耕地“三位一体”保护影响粮食产量的组态路径研究*

——基于NCA和fsQCA的双重分析

邹玉友，孔蓝蓝，苏 蕾

（东北林业大学经济管理学院，哈尔滨 150040）

摘 要：粮食安全是“国之大者”，探究耕地“三位一体”保护影响粮食产量的组态路径，为推动耕地利用绿色转型、维系国家粮食安全和生态安全提供经验借鉴。基于NCA和fsQCA的组态分析方法，以中国相关省域为案例，剖析耕地“三位一体”保护的多维因素对区域粮食产量的联动效应，揭示粮食产量提升的多元驱动路径。研究发现：土地开垦强度、土地灌溉排水能力、农业机械化程度是引致地区粮食产量提升的必要条件。耕地“三位一体”保护存在“数量—质量—生态”均衡驱动型、“数量—质量”双重导向型和质量导向型三类促进粮食产量提升的路径。耕地“三位一体”保护影响粮食产量的组态路径存在明显的区位、地形和生产布局异质性。我国耕地保护对粮食产量作用受三维联动因素组合影响，需按照系统论、多元化和差异化要求，做到多措并举、推进机制创新、契合粮食产能，夯实耕地“三位一体”保护力度。

关键词：耕地“三位一体”保护；粮食产量；模糊集定性比较分析；组态路径

中图分类号：F323.2 **文献标志码**：A **文章编号**：1674-9189(2025)04-0031-12

以高水平耕地保护巩固国家粮食安全、端牢中国饭碗是维系国计民生、建设农业强国以及实现农业农村现代化的时代抉择。当前我国粮食安全形势向好，总量充足、供给稳定、结构合理，但工业和城市土地利用的经济竞争以及耕地“非农化”利用对粮食有效供给及粮食安全水平形成冲击。加强耕地保护政策体系建设是我国政府夯实粮食安全保障的关键措施，2017年《中共中央 国务院关于加强耕地保护和改进占补平衡的意见》以及2022年自然资源部发布的《耕地保护法（草案）》构建了耕地数量、耕地质量、耕地生态“三位一体”保护格局，实现了我国耕地保护政策重心从数量均衡向数量、质量、生态“三位一体”并重转变。2025年中央一号文件强调强化耕地保护和质量提升，持续增强粮食等重要农产品供给保障能力。耕地“三位一体”保护政策持续深化，为耕地保护与粮食产量理论研究提供方向和支持，但在“三位一体”视域下把握耕地保护制度体系与粮食产量的内在关系，涉及自然、经济、社会和生态等多领域复杂问题，目前尚未寻求到最优实现路径，亟须从理论层面把握耕地“三位一体”保障粮食产量作用过程，并靶向实施耕地保护治理政策，回应现实问题、政策转型与理论革新的多元诉求，这对于优化实施最严格的耕地保护制度、促进重要农产品稳定安全供给与推进乡村全面振兴具有重要的理论价值和现实意义。

*项目来源：国家社会科学基金项目（22BGL175）；中国博士后科学基金项目（2021M700737）；黑龙江省博士后基金项目（LBH-Z20037）。

作者简介：邹玉友，男，博士，副教授，研究方向：农林经济管理。

通信作者：苏蕾，女，博士，教授，研究方向：农村金融。

我国耕地保护政策经历了从耕地数量保护转向耕地质量提升再到巩固耕地生态可持续生产力的演进过程，学界围绕耕地保护与粮食产量关系的研究范畴也不断拓展。有研究表明，近20年我国耕地数量一直呈下降趋势（王静怡和李晓明，2019），但耕地总量的净减少尚未对口粮绝对安全的耕地保障数量产生较大冲击（王凤娇等，2020）；也有学者从农户行为视角入手，发现感知利益、信贷需求和电商参与对农户耕地质量保护行为有正向影响（王淇韬和郭翔宇，2020；郭小燕等，2023）。还有一些学者关注保障生态安全和粮食安全的耕地利用生态效率与生态补偿方案，普遍认为资源禀赋、经济水平、科技进步及生产条件等因素对特定区域耕地利用生态效率有显著影响（Jan et al.，2012），但在影响方向与作用程度上呈现空间异质性与时序差异性。受研究视角的掣肘和研究阶段的初期探索限制，耕地“三位一体”保护现有研究集中在理论探讨和制度实现路径的识别等方面（钱凤魁等，2022；刘洪彬等，2021），尚缺乏耕地保护如何通过数量、质量和生态等多维条件的联动组合影响粮食产量的系统研究，且传统线性回归模型得到的检验结果注重单一因素影响的净效应，忽视资源禀赋、经济水平、耕地质量、保护技术等多条件变量对结果的协同效应。管理学领域组态视角下的定性比较分析法，为探究多个前因条件相互依赖、因果多重并发性、非对称性和多种路径等效性问题提供研究手段，部分学者用于研究耕地“药肥双减”（吕晓和张启岚，2023）和农地“三权分置”政策（米运生等，2023）等具体问题的作用机制。

基于此，本文从耕地数量、耕地质量、耕地生态“三位一体”制度体系框架识别影响粮食产量提升的耕地保护关键因素，结合必要条件分析（NCA）和模糊集定性比较分析（fsQCA）方法测度耕地“三位一体”保护影响粮食产量的必要程度，揭示耕地“三位一体”保护各要素对粮食产量的组态效应，并从区位异质性、地形异质性和生产布局异质性细化耕地“三位一体”保护对粮食产量的政策效应，以期为地方政府精准实施耕地保护政策与夯实国家粮食安全根基提供经验支撑和路径参考。

