、各省市统计年鉴
路网密度	31 个省级行政区各单元当年的路网密度,即道路总里程/区域面积(km/km ²)	
农村平均受教育年限	31 个省级行政区各单元当年的农村平均受教育年限(a)	《中国农村统计年鉴》、各省统计年鉴

表 2 变量描述性统计

Table 2 statistics of variables

变量名称	Obs	Mean	Std.	min	max
耕地面积变化率	217	0.0605	1.2122	-4.4623	4.3835
耕地卫片监督细则推行时长	217	0.3226	1.3935	0	12
耕地流出问题排查整改占比	217	0.0442	0.1768	0	1
土地执法监察强度	217	664.3875	1311.8220	0	9128.23
农业生产禀赋	217	2127.9040	1904.6840	28.80	7867.70
城镇化水平	217	61.2700	11.7915	28.87	89.30
人均 GDP	217	65085.7100	30257.9800	26165	183980
路网密度	217	0.9668	0.5422	0.0652	2.2343
农村平均受教育年限	217	7.8194	0.8177	4.4731	9.9105

3 结果与分析

3.1 机器学习模型结果

蜂群图按照平均绝对 SHAP 值把自变量对因变量影响的重要性按降序进行排列,并提供了一个丰富的概述,说明在所有的数据中自变量是如何影响模型预测的。图 2 显示了 2015—2021 年耕地面积变化率影响因素的 SHAP 结果,并自上而下对影响耕地面积变化率的自变量按重要性程度进行排列。图 2 显示该模型中土地执法监察强度对耕地面积变化率最具影响力。

地区耕地卫片监督推行时长对耕地面积变化率具有明显的正向影响,耕地卫片监督细则推行越久的省级行政区具有越高的 SHAP 值,表明加强耕地卫片监督有效减少了耕地流失,这一点与假设相符。

半年通报、年度检查评估的政策实施方式不仅实现全天候持续监测和阶段性评估,也与年度国土变更调查相衔接,及时调整年度国土变更调查成果并保持成果的现势性。但由于实施时间较短,尚未完全体现其作用,解释力总体较低。

耕地流出问题排查整改细则推行占比对耕地面积变化率具有明显的正向影响。31 个省级行政区中,耕地流出问题排查整改细则推行比例高的省份通常具有正的 SHAP 值。这一点与假设相符,表明推行耕地流出问题排查整改对遏制耕地流失起到积极作用。在重要性排序上,耕地流出问题排查整改对耕地面积变化的解释力整体高于耕地卫片监督,证实了发现耕地流失问题后及时整改的重要性。地区土地执法监察强度对耕地面积变化率的影响最突出。尽管土地执法监

察强度高的个体基本具有正 SHAP 值,但总体上执法监督强度与耕地面积变化率的影响方向并不明显。这可能是由于土地执法监察作为一种耕地流失和土地违法的事后处置机制,地区内开展土地执法监察—立案查处—产生土地违法震慑,从而强化耕地保护责任人的耕地保护意识进一步遏制耕地流失全流程实现需要时间,在耕地保护效果上具有滞后性^[29]。

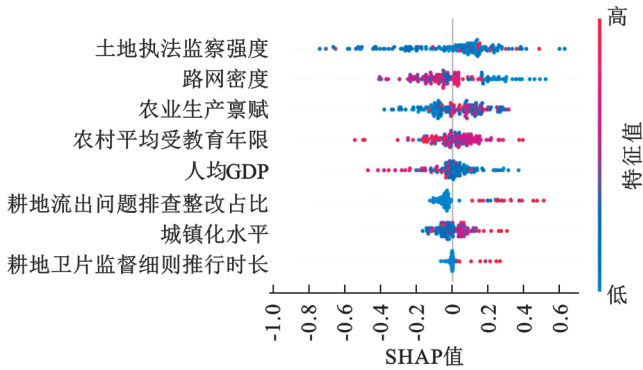
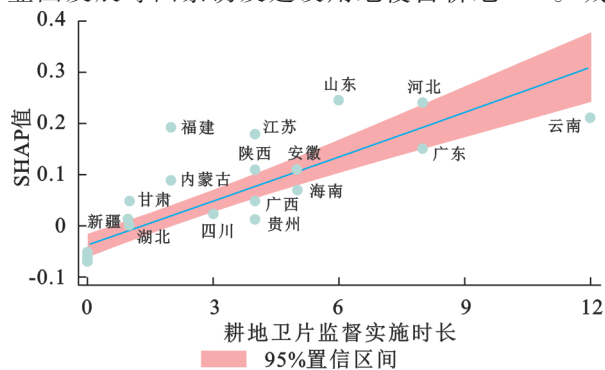


