



腾云,孙悦.推动我国东北黑土区耕地轮作的策略优化研究[J].中国农业大学学报,2025,30(07):36-51.

TENG Yun, SUN Yue. Optimization of strategies to promote cropland rotation in the black soil area of Northeast China [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(07): 36-51.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.07.04

## 推动我国东北黑土区耕地轮作的策略优化研究

腾云 孙悦

(东北农业大学 工程学院, 哈尔滨 150030)

**摘要** 东北黑土地退化严重威胁我国粮食安全与生态系统平衡,而耕地轮作是黑土地保护的有效措施。为推行耕地轮作来提升黑土地质量,以东北黑土区农户耕地轮作为研究对象,依据博弈论原理,将政府、村集体、农户纳入同一动态博弈演化模型中,通过数值仿真对比分析单策略和组合策略下的三方主体决策特征以及政策条件变化下的三方行为演化趋势,探究相关利益主体间行为特征及复杂博弈关系,优化黑土区耕地轮作策略。结果表明,单策略对农户轮作意愿提升有限且易造成策略失衡现象,多策略农户轮作意愿显著提升且博弈系统更快收敛到理想状态,实施单策略或组合策略对农户轮作行为具有显著差异。其中:当政府、村集体所采取的单策略只有超过阈值时,农户才能积极轮作,但造成策略失衡现象;利用奖补与惩罚的组合策略同步实施,可以避免单策略失衡现象,组合策略相对于单策略促使博弈系统更快收敛到理想状态;土壤质量提升和经济收入增加对农户轮作决策均产生显著正向影响,应着重考虑引入行为结果反馈和行为利益获取策略,建立长效机制来强化农户轮作行为。本研究可为促进东北黑土区轮作推广提供科学依据。

**关键词** 耕地保护;粮食安全;轮作;策略优化;演化博弈;东北黑土地

中图分类号 G353.11;S-9 文章编号 1007-4333(2025)07-0036-16 文献标志码 A

## Optimization of strategies to promote cropland rotation in the black soil area of Northeast China

TENG Yun, SUN Yue

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract** The degradation of black soil in Northeast China seriously threatens food security and ecosystem balance in China, and farmland rotation is an effective measure to protect black soil. In order to promote farmland rotation and improve the quality of black soil, the farmland rotation of farmers in the northeast black soil area was taken as the research object, and the government, village collective and farmers were included in the same dynamic game evolution model according to the principle of game theory. Through a numerical simulation, the decision-making characteristics of tripartite subjects under single strategy and combination strategy and the evolution trend of tripartite behavior under the change of policy conditions were compared and analyzed. The behavior characteristics and complex game relationship among relevant stakeholders were explored to optimize the farmland rotation strategy in the black soil area. The results indicate that: The single strategy has a limited effect on improving farmers' willingness to rotate crops and can easily lead to strategy imbalance. The multiple strategies significantly increase farmers' willingness to rotate crops and the game system converges to the ideal state faster. Implementing the single strategy or the combination strategy has significant differences in farmers' rotation behavior. Among them, when the

收稿日期: 2024-10-05

基金项目: 国家社会科学基金一般项目(22BJY240)

第一作者: 腾云(ORCID:0000-0002-2964-0461),教授,主要从事农业绿色生产研究,E-mail:dingding212139@163.com

single strategy adopted by the government and village collectives only exceeds the threshold, farmers can actively rotate crops. However, it causes a phenomenon of strategy imbalance; The synchronous implementation of the combination strategy of both reward and punishment can avoid the phenomenon of single strategy imbalance, and the combination strategy promotes the game system to converge to the ideal state faster than the single strategy; The improvement of soil quality and the increase in economic income have a significant positive impact on farmers' crop rotation decisions. Therefore, it is necessary to focus on introducing behavioral outcome feedback and behavioral benefit acquisition strategies, and establishing long-term mechanisms to strengthen farmers' crop rotation behavior. This study provided a scientific basis for promoting crop rotation in the black soil area of Northeast China.

**Keywords** cropland conservation; food security; crop rotation; strategy optimization; evolutionary game; the black soil area of Northeast China