一、理论分析框架

已有研究根据规模经济理论、农业技术变迁理论、资源禀赋理论提取影响粮食产量的关键因素并形成了三类观点：持“藏粮于地”的学者认为，人均耕地面积和粮食播种面积是影响粮食总产量的核心要素（李雨凌等，2021）；持“藏粮于技”的学者认为，农业机械化发展水平和有效灌溉面积利于提升粮食单产（钱龙等，2024）；注重耕地保护长期性的学者认为，农药化肥减量化协同生态系统服务功能发挥绿色效能是粮食产量稳定的关键（李睿和侯彦杰，2024）。本文结合中国耕地保护的新治理体系情景设计耕地“三位一体”保护体系框架，阐述耕地保护治理体系影响粮食产量的理论逻辑，论述多因素形成的组态路径对地区粮食产量的协同联动效应。

（一）耕地数量：地区初始粮食产量的基础和底线

耕地数量保护通过土地用途管制、耕地进出平衡和占补平衡遏制非农化、非粮化趋势，是粮食产量提升的基础动力，粮食产量对耕地数量的敏感性和依赖性日益凸显。具体包括两个二级条件，分别反映土地资源的初始丰富程度和现实开发利用状况。一是耕地资源保有量，反映耕地资源与人口的动态平衡，捕捉人口增长、城市化扩张等因素对耕地数量的“隐性消耗”，以人均耕地面积表征。人口的增长和居民饮食结构改变引致耕地需求增加，但技术改良对需求压力的抵消作用有限（张琨玥等，2023），加之土地流转、制度变革以及农户基于土地生产率差异的自选择机制均会制约耕地规模扩大，保证耕地数量稳定成为当务之急。二是土地开垦强度，从空间开发广度和时间利用密度两个向度选取垦殖系数和复种指数衡量。土地开垦强度通过制约粮食播种面积的方式直接影响粮食产量提升（李雨凌等，2021）。一方面，现实中城镇化导致非农建设用地数量增多，传统农业生产经营的比较收益呈现相对下降态势，进而虚化为粮食生产机会成本的上升，造成种植户粮食生产积极性降低，出现季节性撂荒。可

利用耕地数量不足以及撂荒土地过多是粮食播种面积提升的障碍。另一方面，地区土壤特性、水文、地势起伏等自然条件以及土地短期契约、市场价格变动等经济社会条件也会造成土地收获频次即复种指数的天然或人为差异，复种指数低的地区耕作次数少，相对播种面积少，粮食产量也会较低。

（二）耕地质量：改善土壤墒情，维护粮食产量稳定

耕地质量受天然立地空间和人类主观开发利用的交互影响，本文探究耕地质量保护促进粮食产量提升的机理，具体包括三个二级条件，分别反映耕地的水源保证程度、耕地产出稳定、可持续的技术和资金支持。一是土地灌溉排水能力，反映耕地的抗旱防涝、盐碱化防控能力，以有效灌溉面积表征。改善土地灌溉排水能力，一方面能够克服极端气候导致的降水异常，降低种粮农户经营风险，保证粮食稳产；另一方面可通过增强粮食作物吸收营养元素程度的方式提高水资源配置效率，改善基础地力，优化生产外部环境，提高粮食单产(钱龙等，2024)。二是农业机械化程度，从耕作方式改良影响土壤质量的角度反映耕地质量维护的技术载体，以农业机械总动力表征。大规模农机的运用克服了城镇化进程导致的农业劳动力季节性短缺和雇工成本上升问题，先进技术嵌入耕地生产实现了资本要素对劳动要素的替代，土地生产率和劳动生产率大幅提升。而在耕地平整、机耕道改造、精准播种、秸秆还田等环节用农机替代人力，亦可通过专业化手段激发分工效应提升土地产出能力，实现规模经济，因而有学者发现农业机械化程度高的地区更容易实现粮食高产稳产(余文涛等，2017)。三是农业固定资产投资，代表以资本形式支撑耕地质量提升的持续动能。一方面，可通过土地治理、改善农田、电力、灌溉等农业生产条件，促进土地生产率提升，同时增强耕地抗灾减灾能力；另一方面，农业固定资产投资多渠道、可持续、大范围的耕地质量保护资金，通过价格信号传导的方式改变生产要素相对价格并降低农业基础设施更新成本，充足的耕地保护“先行资本”成为粮食单产水平提升的重要保障。

（三）耕地生态：耕地生态价值助力“大食物观”践行

耕地生态保护通过生产和生态的双重均衡，增强耕地系统与其他生态系统的适宜性，减轻农业生产对生态系统的负面影响。以生态系统自身的物质循环和能量流动维系粮食产量可持续，是在“大食物观、大农业观、大系统观”理念下保障优质食物供给并激发粮食未来增产潜力的必然选择。这一维度包括两个二级条件，分别反映生态系统的稳定性与完整性以及绿色生产方式对粮食生产的长期影响。一是生态环境维系能力，反映森林资源调节区域小气候、固碳护土，降低耕地生态脆弱性的程度，以森林覆盖率表征。一方面，森林生态系统具备水土保持、涵养水源、调节气候等多重调节服务功能，持续发挥生态公共产品对耕地的正外部溢出效应(Reed et al.，2017)。另一方面，以森林“粮库”为代表的林下经济，作为自然资本要素通过减少粮食生产对外部生产环境的需求(李芷萱等，2023)，以生态系统服务功能发挥的形式与土地资源结合，优化农户先前独立于自然资本外的要素组合模式，补足了粮食生产要素短板。现有研究表明，森林覆盖率越高的地区生态系统服务能力和粮食安全水平越高(Alencar et al.，2023)。二是农药化肥减量化水平，反映农业生产对土壤的污染负荷。作为理性人的农户会在耕地收益和绿色生产间作出权衡，大量使用农药化肥虽能保证土地短期产出量，但高农药化肥的生产策略并不可持续，大量药剂扩散到耕地周边环境将引致边际土地产出损失增加，不利于粮食产量和质量可持续增进。