图 2 耕地面积变化率影响因素的 SHAP 结果

Fig. 2 SHAP results of influencing factors of arable land change rate

路网密度越高的地区耕地流失越严重,这一点和预期相符,大规模建设交通线路易引发建设用地占用耕地。粮食产量高的地区基本上具有正的 SHAP 值,说明地区粮食产量和耕地面积变化率成正相关,通常农业生产禀赋越突出的地区对耕地资源保护越重视^[26]。值得注意的是,各省农村平均受教育年限对耕地保护的影响方向不明显。这可能是由于随着工商资本下乡和 2017 年之后乡村振兴战略的实施,一方面农户从业模式多样化,农业兼业者增加;另一方面土地流转模式和规模经营方式得以创新,农业企业化经营更为普遍^[30]。家庭农场、农业公司等成为城市近郊农田的实际经营者,该模式下农户遵循较为一致的耕作、培育和农产品生产规范。此外,人均 GDP 高的地区具有负的 SHAP 值,说明地区人均 GDP 越高耕地流失越突出,这一点和预期相符。人均 GDP 高的地区建设用地供需矛盾更突出,经济开发区建设、产业园发展等因素诱发建设用地侵占耕地^[13,15]。城镇



化水平高的地区大多具有正的 SHAP 值,说明城镇化水平高的地区耕地流失速度较慢,这一点和预期相反。城镇化水平高的地区进入城市化发展的后期阶段,城市建设用地扩张速度近年来大幅放缓;而城镇化水平低的地区建设用地扩张仍处于快速增长期,属于建设用地违法违规占用耕地的高发期。

3.2 实施效果的区域异质性

各省级行政区 2021 年耕地卫片监督细则推行时长、耕地流出整改细则实施占比与 SHAP 值的拟合结果如图 3 所示。图 3 显示随着各省级行政区耕地卫片监督实施细则推行时长和耕地流出问题排查整改细则推行占比的增加,SHAP 值总体呈上升趋势。具体而言,耕地卫片监督实施细则推行时长在半年以上的地区 SHAP 值均为正且大于 0.1,时长不足 3 个月的地区 SHAP 值均为负。耕地流出问题排查整改细则实施占比大于 50% 的地区,SHAP 值均为正且大于 0.2。因此,二者与耕地面积变化率呈明显的正相关关系,符合耕地卫片监督加强耕地利用动态监测和耕地流失问题发现机制从而有效保护耕地的研究假设。图 3 中耕地卫片监督 SHAP 值前五名分别为山东、河北、云南、福建、江苏,其中云南省耕地卫片监督的细则推行时长最长,但其 SHAP 值略低于东部地区的山东、河北。未推行耕地卫片监督细化方案的 15 个省级行政区 SHAP 值均为负,进一步验证了加强耕地卫片监督对于地区耕地保护的重要性。总体上,耕地卫片监督对东部地区的效果更明显,尤其对东部位于粮食主产区的省份效果较好。

另外,耕地流出问题排查整改 SHAP 值排名前五的地区分别为贵州、重庆、陕西、湖南、四川,其中,贵州、重庆、陕西、湖南耕地流出排查整改细则实施占比为 100%。占比同样为 100% 的福建、湖北的 SHAP 值略低,但仍在 0.2 以上。未出台耕地流出排查整改方案的 8 个地区均为负值,同样验证了耕地流出问题排查整改对地区耕地保护的积极作用。总体来看,耕地流出问题排查整改对西部地区的耕地保护效果相对更好。