保护东北黑土地对我国粮食安全与生态系统平衡至关重要。黑土是世界上最宝贵的土壤资源,被誉为“耕地中的大熊猫”。然而,随着大规模农业开垦,东北黑土地质量不断下降,相比开垦前土地厚度减少了30%~50%<sup>[1]</sup>。《东北黑土地保护规划纲要(2017—2030年)》明确东北黑土区耕地面积约2.78亿亩<sup>[2]</sup>。黑土地是我国粮食主要产地,土地资源可持续利用对于人类长期发展意义深远<sup>[3]</sup>。黑土地退化既是自然生态现象也是社会经济现象,是人类经济活动和生态环境相互影响、相互作用的产物<sup>[4]</sup>。长期高强度不合理利用导致黑土地面临产量减少、品质下降的窘境<sup>[5-6]</sup>。黑土层近30年下降约9 cm,土壤退化致使耕地地力严重下降<sup>[7]</sup>,给生态系统以及粮食生产带来了挑战<sup>[8]</sup>。黑土区种植结构单一,以连作为主。其中:大豆连作会增加土壤中土传病虫害的发生,土壤生物肥力下降,降低大豆产量<sup>[9]</sup>;韩晓增等<sup>[10]</sup>研究表明玉米连作21年后土壤有机质含量下降14.7%,土壤容重增加16.3%,土壤基础肥力显著降低。由于黑土区连作造成土壤中某些营养元素比例失调,不合理的耕作方式加之气候变化的影响,东北黑土区耕地质量出现土层变薄、盐碱化、有机质减少、土壤封闭和水土流失等问题<sup>[11-12]</sup>。

轮作是保护黑土地的重要措施。耕地轮作是指在同一块田地上,按照顺序在季节间或年度间轮换种植不同作物或复种组合的种植方式<sup>[13]</sup>。采用轮作可以解决植物连作障碍、改善土壤微生物群落和维持土壤健康,有效防止土壤有机质降低<sup>[14]</sup>。轮作结合施用有机复合肥能够有效提高土壤团聚体有机碳、易氧化有机碳、重组有机碳含量,使土壤微生物生态环境不断改善,微生物生物量、碳含量日渐升高,储备更多的土壤可溶性有机碳<sup>[15]</sup>。轮作相比于

连作可以明显改善土地的化学和物理性质<sup>[16]</sup>,与连续种植大豆作物相比,玉米大豆轮作可以增强土壤保水与深水渗透能力,提高大豆产量<sup>[17]</sup>。东北黑土区作为我国玉米大豆重要生产基地<sup>[18-19]</sup>,玉米大豆轮作既可解决大豆种植忌重茬问题,也有利于培肥土壤、抑制杂草、提高土壤有机质含量<sup>[20]</sup>,推动黑土地可持续利用。因此,为了改善黑土地退化问题并确保粮食安全,有必要推行耕地轮作。

轮作涉及相关主体利益分配与协调,目前推行耕地轮作面临诸多困难。轮作实施过程中涉及政府、村集体、农业生产者等多主体利益诉求、利益冲突及利益均衡问题<sup>[21]</sup>。耕地保护制度制定需要政府统筹规划<sup>[22]</sup>,政府承担主体责任,提供补贴政策保障<sup>[23]</sup>。政府是实施耕地轮作的坚强后盾,2015年中央开始在东北黑土区进行保护试点工作,相继发布《全国农业可持续发展规划(2015—2030年)》等文件,将东北黑土地保护作为重点专项任务。Benini等<sup>[25]</sup>指出政府要为农户轮作提供政策支持,帮助农民在尊重可持续性原则的同时实现收入最大化。吴宇哲等<sup>[26]</sup>提出政府可以通过一定标准收取代偿费,增加耕作成本,促使农户轮作。作为农村自治行政组织和地方政府的延伸<sup>[27]</sup>,村集体直接面对农户,具有更强的影响力<sup>[28]</sup>。村集体可以发挥信息传递优势,宣传引导农户落实轮作制度,还可以作为政府制度与措施的有效补充。农户是耕地主要使用者和守护者,对于耕地轮作的认知程度和经济效益判断,直接影响农户意愿及生产行为<sup>[29]</sup>。目前农户缺乏黑土地保护意愿与行为的内在自觉性<sup>[30]</sup>。周颖等<sup>[31]</sup>提出补偿机制可以改变农户的生产行为。耕地轮作需要寻求多主体的“意愿要求最大公约数”<sup>[32]</sup>。黑土地轮作属于复杂系统工程问题,需要多主体的共同参与,才能够改变当前黑土

地使用现状,探索出适合的黑土地保护措施。

目前,关于东北黑土区耕地轮作策略优化的研究处于初级阶段,且现有研究主要聚焦于政府激励机制、农户行为特征、理论分析、单一主体及2个主体的交互关系研究<sup>[33]</sup>,未开展包含交互关系密切的政府、村集体、农户的复杂系统研究。因此,本研究拟以东北黑土区耕地农户轮作为研究对象,依据博弈论原理,将政府、村集体和农户纳入同一动态博弈演化模型中,通过数值仿真对比分析单一策略与组合策略三方主体的决策特征以及政策条件变化下的行为演化趋势,探究相关利益主体间的行为特征及复杂博弈关系,以期优化黑土区耕地轮作策略提供科学依据。