综上所述，耕地数量保护通过空间显性管控锁定粮食生产根基，保证耕地质量工程改良空间载体的稳定性；耕地质量保护依托耕地基础设施建设提升耕地系统生产力弹性，其产生的抗逆性增益又可降低耕地生态修复边际成本，进而释放耕地数量刚性约束下的结构优化空间；耕地生态保护通过发挥生态系统功能拓展耕地质量提升的有效空间，减少环境退化对耕地的负面影响，增强耕地的可持续生产能力。理论框架见图1。

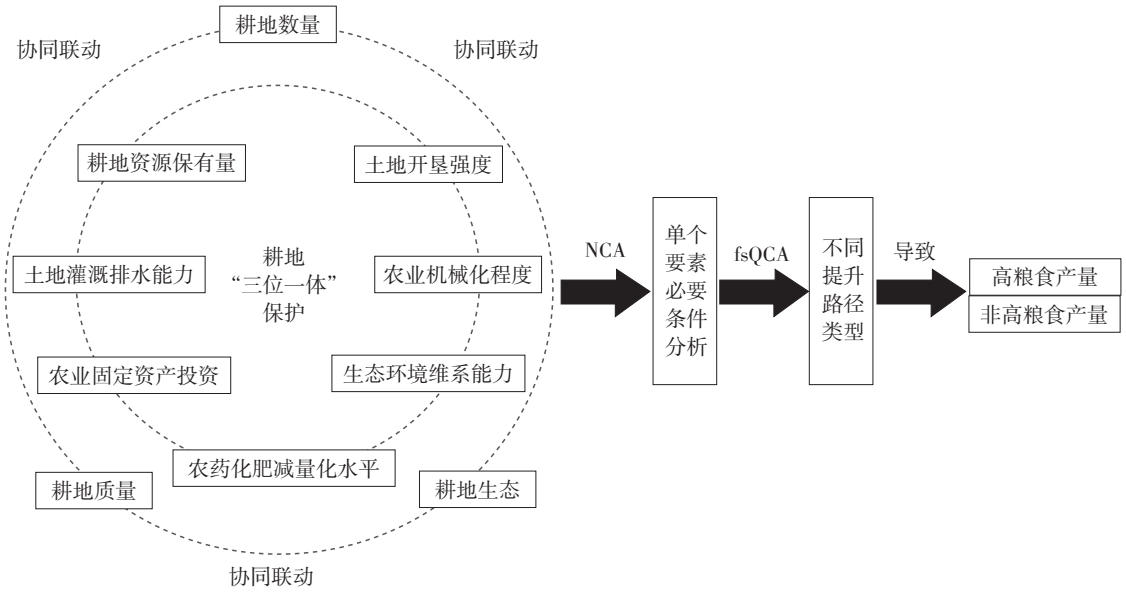


图1　耕地“三位一体”保护影响粮食产量的理论框架

二、研究方法

（一）方法选择

fsQCA方法通过对中小样本个案的数据进行汇总，以真值表的形式组合原因变量耕地保护和结果变量粮食产量，具有超越单变量平均关系，识别多条件变量组合效应的优势。NCA方法是识别必要条件的方法，能够进行瓶颈水平分析，探究条件变量对结果变量的影响程度，但NCA单变量分析结果较为敏感，得出的必要性结论可能偏离真实情况，相比之下，fsQCA单变量分析通过对多种案例构型的考察，能缓解样本偏差问题，因此本文在单变量必要性分析方面将用两种方法进行互补分析。

（二）样本和数据

本文以我国28个省份为样本（因港澳台土地保护政策差异，北京、上海农业生产规模小以及西藏统计数据缺失，故不作为研究样本），样本量符合QCA研究方法适合中小样本的要求。借鉴已有学者研究（钱凤魁等，2022；王越等，2023），从耕地数量、耕地质量与耕地生态3个维度选取7个指标构建耕地“三位一体”保护指标体系。数据来源于国家统计局官网以及《中国农村统计年鉴》，同时考虑到耕地保护对粮食产量影响具有时间滞后性，选取2022、2023年数据的平均值作为结果变量与2021、2022年数据的平均值作为条件变量匹配，相关指标选取和衡量标准参考代表性学者研究成果（李懿芸等，2023），变量及其衡量标准见表1。

表1　变量及其衡量标准

变量分类	一级变量	二级变量	衡量标准
条件变量	耕地数量	耕地资源保有量	人均耕地面积（千公顷/人）
		土地开垦强度	垦殖系数、复种指数
	耕地质量	土地灌溉排水能力	有效灌溉面积/耕地面积（千公顷）
		农业机械化程度	农业机械总动力/农作物播种面积（万千瓦/千公顷）
		农业固定资产投资	农业固定资产投资/耕地面积（元/千公顷）
	耕地生态	生态环境维系能力	森林覆盖率（%）
		农药化肥减量化水平	单位播种面积农药、化肥、农膜使用（万吨）
结果变量	粮食产量	粮食单产	粮食产量/耕地面积（万吨/千公顷）

（三）测量和校准

先确定“完全隶属”“交叉点”“完全不隶属”三个锚点，将其对应的样本数据分别设置为样本的95%分位数、50%分位数和5%分位数，后利用fsQCA4.0软件进行运算，各变量校准见表2。