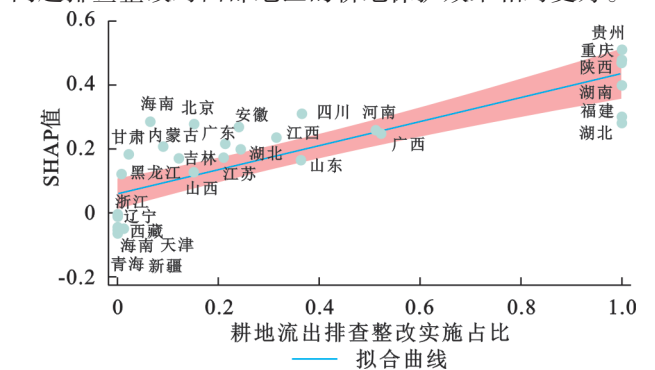


图 3 特征值与 SHAP 值线性拟合结果

Fig. 3 Linear fitting results of eigenvalues and SHAP values

4 结论与政策启示

4.1 结论

目前我国基本形成了包括“测、查、改、补”几个方面在内的耕地监管体系,实现“动态监测、年度检查、督促整改、及时补充”的监管逻辑闭环,从数量管控和空间管控层面覆盖长期以来存在的耕地监管四大薄弱区。本文采用可解释机器学习方法分析耕地面积变化与各特征值之间的因果关系,评估耕地卫片监督、耕地流出问题排查整改的实施效果,得出以下结论:

耕地卫片监督细则推行时长与耕地面积变化率具有明显的正相关关系。耕地卫片监督细则推行时长高的省份显示较高的SHAP值,表明地区加强和重视耕地卫片监督能有效减少耕地流失。然而,由于该措施实施时间较短,其作用尚未完全体现,重要性较低。此外,耕地流出问题排查整改对遏制耕地流失有积极效用,整改面积比例高的省份通常具有正的SHAP值,且其重要性高于卫片监督时长,证实发现耕地流失和非正规转用后及时整改的组合效用。

本文借助省级行政区耕地卫片监督实施时长特征值、耕地流出问题排查整改占比特征值与SHAP值的线性拟合,得出耕地卫片监督和耕地流出问题排查整改的推行效果具有区域异质性特征。耕地卫片监督遵循“堵”的逻辑,以测、查为工作手段,对于东部地区尤其是东部产粮大省的效果相对更好,而耕地流出排查整改治理遵循“疏”的逻辑,以改、补为主要工作手段,对西部地区作用更明显。

研究将可解释机器学习方法引入耕地保护政策评估研究,揭示了加强耕地卫片监督和耕地流出问题排查整改对于耕地保护的重要意义,同时也揭示了不同区域在政策执行效果上的区域异质性。尽管耕地卫片监督和耕地流出问题排查整改均对耕地保护有积极作用,但其效果的显现需要时间。尤其是土地执法监察,由于其滞后性和已形成的政策执行机制,在短期内对耕地面积变化的影响不明显。未来我们将对本研究框架包括“测”“查”“改”“补”在内的耕地监管政策的长期效果进行评估,特别是土地执法监察的长期影响。

4.2 政策启示

目前包括耕地卫片监督、耕地流出问题排查整改在内的耕地利用监管体制在全国范围内遵循较为统一的监督、监管规范。但不同地区粮食产量、建设用地增长速度、农村新增建设用地需要、城乡人口流动情况存在明显的空间差异,各要素交互作用于农村土地利用变化,因地制宜制定差异化的耕地资源

监管目标和策略具有必要性。

一是加强纵向协调,以耕地卫片监督为基础,全面建立监督与整改相辅相成的工作机制。上一年耕地卫片监督发现的问题图斑列为当年排查整改工作的重点对象,当年新整改恢复为耕地用途的地块列为耕地卫片监督重点监测对象,防止地块用途再次变更,以实现动态监测和长效治理。