### 1 理论基础与假设提出

黑土区耕地轮作涉及到多方主体行为决策,从其试点推行到不断普及推广过程中,需要明确政府、村集体的行为特征和动态博弈规律。政府、村集体、农户交互关系形成了互动外循环和博弈内循环图

详见图1。在互动外循环上,农户会受到政府政策的影响,又会因周围环境的影响迎合村集体意愿,其轮作行为同时受政府和村集体2个方面影响;村集体能够提高农户的自我调节能力和适应能力,强化农户应对外部干扰和冲击的长期韧性和稳健性,使其更好地响应政府号召,在维持政府和农户间利益平衡起到桥梁作用;政府需要通过村集体来了解村庄的耕地轮作情况以及政策执行情况,才能不断为推行轮作创造有利条件。政府、村集体、农户这3个利益相关者在决策上存在博弈,又构成决策博弈内循环。在博弈内循环中,政府通过制定政策和提供补贴来激励农户参与轮作,同时依赖村集体来监督和反馈政策执行情况;村集体在政府和农户之间起到协调作用,通过调整自身策略来平衡双方利益,确保政策的有效实施;农户则根据政府政策和村集体的引导,结合自身利益最大化原则,决定是否参与轮作。内循环博弈关系促使三方主体在决策过程中相互影响与相互制约,形成动态平衡的系统。根据利益相关者之间的动态互动和决策行为,提出主假设。

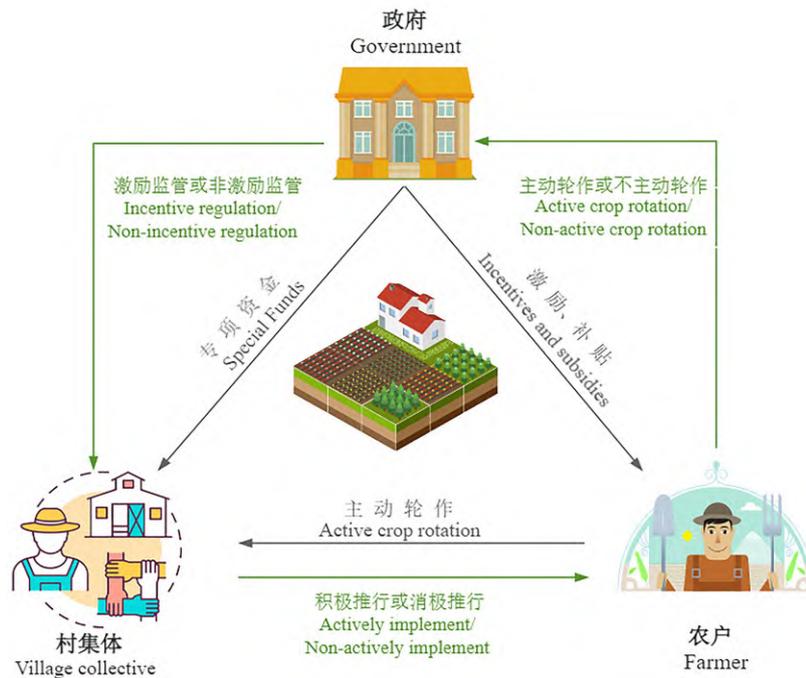


图1 耕地轮作利益相关者间的动态互动关系

Fig. 1 Dynamic interactions among the stakeholders of cultivated land rotation

#### 1.1 假设提出

假设1:政府是耕地轮作的倡导者和监督者。农业部等十部委联合出台《探索实行耕地轮作休耕

制度试点方案》<sup>[34]</sup>中提出力争用3~5年时间,初步建立耕地轮作休耕组织方式和政策体系。中国共产党十八届五中全会明确提出:对开展耕地轮作休

耕给予必要的粮食或现金补助。《佳木斯市人民代表大会常务委员会关于加强黑土地司法保护工作的意见》<sup>[35]</sup>中提出对黑土地侵权行为落实惩罚性损害赔偿制度。为推进黑土地保护实现农业可持续发展目标,政府需要制定相关资金扶植政策,给予村集体和农户技术支持、风险补贴和专项资金。为确保村集体积极推行和农户采取玉米大豆轮作,政府需投入人力物力财力进行激励监管,若成本高或耕地轮作已见成效,政府趋于取消激励政策,故政府选择激励监管(Incentive regulation, IR)或非激励监管(Non-incentive regulation, NIR)。政府策略  $G = \{IR, NIR\}$ 。

假设2:村集体既是协助政府推行耕地轮作的执行者,也是组织农户执行耕地轮作的管理者。秦涛等<sup>[36]</sup>提出:“将分散土地形成连片大地块,创新推动轮作模式,实现耕地利用率和耕地产出的大幅提高,促进农户和村集体的收益提升”。考虑到政府奖惩政策和村集体利益得失等因素,村集体因节省成本以及减少与农户之间的利益矛盾,选择消极推行耕地轮作。反之,谋求长远发展和响应国家政策的村集会选择积极推行耕地轮作,故村集体选择积极推行(Actively implement, AI)或消极推行(Non-actively implement, NAR)。村集体策略  $V = \{AR, NAR\}$ 。