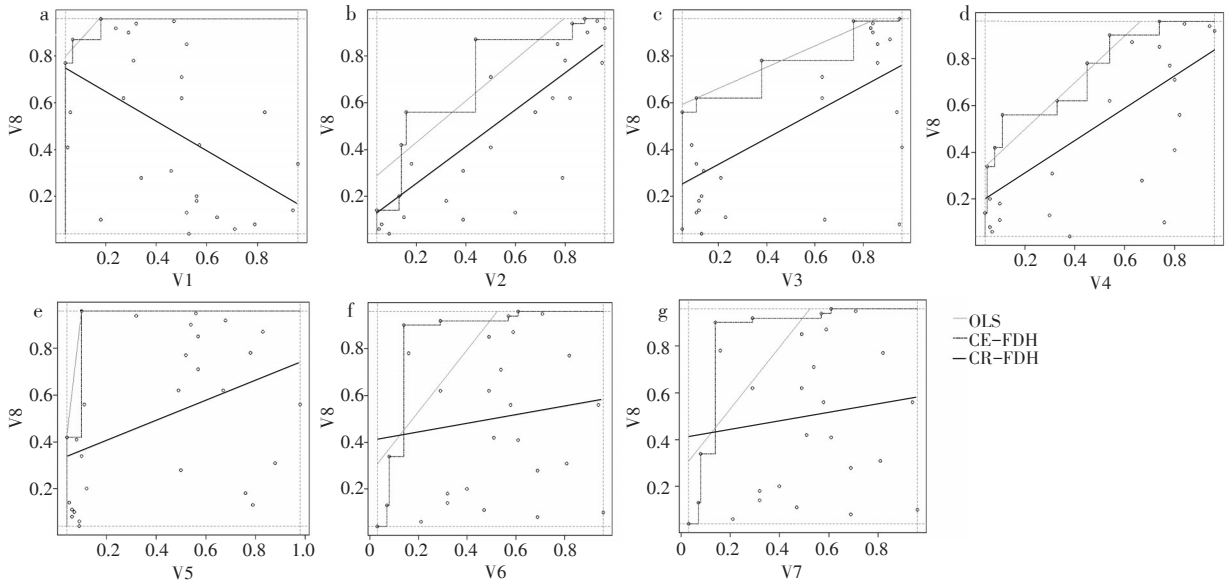
表2 结果变量和条件变量的校准

变量分类	指标描述	变量名称	完全隶属	交叉点	完全不隶属
条件变量	耕地数量	耕地资源保有量	5.1979	0.7839	0.1718
		土地开垦强度	2.5039	1.6744	0.8753
	耕地质量	土地灌溉排水能力	0.9487	0.6116	0.2556
		农业机械化程度	1.8089	0.9779	0.3939
		农业固定资产投资	6 578.5547	1 083.9946	179.9347
	耕地生态	生态环境维系能力	0.9709	0.4369	0.0441
		农药化肥减量化水平	0.9699	0.4359	0.0431
结果变量	粮食产量	粮食单产	0.9099	0.5217	0.2186

三、实证分析

（一）NCA单个条件的必要性分析

NCA方法通过散点图中的上限线界定区域，上限区域越大，代表条件变量对结果变量的必要程度越大。结果如图2所示，可初步判断土地开垦强度、土地灌溉排水能力、农业机械化程度可能是粮食产量提升的必要条件。再采用CR和CE两种上限技术识别耕地保护单个条件要素对保障粮食产量的必要性。由表3可知，土地开垦强度、土地灌溉排水能力、农业机械化程度满足效应大于0.1且显著性小于0.01的双重条件（杜运周等，2020），是引致粮食产量提升的必要条件。进一步汇报NCA方法的瓶颈水平，表4结果表明，要达到100%的粮食产量提升，需要耕地资源保有量水平14.5%、土地开垦强度82.3%、土地灌溉排水能力88.9%、农业机械化程度67.6%、农业固定资产投资6.4%、生态环境维系能力53.2%、农药化肥减量化水平53.2%的综合作用才能达到理想状态。



注：V1~V7代表条件变量，V8代表结果变量。

图2 NCA分析散点图

表3　NCA方法必要条件分析结果

条件	方法	精准度(%)	上限区域	范围	效应量d	*P*值
耕地资源保有量	CR	96.4	0.011	0.85	0.013	0.740
	CE	100.0	0.016	0.85	0.018	0.647
土地开垦强度	CR	85.7	0.255	0.85	0.301	0
	CE	100.0	0.240	0.85	0.284	0
土地灌溉排水能力	CR	89.3	0.149	0.84	0.178	0.026
	CE	100.0	0.186	0.84	0.222	0
农业机械化程度	CR	85.7	0.194	0.85	0.229	0.009
	CE	100.0	0.200	0.85	0.236	0
农业固定资产投资	CR	100.0	0.016	0.86	0.019	0.519
	CE	100.0	0.032	0.86	0.037	0.134
生态环境维系能力	CR	89.3	0.162	0.86	0.189	0.038
	CE	100.0	0.103	0.86	0.121	0.105
农药化肥减量化水平	CR	89.30	0.162	0.86	0.189	0.038
	CE	100.0	0.103	0.86	0.121	0.105