二是将年度耕地保护任务完成情况与部门绩效考核相挂钩,建立政策激励机制以提升耕地保护效果的持续性。部分地区推行耕地卫片监督实施细则的时间较早,但其SHAP值略低。一方面可能与自然资源本底相关,另一方面可能与政策强度或落实程度有关。各地区在推行耕地卫片监督时应合理建立政策激励和考核方式,确保政策的高效执行、全区覆盖和持续监督。

三是促进耕地卫片监督、耕地流出问题排查整改、年度“进出平衡”实施典型案例和先进经验的分享与推广。东部地区耕地卫片监督实施效果良好的省市结合基层政策实施反馈,可向中西部地区分享耕地卫片监督的技术路线、分工模式、利益协调方式和奖惩机制,共同探讨实施过程中地类认定、复耕标准、农民利益协调等所遇问题的解决路径。

参考文献(References):

- [1] 王全喜,宋戈,隋虹均.耕地“非农化”的时空格局演变及其驱动因素研究:基于影响分析与组态分析的双重视角[J].中国土地科学,2023,37(5):113-124.
Wang Q X, Song G, Sui H J. Spatial-temporal pattern evolution of cultivated land conversion and its driving factors: a twofold perspectives of impact analysis and configuration analysis[J]. China Land Science, 2023,37(5): 113-124.
- [2] 金雨泽,徐智颖,钟太洋,等.我国土地利用动态监测的耕地保护效果评价[J].地域研究与开发,2016,35(5):120-123.
Jin Y Z, Xu Z Y, Zhong T Y, et al. Arable land conservation effects of land use dynamic monitoring in China[J]. Areal Research and Development, 2016,35(5):120-123.
- [3] Yin H, Brandão A, Buchner J, et al. Monitoring cropland abandonment with Landsat time series[J]. Remote Sensing of Environment, 2020,246:111873.
- [4] Petrov A N, Sugumaran R. Monitoring and modeling cropland loss in rapidly growing urban and depopulating rural counties using remotely sensed data and GIS[J]. Geocarto International, 2005,20(4):45-52.
- [5] Zhang S C, Wang T, Wang L X, et al. Evaluation of GNSS-IR for retrieving soil moisture and vegetation growth characteristics in wheat farmland[J]. Journal of Surveying Engineering, 2021,147(3):04021009.