假设3:农户作为耕地轮作的主要执行者。农户轮作行为意愿受轮作政策了解程度、轮作补贴满意度、收益未来预期以及生态认知的影响<sup>[20]</sup>。王治海<sup>[37]</sup>认为,相比于长期生态利益,农户更注重短期经济利益,当国家政策与经济利益发生冲突时,农户根据经济利益受到威胁大小决定是否执行政策。因此,农户受利益驱动选择耕作行为,故农户选择主动轮作(Active crop rotation, ACR)或不主动轮作(Non-active crop rotation, NCR)。农户策略  $F = \{ACR, NCR\}$ 。

假设4:在轮作推行过程中,三方需要签订轮作协议契约,在契约基础上,发放有关轮作的相关补贴以及奖励,对于违反契约农户,需要承担相应惩罚。

## 1.2 模型参数

### 1.2.1 政府相关效益假设

1)当政府选择激励监管时,所需人力物力等成本为  $R_1$ (包括宣传培训、技术支持和监督管理的支出),需要向村集体提供用于轮作推广专项资金  $S_1$ ,给予主动轮作农户补贴  $S_2$ (目前轮作补贴为 150 元/

0.0667  $\text{hm}^2$ );政府对推广成效不佳的村集体按比例扣除专项资金  $P$ ;轮作不仅提升耕地质量而且会带来诸多的社会效益,当农户主动轮作时,政府获得正向社会效益  $A_1$ (包括增产增收、环境改善、粮食安全等),当农户不主动轮作,导致黑土地质量持续恶化,获得负向社会效益;政府选择激励监管,公信力与形象提高  $A_2$ (保障社会信用环境、维持经济环境稳定、促进政策实施等);

2)当政府选择非激励监管时,政府节约监管成本、无需支付专项资金;在无激励监管环境下,村集体及农户大概率考虑短期利益进行消极管理、不主动轮作,为政府带来负面的社会效益  $A_3$ (生态环境恶化、土壤质量下降、环境维护成本),当农户在无激励政策下考虑到社会责任等因素主动轮作,政府获得正面社会效益  $A_4$ ;政府选择非激励监管,政府公信力与形象下降  $A_4$ (政府信用降低,对社会秩序、经济健康发展的负面影响等)。

### 1.2.2 村集体相关效益假设

1)当村集体积极推行时,村集体对农户轮作额外推行成本为  $M$ (包括宣传推广、技术支持、人员管理方面的支出);在政府激励监管下,村集体获得专项资金为  $S_1$ ;村集体对管理过程中主动实施轮作的农户给予奖励  $S_3$ (如换取生活用品等),对不实施轮作的农户进行罚款  $B$ (此项措施针对已签订契约获得补贴但未履行契约规定的农户);村集体积极推行轮作制度,村集体获得正向效益  $L$ (集体经济利益和未来生态效益等);农户不实施轮作对村集体带来负向效益  $H$ (土地质量下降、生态环境恶化、失去政府信任等)。

2)当村集体消极推行时,村集体无需支付额外推行成本  $M$ ;村集体受到信誉损失  $D$ ;当政府采取激励监管时,村集体需按比例向政府返回专项资金  $P$ ;村集体消极推行轮作,农户实施轮作,村集体获得的正向效益  $L$ ;农户不实施轮作,获得负向效益  $H$ 。

### 1.2.3 农户相关效益假设

1)当农户选择主动轮作时,政府激励监管,获得轮作补贴  $S_2$ ;在村集体积极推行时,获得村集体轮作奖励  $S_3$ ;轮作后农作物种植年收入  $R$ (采用玉米大豆轮作年均种植收入,种植收入等于生产者补贴加地力补贴加玉米大豆销售额扣除种植成本);轮作带来的土壤质量提升  $C_1$ (粮食产量增加、生态环境改善等)。

2)当农户不主动轮作时,不再获得政府及村集体给予的奖补优惠,支付对不实施轮作农户进行的罚款*B*;农户获得不轮作农作物种植年收入*A*(倾向于种植收入较高的玉米,玉米种植收入等于生产者补贴加地力补贴加玉米销售额扣除种植成本),土壤质量下降*C*<sub>2</sub>(粮食产量减少、生态环境恶化等)。

基于上述假设,涉及具体参数如表1所示。依据各主体行为策略得到8种组合,具体策略及策略收益组合如表2所示,分别为激励、积极、主动,激励、积极、不主动,激励、消极、主动,激励、消极、不主动,非激励、积极、主动,非激励、积极、不主动,非激励、消极、主动,以及非激励、消极、不主动。