表4　NCA方法瓶颈水平分析结果　（%）

粮食产量	耕地资源保有量	土地开垦强度	土地灌溉排水能力	农业机械化程度	农业固定资产投资	生态环境维系能力	农药化肥减量化水平
0	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN
10	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN
20	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN
30	NN	3.5	NN	NN	NN	0.8	0.8
40	NN	14.8	NN	7.7	NN	8.3	8.3
50	NN	26.0	NN	17.7	0.9	15.8	15.8
60	NN	37.3	NN	27.7	2.0	23.3	23.3
70	NN	48.5	22.2	37.7	3.1	30.7	30.7
80	NN	59.8	44.4	47.6	4.2	38.2	38.2
90	6.3	71.1	66.7	57.6	5.3	45.7	45.7
100	14.5	82.3	88.9	67.6	6.4	53.2	53.2

（二）fsQCA单变量必要性检验

由表5可知，影响粮食产量的7个单一条件变量及其非集的一致性水平均低于0.9的临界值，即单一耕地保护条件变量不足以解释其促进粮食产量作用机理，尚未构成必要条件。需要说明的是，fsQCA与NCA两种方法识别必要条件的标准不同，前者从定性角度参考散点图的对角线，后者从定量角度探究可移动或旋转的有截距参考线(Dul et al.，2020)。因此，fsQCA必要性检验的结果是NCA方法的子集，二者互证互补，并不冲突。

（三）条件组态的充分性分析

表6汇报了耕地“三位一体”保护指标体系中的7个条件变量对粮食产量的3条高组态路径分析结果，路径总覆盖度为0.611，总一致性为0.923，说明其在解释粮食产量提升方面具有良好说服力，可将其归纳为三条典型驱动路径。

表5 QCA单变量必要性检验结果

条件变量	高粮食产量	
	一致性	覆盖率
耕地资源保有量	0.490224	0.545528
~耕地资源保有量	0.802317	0.710712
土地开垦强度	0.856626	0.833686
~土地开垦强度	0.440985	0.440985
土地灌溉排水能力	0.787835	0.801178
~土地灌溉排水能力	0.445329	0.426491
农业机械化程度	0.770456	0.818462
~农业机械化程度	0.506155	0.466000
农业固定资产投资	0.639392	0.773883
~农业固定资产投资	0.619841	0.515974
生态环境维系能力	0.669080	0.690067
~生态环境维系能力	0.668356	0.631759
农药化肥减量化水平	0.669080	0.690067
~农药化肥减量化水平	0.668356	0.631759

表6 耕地“三位一体”保护提升粮食产量的组态结果

条件变量		高粮食产量		
		H1	H2	H3
耕地数量	耕地资源保有量	⊗		⊗
	土地开垦强度	●	●	
耕地质量	土地灌溉排水能力	●	●	•
	农业机械化程度	●	●	●
	农业固定资产投资		●	●
耕地生态	生态环境维系能力	•	⊗	•
	农药化肥减量化水平	●	⊗	•
	一致性	0.934	0.991	0.958
	原始覆盖度	0.521	0.410	0.427
	唯一覆盖度	0.105	0.080	0.011
	代表案例	山东 福建 江苏	湖南 江西 安徽	河南 天津 广东
	总覆盖度		0.611	
	总一致性		0.923	

注：●表示核心条件出现；•表示辅助条件出现；⊗表示核心条件不出现；⊗表示辅助条件不出现；空白表示该条件可有可无，下同。

1.“数量—质量—生态”均衡驱动型（H1）

H1路径表明，在部分地区，即使受制于耕地资源保有量不足的天然限制，仍然可通过扩大可利用耕地范围并增加播种次数的方式做到占补平衡，保障粮食生产底线，维持耕地数量的相对稳定，同时依托核心技术提高农业机械化比重、扩大有效灌溉面积，进而提升耕地保护质量，达到提高粮食单产目的。值得注意的是，在该路径中，农药化肥的减量化也发挥重要核心作用，说明当前粮食生产趋

势正向绿色导向型转变，农药化肥减量对粮食产量的正向作用已经显现。该路径符合国家对耕地“三位一体”保护协同推进的战略布局，代表省份为山东、福建和江苏。以山东为例，2023年山东粮食播种面积位居全国第三，达12 581.9万亩，以增加播种面积的形式间接维护了耕地数量的稳定，供应了全国8%的粮食[①]。近十年山东积极探索节水增效“双丰收”的齐鲁模式，累计完成了167处大中型灌区的配套设施改造项目，农田有效灌溉系数全国领先。同时，坚持用地养地相结合的方式，推广自走式打药机、绿色先进施肥技术等农机装备和创新技术，为耕地生态保护提供支撑。

2.“数量—质量”双重导向型（H2）

H2路径表明，在耕地资源保有量优势不大、耕地生态保护较差的地区，通过增加土地开垦强度、扩大灌溉面积、推广农业机械以及增加农业固定资产投资的方式可以实现高水平的粮食产量增长，但此路径忽视了耕地生态保护对地力的长期作用。我国农业生产高度依赖高农药化肥的生产方式，在耕地生产生态功能失衡的现实情境下，向农药化肥减量化转型必然经历阵痛但也是必然之举，代表省份为湖南、江西和安徽。以湖南为例，该省份致力破解可利用耕地不足、粮食产量“靠天吃饭”的难题，巩固粮食主产区作用，同时综合利用约束性指标管控、撂荒地整治、耕地开垦费征收等手段，并深化用地审批“放管服”改革，全方位严守耕地数量红线，确保现有耕地一亩不少。湖南坚持以科技和资金赋能农户生产，通过增加农业固定资产投资和高标准农田项目建设的方式引导其由“经验经营”转为“数字经营”。2023年湖南累计建成4 250万亩高标准农田，以占全国2.8%的耕地贡献了613.6亿斤粮食[②]。