- [6] Straume K. Monitoring Norwegian farmland loss through periodically updated land cover map data[J]. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*, 2013, 67(1):36-48.
- [7] Huang Y B, Chen Z X, Yu T, et al. Agricultural remote sensing big data: Management and applications[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(9):1915-1931.
- [8] Mutelo A M, Zhen C, Wei S, et al. High-standard farmland destruction monitoring by high-resolution remote sensing methods: A 2017-2018 case study of Hebei and Guangdong, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2023, 195(6):742.
- [9] Lomba A, Guerra C, Alonso J, et al. Mapping and monitoring high nature value farmlands: Challenges in European landscapes [J]. *Journal of Environmental Management*, 2014, 143:140-150.
- [10] Milenov P, Vassilev V, Vassileva A, et al. Monitoring of the risk of farmland abandonment as an efficient tool to assess the environmental and socio-economic impact of the Common Agriculture Policy [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014, 32:218-227.
- [11] 邓羽, 司月芳. 北京市城区扩展的空间格局与影响因素[J]. *地理研究*, 2015, 34(12):2247-2256.
Deng Y, Si Y F. The spatial pattern and influence factors of urban expansion: a case study of Beijing[J]. *Geographical Research*, 2015, 34(12):2247-2256.
- [12] 杜辰, 刘涛, 黄大全, 等. 中国空间规划耕地保护指标分配和优化: 以2006—2020年省级土地利用总体规划为例[J]. *自然资源学报*, 2023, 38(5):1240-1261.
Du C, Liu T, Huang D Q, et al. The allocation and optimization of the area of cultivated land reserved in China's spatial planning: taking the 2006-2020 provincial overall plans for land utilization as example[J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(5):1240-1261.
- [13] 刘敏, 赵雲泰, 钟大洋. “倒挂型”土地利用总体规划的耕地保护效果评价[J]. *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[J]. *China Land Science*, 2020, 34(3):84-92.
- [14] 李辉, 苏昌贵, 魏晓. 省级主体功能区规划实施效果评估与政策启示: 以《湖南省主体功能区规划》实施为例[J]. *经济地理*, 2022, 42(5):45-55.
Li H, Su C G, Wei X. Evaluation and policy implications of provincial major function-oriented zone planning: an empirical study on Hunan Province [J]. *Economic Geography*, 2022, 42(5):45-55.
- [15] 沈孝强, 吴次芳, 陆张维, 等. 规划调控城镇扩张的有效性研究: 以白云区土地利用规划为例[J]. *经济地理*, 2015, 35(11):152-158.
Shen X Q, Wu C F, Lu Z W, et al. Planning effectiveness for controlling urban land development: a case of integrated land use plan for Baiyun district [J]. *Economic Geography*, 2015, 35(11):152-158.
- [16] 董明娟, 谭少华, 杨春. 国土空间背景下城市食物系统规划探究: 基于供给需求视角[J]. *城市发展研究*, 2021, 28(1):14-22.
Dong M J, Tan S H, Yang C. Urban food system planning in the context of national territory spatial planning: From the perspective of supply and demand [J]. *Urban Development Studies*, 2021, 28(1):14-22.
- [17] 匡兵, 卢新海, 韩璟. 政策工具如何影响中国耕地保护效果[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(11):111-119.
Kuang B, Lu X H, Han J. How does policy tools affect the effects of China's cultivated land protection? [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(11):111-119.
- [18] 李洁艳, 张红丽. 农技推广对粮农耕地持续保护行为的影响: 基于期望确认的中介效应[J]. *资源科学*, 2024, 46(1):160-174.
Li J Y, Zhang H L. Impact of agricultural technology promotion on the sustainable protection of cultivated land by grain growers: Mediation effect based on expectation confirmation [J]. *Resources Science*, 2024, 46(1):160-174.
- [19] 范翔宇, 匡兵, 卢新海. 长株潭地区重金属污染耕地治理的绿色发展效应[J]. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(9):2277-2286.
Fan X Y, Kuang B, Lu X H. Green development effect of treatment of heavy metal-contaminated cultivated land in Chang-Zhu-Tan Region [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(9):2277-2286.
- [20] Chen T Q, Guestrin C. XGBoost: a scalable tree boosting system [C]//Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. San Francisco California USA. ACM, 2016: 785-794.
- [21] Yang C L, Guan X F, Xu Q Y, et al. How can SHAP (SHapley Additive exPlanations) interpretations improve deep learning based urban cellular automata model? [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2024, 111:102133.
- [22] 吕晓, 钟大洋, 张晓玲, 等. 土地督察对土地违法的遏制效应评价[J]. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(8):121-127.
Lv X, Zhong T Y, Zhang X L, et al. Effects of land supervision on containing the illegal land use in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(8):121-127.
- [23] 程永生, 张德元, 汪侠. 农业社会化服务绿色发展效应的作用路径研究: 基于农户要素禀赋的调节作用[J]. *中国农业资源与区划*, 2024, 45(4):15-27.
Cheng Y S, Zhang D Y, Wang X. Research on the action path of green development effect of agricultural