表1 本研究三方假设所用参数

Table 1 Parameters used in the tripartite hypothesis in this study

参数 Parameter	含义 Description	参数 Parameter	含义 Description
<i>R</i> <sub>1</sub>	政府选择激励监管时,所需人力物力等成本(包括宣传培训、技术支持和监督管理的支出)	<i>M</i>	村集体对农户轮作额外推行成本
<i>S</i> <sub>1</sub>	政府向村集体提供用于轮作推广专项资金	<i>B</i>	对不实施轮作的农户进行罚款政府(此项措施针对已签订契约获得补贴但未履行契约规定的农户)
<i>S</i> <sub>2</sub>	政府给予主动轮作农户补贴	<i>L</i>	村集体积极推行轮作制度,村集体获得的正向效益(集体经济利益和未来生态效益等)
<i>S</i> <sub>3</sub>	村集体对管理过程中主动实施轮作的农户给予奖励(如换取生活用品等)	<i>H</i>	农户不实施轮作对村集体带来负向效益(土地质量下降、生态环境恶化、失去政府信任等)
<i>A</i> <sub>1</sub>	农户主动轮作时,政府获得正向社会效益(包括增产增收、环境改善、粮食安全等)	<i>R</i>	轮作后农作物种植年收入
<i>A</i> <sub>2</sub>	政府选择激励监管,公信力与形象提高(保障社会信用环境、维持经济环境稳定、促进政策实施等)	<i>A</i>	不轮作的农作物种植年收入
<i>A</i> <sub>3</sub>	在无激励监管环境下,村集体及农户大概率考虑短期利益进行消极管理、不主动轮作,为政府带来负面的社会效益(生态环境恶化、土壤质量下降、环境维护成本)	<i>C</i> <sub>1</sub>	轮作带来的土壤质量提升(粮食产量增加、生态环境改善等)
<i>A</i> <sub>4</sub>	政府选择非激励监管,政府公信力与形象下降(政府信用降低,对社会秩序、经济健康发展的负面影响等)	<i>C</i> <sub>2</sub>	不轮作带来土壤质量下降(粮食产量减少、生态环境恶化等)
<i>P</i>	对推广成效不佳的村集体按比例扣除专项资金		

## 2 博弈均衡性分析

三方主体使用的各种后续纯策略的比例被用来表示博弈模型中的混合策略。

### 2.1 政府复制动态方程分析

政府采取“激励监管”与“非激励监管”决策的期望收益  $V_x$ 、 $V_{1-x}$  及平均收益  $\bar{V}_x$  的计算公式如下:

$$V_x = -R_1 + A_2 - yS_1 - zS_2 + zA_1 + (1-y)P \quad (1)$$

$$V_{1-x} = zA_1 - (1-z)A_3 - A_4 \quad (2)$$

$$\bar{V}_x = xV_x + (1-x)V_{1-x} \quad (3)$$

式中: $y$ 为村集体积极管理比例; $z$ 为农户主动轮作比例; $1-y$ 为村集体消极推行比例; $1-z$ 为农户不主动轮作比例; $x$ 为政府激励监管策略比例; $1-x$ 为非激励监管策略比例。

结合式(1)、(2)和(3),可以得到政府决策复制动态方程:

表2 三方演化博弈的收益组合

Table 2 Benefit portfolios for the three-way evolutionary game

策略组合 Strategy combination	政府收益 Government revenue	村集体收益 Collective income	农户收益 Farmer income
激励、积极、主动 Motivation、Positive、Proactive	$-R_1 - S_1 - S_2 + A_1 + A_2$	$-M + S_1 + L - S_3$	$S_2 + S_3 + R + C_1$
激励、积极、不主动 Motivation、Positive、Passive	$-R_1 - S_1 + A_2$	$-M + S_1 + B - H$	$A - C_2 - B$
激励、消极、主动 Motivation、Negative、Active	$-R_1 - S_2 + P + A_1 + A_2$	$-P - D + L$	$S_2 + R + C_1$
激励、消极、不主动 Motivation、Negative、Passive	$-R_1 + P + A_2$	$-P - D - H$	$A - C_2$
非激励、积极、主动 Non-motivation、Positive、Active	$A_1 - A_4$	$-M + L - S_3$	$S_3 + R + C_1$
非激励、积极、不主动 Non-motivation、Positive、Passive	$-A_3 - A_4$	$-M + B - H$	$A - C_2 - B$
非激励、消极、主动 Non-motivation、Negative、Active	$A_1 - A_4$	$-D + L$	$R + C_1$
非激励、消极、不主动 Non-motivation、Negative、Passive	$-A_3 - A_4$	$-D - H$	$A - C_2$