3. 质量导向型（H3）

H3路径表明，在耕地数量有限、耕地生态保护对粮食生产促进作用有限的情况下，依托大规模的农业固定资产投资和农业机械化运作可提升耕地综合效益，进而在资金和技术双重赋能下可达到粮食高产。这说明在耕地“三位一体”保护总体框架下，其仍然具有较高权重，耕地质量保护对粮食生产的促进作用仍属于边际效益递增阶段，可以暂时弥补耕地数量不足的缺陷，代表省份为河南、天津和广东。以河南为例，《河南省高标准农田示范区建设实施方案》规定了示范区耕地亩均4 000元的最低投资标准，以提高资源利用效率、农业机械农艺融合、现代化智能装备建设为着力点，在河南北部、东部、南部及南阳盆地规划了300万~500万亩高标准农田示范基地。目前河南耕地质量高于全国平均水平2.54个等别，已连续六年贡献超1 300亿斤的粮食产量[③]。

（四）耕地“三位一体”保护提升粮食产量的异质性

1. 区位异质性

将样本案例省份划分为东、中、西部地区进行异质性检验，结果见表7。东部地区农业固定资产投资发挥核心作用，中部地区土地开垦强度和农业机械化程度发挥核心作用，西部地区土地开垦强度、农业固定资产投资和农药化肥减量化水平发挥核心作用且存在替代关系。可能的原因是：东部地区经济实力强，有充足资金用于农业固定资产投资以提升耕地质量，创造粮食增产条件。中部地区作为现代装备制造基地，发挥技术资源要素优势，通过提升农业机械使用率挖掘耕地产出潜力，达到提高粮食产量格局。西部地区的高组态则存在替代关系，在农业固定资产投资不足、农药化肥减量化效果不佳的情况下，可通过提升土地开垦强度、稳定耕地数量的方式达到粮食产量的提升。

---

① 数据来源于山东省人民政府：《1 131.1亿斤！山东粮食总产再创新高》，参见http://www.shandong.gov.cn/art/2023/12/12/art_97904_621153.html。

② 数据来源于湖南省人民政府：《湖南加快建设农业强省》，参见https://www.hunan.gov.cn/hnyw/sy/hnyw1/202312/t20231225_32608608.html。

③ 数据来源于河南省农业农村厅：《河南：严守耕地红线 筑牢“中原粮仓”》，参见https://nynct.henan.gov.cn/2022/06-23/2473399.html；《河南加快建设农业强省 今年粮食总产量预计稳定在1 300亿斤以上》，参见https://nynct.henan.gov.cn/2023/11-23/2853094.html。

2. 地形异质性

为探究地形异质性，参考游珍等(2018)对中国省域地形起伏的测度，以1为划分标准，分为坡度小和坡度大两类样本。结果如表8所示，坡度大的地区将土地开垦强度、农药化肥减量化水平视为核心条件，土地灌溉排水能力和农业固定资产投资为缺失条件。坡度小的地区将土地开垦强度、土地灌溉排水能力作为核心条件。其原因在于，坡度大的地区土壤保水能力较差，灌溉水流失较快，易导致地区缺水，不利于粮食产量的稳定，而坡度小的地区土壤透水性较强，加之水利工程修建难度小，农田基础设施较为完善，以灌溉能力为代表的耕地质量提升为粮食生产旱涝保收创造了条件。

表7 耕地“三位一体”保护提升粮食产量的区位异质性

条件变量		东部地区			中部地区		西部地区	
		E1	E2	E3	M1	M2	W1	W2
耕地数量	耕地资源保有量	●	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	土地开垦强度		⊗	●	⬤	⬤	⬤	●
耕地质量	土地灌溉排水能力	⊗	●	●	●	⊗	⊗	⊗
	农业机械化程度	●	⊗	●	⬤	⬤	●	●
	农业固定资产投资	⬤	⬤	⬤	●	●	Ⓧ	⬤
耕地生态	生态环境维系能力	⊗	⊗	●	⊗	●	⊗	●
	农药化肥减量化水平	⊗	⊗	●	⊗	●	Ⓧ	⬤
一致性		0.980	0.977	0.894	0.969	0.951	0.955	0.936
原始覆盖度		0.258	0.222	0.492	0.497	0.310	0.334	0.423
唯一覆盖度		0.059	0.028	0.220	0.358	0.171	0.070	0.159
代表案例		河北、山东	天津	福建、广东	湖南	河南	重庆	陕西
总覆盖度			0.580		0.668		0.493	
总一致性			0.908		0.977		0.917	

注：按照国家统计局对地区的划分标准，东部地区包括天津、河北、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南、黑龙江、吉林和辽宁；中部地区包括山西、安徽、江西、河南、湖北和湖南；其余为西部地区。

表8 耕地“三位一体”保护提升粮食产量的地形异质性

条件变量		坡度大		坡度小	
		LS1	LS2	SS1	SS2
耕地数量	耕地资源保有量	⊗	⊗	⊗	⊗
	土地开垦强度	⬤	⬤	⬤	⬤
耕地质量	土地灌溉排水能力	⊗	⊗	⬤	⬤
	农业机械化程度	●	●	⊗	●
	农业固定资产投资	Ⓧ	●	●	●
耕地生态	生态环境维系能力	⊗	●	⊗	●
	农药化肥减量化水平	⊗	⬤	⊗	●
一致性		0.918	0.936	0.975	0.924
原始覆盖度		0.363	0.436	0.316	0.355
唯一覆盖度		0.076	0.149	0.082	0.120
代表案例		重庆	陕西	安徽、江西	广东
总覆盖度		0.512		0.436	
总一致性		0.892		0.937	