- socialized services: the moderating role of factor endowments based on farm households[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2024, 45(4):15-27.
- [24] 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 Y L, Wang Z G. Does urbanization increase the pressure of cultivated land: evidence based on interprovincial panel data in China[J]. *Chinese Rural Economy*, 2020(9):65-85.
- [25] 陈志刚,王青,赵小凤,等.中国土地违法现象的空间特征及其演变趋势分析[J].*资源科学*,2010,32(7):1387-1392.
Chen Z G, Wang Q, Zhao X F, et al. Characteristics of spatial distribution and changes of illegal activities on land use in China[J]. *Resources Science*, 2010, 32(7): 1387-1392.
- [26] 钱静斐,陈志钢,Filipski Mateusz,等.耕地经营规模及其质量禀赋对农户生产环节外包行为的影响:基于中国广西水稻种植农户的调研数据[J].*中国农业大学学报*,2017,22(9):164-173.
Qian J F, Chen Z G, Mateusz F, et al. Impact of land resources and quality on farmers' outsourcing decisions: Evidence from rice farmers in Guangxi, China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017,22(9):164-173.
- [27] 余述琼,赵晶,孔祥斌,等.基于占补一体化的交通沿线土地综合整治项目选址[J].*农业工程学报*,2022,38(12):270-279.
- Yu S Q, Zhao J, Kong X B, et al. Site selection of land consolidation along the transportation using integrated occupation and reclamation of cultivated land[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022,38(12):270-279.
- [28] 俞振宁,邱纪东,夏楚瑜.基于元分析的农户认知对宅基地退出意愿的影响研究[J].*中国土地科学*,2023,37(1):80-89.
Yu Z N, Qiu J D, Xia C Y. The effects of farmers' cognition on rural residential land withdrawal intention based on meta-analysis[J]. *China Land Science*, 2023, 37(1):80-89.
- [29] 秦晓蕾,李宁,薛惠玲,等.公共政策如何回应民众关注:基于注意力分配视角的21类政策议题分析[J].*公共管理与政策评论*,2024,13(3):21-37.
Qin X L, Li N, Xue H L, et al. Public concerns and policy representation: an analysis of administrative policies in China from attention perspective [J]. *Public Administration and Policy Review*, 2024,13(3):21-37.
- [30] 伽红凯,晁雨蝶,赵小渝,等.工商资本下乡视角下我国农产品地理标志数量变化及其驱动因素[J].*经济地理*,2024,44(2):187-197.
Qie H K, Chao Y D, Zhao X Y, et al. Quantity change and driving factors of geographical indications of agricultural products in China from the perspectives of industrial and commercial capital to the countryside[J]. *Economic Geography*, 2024,44(2):187-197.
- ~~~~~
- (上接第215页)
- [16] 刘永垚,第宝锋,詹宇,等.基于随机森林模型的泥石流易发性评价:以汶川地震重灾区为例[J].*山地学报*,2018,36(5):765-773.
Liu Y Y, Di B F, Zhan Y, et al. Debris flows susceptibility assessment in Wenchuan earthquake areas based on random forest algorithm model[J]. *Mountain Research*, 2018,36(5):765-773.
- [17] 吴孝情,赖成光,陈晓宏,等.基于随机森林权重的滑坡危险性评价:以东江流域为例[J].*自然灾害学报*,2017,26(5):119-129.
Wu X Q, Lai C G, Chen X H, et al. A landslide hazard assessment based on random forest weight: A case study in the Dongjiang River Basin[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2017,26(5):119-129.
- [18] 陈志强,陈志彪,陈丽慧.南方红壤侵蚀区典型流域土壤侵蚀危险性评价[J].*土壤学报*,2011,48(5):1080-1082.
Chen Z Q, Chen Z B, Chen L H. Assessment of soil erosion risk in watersheds typical of eroded red soil region, South China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(5):1080-1082.
- [19] 郭飞,赖鹏,陈洋,等.不同环境因子联接方法对崩岗易发性评价的影响[J].*水土保持通报*,2022,42(5):123-130.
Guo F, Lai P, Chen Y, et al. Influence of different environmental factor connection methods on Benggang susceptibility assessment[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2022,42(5):123-130.
- [20] 廖凯涛,刘艳,刘荃,等.赣州市崩岗侵蚀分布特征与影响因素分析[J].*水土保持研究*,2021,28(6):126-130.
Liao K T, Liu Y, Liu Q, et al. Distribution characteristics and driving factors of Benggang erosion in Ganzhou City [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021,28(6):126-130.
- [21] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].*地理学报*,2017,72(1):116-134.
Wang J F, Xu C D. Geodetector: Principle and prospective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017,72(1):116-134.
- [22] 郭飞,蒋广辉,黄晓虎,等.环境因子组合和负样本选取策略对花岗岩区崩岗易发性评价的影响[J].*农业工程学报*,2024,40(1):191-200.
Guo F, Jiang G H, Huang X H, et al. Impact of environmental factor combinations and negative sample selection on Benggang susceptibility assessment in granite areas[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2024, 40(1): 191-200.