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(V_x - \bar{V}_x) = x(1-x)(V_x - V_1 - x) = x(1-x)[(-P - S_1)y + (-A_3 - S_2)z + A_2 + A_3 + A_4 + P - R_1] \quad (4)$$

求解式(4)可知,当 $z = \frac{(-P - S_1)y + A_2 + A_3 + A_4 + P - R_1}{A_3 + S_2} = z^*$ 时,

$F(x) = 0$ ,此时 $x$ 取任意值,政府策略均处于稳定状态。当 $z \neq z^*$ 时,此时政府在 $x = 0$ 和 $x = 1$ 处于稳定状态。对复制动态方程求导得:

$$F'(x) = (1 - 2x)[(-P - S_1)y + (-A_3 - S_2)z + A_2 + A_3 + A_4 + P - R_1] \quad (5)$$

求解式(5)可知,政府演化博弈稳定需要符合 $F(x) = 0$ 且 $F'(x) < 0$ 。当 $1 > z > z^*$ 时, $\frac{dF(x)}{dx}|_{x=0} < 0, \frac{dF(x)}{dx}|_{x=1} > 0, x = 0$ 是演化稳定点,政府稳定策略为非激励监管;相反,当 $0 < z < z^*$ 时, $\frac{dF(x)}{dx}|_{x=0} > 0, \frac{dF(x)}{dx}|_{x=1} < 0$ ,此时 $x = 1$ 是演化稳定点,政府稳定策略激励监管。

政府策略空间被 $z = z^*$ 划分为2个区域,即 $z < z^*$ 和 $z > z^*$ 。当农户主动轮作的概率 $z$ 超过某一阈值时 $z^*$ ,随着时间的推移和系统的演化,政府将倾向于采取非激励监管策略;相反,如果农户主动轮作的概率 $z$ 低于该阈值 $z^*$ ,政府则会趋向于选择激励监管策略。这一过程揭示了政府策略选择与农户主动轮作概率之间的动态关系,表明农户的行为对政府政策调整具有重要影响。通过分析这种动态关系,可以更好地理解政府在不同情况下如何调整监管策略以促进轮作的实施。

## 2.2 村集体复制动态方程分析

村集体“积极推行”和“消极推行”决策的期望收益 $V_y, V_{1-y}$ 及平均收益 $\bar{V}_y$ 的计算公式如下:

$$V_y = -M + xS_1 + zL + (1 - z)B + (1 - z)H - zS_3 \quad (6)$$

$$V_{1-y} = -xP - D + zL - (1 - z)H \quad (7)$$

$$\bar{V}_y = yV_y + (1 - y)V_{1-y} \quad (8)$$

式中: $x$ 为政府激励监管策略比例; $z$ 为农户主动轮作比例; $1 - z$ 为农户不主动轮作比例; $y$ 为村集体积极管理比例; $1 - y$ 为村集体消极推行比例。

结合式(6)、(7)和(8),村集体决策复制动态方程为:

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(V_y - \overline{V}_y) = y(1-y)(V_y - V_1 - y) = y(1-y)[(P + S_1)x + (-B - S_3)z + B + D - M] \quad (9)$$

求解式(9)可知,当 $x = \frac{(-B - S_3)z + B + D - M}{-P - S_1} = x^*$ 时, $F(y) = 0$ , $y$ 取任意值,村集体策略均处于稳定状态;当 $x \neq x^*$ 时,村集体在 $y = 0$ 和 $y = 1$ 处于稳定状态。对复制动态方程求导得:

$$F'(y) = (1-2y)[(P + S_1)x + (-B - S_3)z + B + D - M] \quad (10)$$

求解式(10)可知,村集体演化博弈稳定需要符合 $F(y) = 0$ 且 $F'(y) < 0$ 。当 $0 < x < x^*$ 时, $\frac{dF(y)}{dy}|_{y=0} < 0, \frac{dF(y)}{dy}|_{y=1} > 0$ , $y = 0$ 是演化稳定点,村集体稳定策略为消极推行。当 $1 > x > x^*$ 时, $\frac{dF(y)}{dy}|_{y=0} > 0, \frac{dF(y)}{dy}|_{y=1} < 0$ , $y = 1$ 是演化稳定点,村集体稳定策略为积极推行。

策略空间被 $x = x^*$ 划分为2个区域,即 $x < x^*$ 和 $x > x^*$ 。当政府激励监管概率 $x$ 低于阈值 $x^*$ 时,随着时间推移和系统演化,村集体将倾向于消极推行。相反,若政府激励监管的概率 $x$ 超过阈值 $x^*$ 时,村集体将趋向于积极推行轮作。此过程揭示了村集体策略选择与政府激励监管概率之间的动态关系,表明政府政策支持力度对村集体行为决策具有显著影响。