注：参考游珍等(2018)省际地形起伏度，分为坡度大和坡度小两类，坡度大的省份为山西、内蒙古、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆；其余为坡度小的省份。

3. 生产布局异质性

将样本分为粮食主产区和非粮食主产区两类，结果见表9。粮食主产区将土地开垦强度、土地灌溉排水能力、农业机械化程度视为核心条件。非粮食主产区将土地开垦强度和农药化肥减量化水平视为核心条件。其原因在于政策支持力度和地区生产定位存在差异，粮食主产区的政策、财政转移支付倾斜确保了耕地数量的稳定以及高标准农田、农业基础设施、农业智能装备的落实，国家对粮食主产区的重视也遏制了耕地“非农化”“非粮化”趋势，而非粮食主产区耕地资源保有量不足，灌溉、农业机械对粮食产量的提升程度有限，需要依靠农药化肥减量化的绿色生产方式促进粮食产量提升。

（五）稳健性检验

按照已有文献（Schneider and Wagemann，2010）做法，通过将一致性阈值从0.8改为0.85进行稳健性检验，产生的路径与表6基本一致，由此可知，相关结果具有一定稳健性。

表9　耕地“三位一体”保护提升粮食产量的生产布局异质性

条件变量		粮食主产区			非粮食主产区
		MG1	MG2	MG3	NMG1
耕地数量	耕地资源保有量	⊗		⊗	Ⓧ
	土地开垦强度	●	●	●	●
耕地质量	土地灌溉排水能力	●	●	●	•
	农业机械化程度	●	●	●	•
	农业固定资产投资		•	•	
耕地生态	生态环境维系能力	•	•	⊗	•
	农药化肥减量化水平	•	•	⊗	●
一致性		0.939	0.919	0.929	0.926
原始覆盖度		0.515	0.381	0.443	0.542
唯一覆盖度		0.147	0.013	0.180	0.542
代表案例		山东、江苏、河南	安徽	湖南、江西	福建、广东、浙江
总覆盖度		0.708			0.542
总一致性		0.955			0.926

注：粮食主产区包括黑龙江、河南、山东、四川、江苏、河北、吉林、安徽、湖南、湖北、内蒙古、江西、辽宁；其余省份非粮食主产区。

四、结论与政策建议

（一）结论

首先，基于NCA和fsQCA方法对粮食产量的影响因素进行深入分析，识别出土地开垦强度、土地灌溉排水能力和农业机械化程度三个条件变量是引致地区粮食产量提升的必要条件。其次，耕地“三位一体”保护产生高粮食产量的3条组态，分别是“数量—质量—生态”均衡驱动型、“数量—质量”双重导向型、质量导向型。最后，耕地“三位一体”保护影响粮食产量的组态路径存在明显的区位异质性、地形异质性和生产布局异质性：东部地区坚持资金导向，以农业固定资产投资提升基础地力，中部地区依赖耕地保护的技术研发挖掘耕地产出潜力，西部地区则依靠耕地数量的稳定保证粮食播种面积；地形起伏度大的地区土地灌溉排水能力制约了粮食产量提升，而起伏度小的地区土地灌溉排水能力发挥了粮食稳产的关键作用；粮食主产区依托政策优势，不断落实耕地质量保护，而非粮食主产区耕地质量保护对粮食产量提升作用并不明显。

（二）政策建议

第一，多措并举推进耕地“三位一体”保护。耕地数量方面，通过政府牵头开展摸底调查和粮食生

产适宜性评估、建设监测与预警平台等方式，全面掌握区域内不稳定耕地和闲置耕地情况，确保耕地数量不减少。耕地质量方面，通过资金和技术双重赋能加强耕地质量退化区的治理。耕地生态保护方面，设立农药化肥使用量零增长目标，构建多主体参与的耕地生态保护长效机制。

第二，坚持耕地科学开发和技术赋能推进耕地“三位一体”保护。由县级农业技术推广部门组织专家团队深入各乡镇开展土壤检测与气候调研，针对不同地块制定涵盖作物品种选择、播种时间与空间布局等内容的个性化轮作与间套作方案。灌溉与排水设施建设方面，对区域内水资源进行综合评估，规划水库修建位置与规模。农业机械推广与开发方面，组织农业农村部门联合财政部门制定农机购置补贴标准与实施细则，与科研院校合作搭建农机跨区域服务社会化平台。

第三，针对多重异质性契合粮食产能夯实耕地“三位一体”保护。首先，东部地区聚焦农业科技研发创新，推动耕地保护智能化、精细化。中部地区以大规模高标准农田建设为核心，搭配现代化农业机械作业，提升耕地综合生产能力。西部地区通过财政补贴、税收优惠等政策手段，引导社会资本参与耕地保护项目，同时积极引进先进的灌溉技术，改善农田水利条件。其次，对于坡度较缓、地势平坦地区，规划建设大规模自流灌溉系统，保障农田旱涝保收。坡度较大地区，配套建设集雨设施与梯田灌溉系统，最大程度降低地形因素对粮食生产的影响。最后，粮食主产区可探索建立跨区域耕地占补平衡机制，实现耕地资源的合理调配。非粮食主产区因地制宜实施轮作休耕制度，促进土壤生态系统自我修复，实现耕地可持续利用与生态平衡。

参考文献

[1] 王静怡, 李晓明. 近20年中国耕地数量变化趋势及其驱动因子分析[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(8): 171−176.

[2] 王凤娇, 梁伟, 傅伯杰, 等. 近年来的黄土高原耕地时空变化与口粮安全耕地数量分析[J]. 干旱区地理, 2020, 43(1): 161−171.

[3] 王淇韬, 郭翔宇. 感知利益、社会网络与农户耕地质量保护行为——基于河南省滑县410个粮食种植户调查数据[J]. 中国土地科学, 2020, 34(7): 43−51.

[4] 郭小燕, 魏广成, 程长明. 电商参与对农户耕地质量保护行为的影响——以小麦种植户化肥减量为例[J]. 学习与探索, 2023(6): 126−134+176.

[5] 钱凤魁, 张晓霞, 张靖野, 等. 辽宁中部平原区耕地生态体系三位一体保护与评价(英文)[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(1): 126−137.

[6] 刘洪彬, 李顺婷, 吴梦瑶, 等. 耕地数量、质量、生态“三位一体”视角下我国东北黑土地保护现状及其实现路径选择研究[J]. 土壤通报, 2021, 52(3): 544−552.

[7] 吕晓, 张启岚. 耕地利用中农户“药肥双减”意愿的前因条件与组态路径——基于QCA方法的探索[J]. 中国土地科学, 2023, 37(9): 130−138.

[8] 米运生, 王家兴, 徐俊丽. 农地经营权强度与新型农业经营主体融资渠道的正规化——基于fsQCA的分析[J]. 农业技术经济, 2023(10): 44−61.

[9] 李雨凌, 马雯秋, 姜广辉, 等. 中国粮食主产区耕地撂荒程度及其对粮食产量的影响[J]. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1439−1454.

[10] 钱龙, 杨光, 钟钰. 有土斯有粮: 高标准农田建设提高了粮食单产吗?[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2024, 24(1): 132−143.

[11] 李睿, 侯彦杰. 信息学视域下提升中国生态文明国际话语权的路径探索[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2024, 37(2): 63−68.

[12] 张琨玥, 陶明儒, 张金懿, 等. 基于食物安全的耕地需求分析与预测[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(11): 14−28.

[13] 余文涛, 石淑芹, 孙晓丽, 等. 基于Logistic模型的东北地区粮食生产能力影响因素研究——以宾县为例[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(12): 124−129.

[14] 李芷萱, 杨晨钰婧, 王萌睿. “森林是粮库”视角下中国森林食品产业发展问题探讨[J]. 世界林业研究, 2023, 36(4): 132−136.

[15] 王越, 朱方林, 钟钰. “藏粮于地”战略的演进、逻辑与展望[J]. 农业经济与管理, 2023(1): 33−44.

[16] 李懿芸, 毛晓红, 黄祖辉. 国家粮食安全背景下耕地数量、质量、生态“三位一体”保护评价与对策研究[J]. 农村经济, 2023(6): 21-31.

[17] 杜运周, 刘秋辰, 程建青. 什么样的营商环境生态产生城市高创业活跃度?——基于制度组态的分析[J]. 管理世界, 2020, 36(9): 141-155.

[18] 游珍, 封志明, 杨艳昭. 中国1km地形起伏度数据集[J]. 全球变化数据学报(中英文), 2018, 2(2): 151-155.

[19] Alencar L, Baldauf C, Manhaes P M F P L. Tradeoffs and synergies between food security and forest cover in Brazilian drylands[J]. Land Degradation and Development, 2023, 34(17): 5343-5354.

[20] Dul J, Van D L E, Kuik R. A statistical significance test for necessary condition analysis[J]. Organizational Research Methods, 2020, 23(2): 385-395.

[21] Jan P, Dux D, Lips M, et al. On the link between economic and environmental performance of Swiss dairy farms of the alpine area[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2012(17): 706-719.

[22] Reed J, Van Vianen J, Foli S, et al. Trees for life: The ecosystem service contribution of trees to food production and livelihoods in the tropics [J]. Forest Policy and Economics, 2017(84): 62-71.

[23] Schneider C Q, Wagemann C. Standards of good practice in qualitative comparative analysis (QCA) and fuzzy-sets[J]. Comparative Sociology, 2010, 9(3): 397-418.

（**责任编辑**：胡英彬）

Research on the Configuration Path of the "Trinity" Protection of Cultivated Land Affecting Grain Yield

——Based on the Dual Analysis of NCA and fsQCA

ZOU Yuyou, KONG Lanlan, SU Lei

(School of Economics and Management, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: Food security is the "greatest power of the country", and this paper explores the configuration path of the "trinity" protection of cultivated land affecting grain production, so as to provide experience and reference for promoting the green transformation of cultivated land use and maintaining national food security and ecological security. Based on the configuration analysis method of NCA and fsQCA, this paper takes Chinese provinces as a case study to explore the linkage effect of multi-dimensional factors of cultivated land "trinity" protection on regional grain production, and reveals the multiple driving paths of grain yield improvement. The results show that the intensity of land reclamation, the ability of land irrigation and drainage, and the degree of agricultural mechanization are the necessary conditions for the increase of regional grain production. There are three types of paths to promote the improvement of grain yield in the "trinity" of cultivated land: quantity-quality-ecological equilibrium-driven, quantity-quality dual-oriented and quality-oriented. There is obvious heterogeneity in the configuration path of the "trinity" protection of cultivated land affecting grain yield, such as location, topography and production layout. The effect of cultivated land protection on grain yield in China is affected by the combination of three-dimensional linkage factors, and it is necessary to take multiple measures at the same time, promote mechanism innovation, and consolidate the "trinity" protection of cultivated land in line with the requirements of system theory, diversification and differentiation.

Key words: "trinity" protection of cultivated land; grain production; fuzzy-set qualitative comparative analysis; configuration path