### 2.3 农户复制动态方程分析

农户主动轮作和不主动轮作决策的期望收益 $V_z, V_{1-z}$ 及平均收益 $\overline{V}_z$ 的计算公式如下:

$$V_z = xS_2 + yS_3 + R + C_1 \quad (11)$$

$$V_{1-z} = A - C_2 - yB \quad (12)$$

$$\overline{V}_z = zV_z + (1-z)V_{1-z} \quad (13)$$

式中: $x$ 为政府激励监管策略比例; $y$ 为村集体积极

管理比例; $z$ 为农户主动轮作比例; $1-z$ 为农户不主动轮作比例。

结合式(11)、(12)和(13),可得农户主动轮作决策复制动态方程为:

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(V_z - \overline{V}_z) = z(1-z)(V_z - V_1 - z) = z(1-z)[xS_2 + (B + S_3)y + C_1 - A + C_2 + R] \quad (14)$$

求解式(14)可知,当 $y = \frac{xS_2 + C_1 - A + C_2 + R}{-B - S_3} = y^*$ 时, $F(z) = 0$ , $z$ 取任意值,农户的策略均处于稳定状态;当 $y \neq y^*$ 时,农户在 $z = 0, z = 1$ 处于稳定状态。对复制动态方程求导得:

$$F'(z) = (1-2z)[xS_2 + (B + S_3)y + C_1 - A + C_2 + R] \quad (15)$$

求解式(15)可知,农户演化博弈稳定需要满足 $F(z) = 0$ 且 $F'(z) < 0$ 。当 $0 < y < y^*$ 时, $\frac{dF(z)}{dz}|_{z=0} < 0, \frac{dF(z)}{dz}|_{z=1} > 0$ , $z = 0$ 是演化稳定点,农户的稳定策略为不主动轮作。当 $1 > y > y^*$ 时, $\frac{dF(z)}{dz}|_{z=0} > 0, \frac{dF(z)}{dz}|_{z=1} < 0$ , $z = 1$ 是演化稳定点,农户稳定策略为主动轮作。

策略空间被 $y = y^*$ 划分为2个区域,即 $y < y^*$ 和 $y > y^*$ 。当村集体选择积极推行概率 $y$ 低于阈值 $y^*$ 时,随着时间推移和系统演化,农户将倾向于主动轮作。相反,若村集体选择积极推行黑土地轮作概率 $y$ 超过阈值 $y^*$ 时,农户将趋向于不主动轮作。此过程揭示了农户策略选择与村集体推行轮作概率之间的动态关系,表明村集体的政策执行力度对农户的行为决策具有重要影响。

### 2.4 演化稳定性分析

结合复制动态方程(4)、(9)和(14),可得到三维动力系统,以此计算三方演化博弈均衡点。

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(1-x)[(-P - S_1)y + (-A_3 - S_2)z + A_2 + A_3 + A_4 + P - R_1] = 0 \\ \frac{dy}{dt} = y(1-y)[(P + S_1)x + (-B - S_3)z + B + D - M] = 0 \\ \frac{dz}{dt} = z(1-z)[xS_2 + (B + S_3)y + C_1 - A + C_2 + R] = 0 \end{cases} \quad (16)$$

复制动态方程组有 9 个均衡点： $X_1(0,0,0)$ 、 $X_2(0,1,0)$ 、 $X_3(0,0,1)$ 、 $X_4(0,1,1)$ 、 $X_5(1,0,0)$ 、 $X_6(1,0,1)$ 、 $X_7(1,1,0)$ 、 $X_8(1,1,1)$ 、 $X_9(x^*,y^*,z^*)$ 。其中  $(x^*,y^*,z^*)$  是动力系统混合策略纳什均衡解。三方演化博弈均衡属于纯策略纳什均衡，在三方博弈动态复制模型中，只需要讨论前 8 个特殊点的渐进稳

定性，其他点均是非渐进稳定状态。通过雅可比矩阵  $J$  来分析微分方程稳定性，雅可比矩阵  $J$  如下式 (17) 所示：

$$J = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} \end{bmatrix} \quad (17)$$

其中：

$$\begin{cases} J_{11} = (1 - 2x)[(-P - S_1)y + (-A_3 - S_2)z + A_2 + A_3 + A_4 + P - R_1] \\ J_{12} = x(1 - x)(-P - S_1) \\ J_{13} = x(1 - x)(-A_3 - S_2) \\ J_{21} = y(1 - y)(P + S_1) \\ J_{22} = (1 - 2y)[(P + S_1)x + (-B - S_3)z + B + D - M] \\ J_{23} = y(1 - y)(-B - S_3) \\ J_{31} = z(1 - z)S_2 \\ J_{32} = z(1 - z)(B + S_3) \\ J_{33} = (1 - 2z)[xS_2 + (B + S_3)y + C_1 - A + C_2 + R] \end{cases} \quad (18)$$

雅克比矩阵所有特征值均具有负实部，则均衡点为渐进稳定点；特征值至少有一个具有正实部，则均衡点为不稳定点；除具有实部为零特征值外，其余特

征值都具有负实部，则均衡点处于临界状态，稳定性不能由特征值符号确定。将上述 8 个均衡点分别代入此雅各比矩阵中，分别求得对应特征值，如表 3 所示。

表 3 三方博弈模型均衡点特征值

Table 3 Eigenvalues of equilibrium points of three-party game model

均衡点 Equilibrium point	特征值 $\lambda_1$ Eigenvalue $\lambda_1$	特征值 $\lambda_2$ Eigenvalue $\lambda_2$	特征值 $\lambda_3$ Eigenvalue $\lambda_3$
$X_1(0,0,0)$	$A_2 + A_3 + A_4 + P - R_1$	$B + D - M$	$C_1 - A + C_2 + R$
$X_2(0,0,0)$	$R_1 - A_3 - A_4 - P - A_2$	$B + D - M + P + S_1$	$C_1 - A + C_2 + R + S_2$
$X_3(0,1,0)$	$A_2 + A_3 + A_4 - R_1 - S_1$	$M - D - B$	$B - A + C_1 + C_2 + R + S_3$
$X_4(0,0,1)$	$A_2 + A_4 + P - R_1 - S_2$	$D - M - S_3$	$A - C_1 - C_2 - R$
$X_5(1,1,0)$	$R_1 - A_3 - A_4 - A_2 + S_1$	$M - D - B - P - S_1$	$B - A + C_1 + C_2 + R + S_2 + S_3$
$X_6(1,0,1)$	$R_1 - A_4 - P - A_2 + S_2$	$D - M + P + S_1 - S_3$	$A - C_1 - C_2 - R - S_2$
$X_7(0,1,1)$	$A_2 + A_4 - R_1 - S_1 - S_2$	$M - D + S_3$	$A - B - C_1 - C_2 - R - S_3$
$X_8(1,1,1)$	$R_1 - A_4 - A_2 + S_1 + S_2$	$M - D - P - S_1 + S_3$	$A - B - C_1 - C_2 - R - S_2 - S_3$

根据表 3 中的特征值，结合实际情况，判断特征值符号并分析均衡点稳定性，结果见表 4。

$X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_5$  均表示农户不主动轮作，不是推行轮作理想均衡点，对其他均衡点  $X_4$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$  进行分析。

情况 1：当均衡条件满足  $A_2 + A_4 + P < R_1 + S_2$ 、 $D < M + S_3$  时，均衡点为  $X_4(0,0,1)$ 。此时意味着政府采取非激励监管，村集体倾向于消极推行轮

作。根据实际调研情况可知，在得不到政府的政策支持 and 村集体的积极推广下，大多数农户无法自觉轮作，此均衡点不符合实际情况。

情况 2：均衡条件满足  $R_1 + S_2 < A_2 + A_4 + P$ 、 $D + P + S_1 < M + S_3$  时，均衡点为  $X_6(1,0,1)$ 。说明政府通过补贴能够弥补农户采取轮作造成的损失，促使农户主动轮作。然而政府对村集体的支持不够，使得村集体倾向消极推行，农户无法得到村

表4 三方博弈模型均衡点稳定性条件

Table 4 Stability condition of equilibrium point of three-party game model

均衡点 Balance point	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	结果 Result	稳定条件 Stable conditions
$X_1(0,0,0)$			正值	不稳定点 Unstable point	
$X_2(1,0,0)$	负值	正值	正值	不稳定点 Unstable point	
$X_3(0,1,0)$	负值	负值	正值	不稳定点 Unstable point	
$X_4(0,0,1)$			负值	渐进稳定点 Asymptotic stability point	$A_2 + A_4 + P < R_1 + S_2$ ; $D < M + S_3$
$X_5(1,1,0)$	负值	负值		渐进稳定点 Asymptotic stability point	$B + C_1 + C_2 + R + S_2 + S_3 < A$
$X_6(1,0,1)$			负值	渐进稳定点 Asymptotic stability point	$R_1 + S_2 < A_2 + A_4 + P$ ; $D + P + S_1 < M + S_3$
$X_7(0,1,1)$	负值		负值	渐进稳定点 Asymptotic stability point	$M + S_3 < D$
$X_8(1,1,1)$				渐进稳定点 Asymptotic stability point	$R_1 + S_1 + S_2 < A_2 + A_4$ ; $M + S_3 < D + P + S_1$ ; $A < B + C_1 + C_2 + R + S_2 + S_3$

集体奖励、技术培训、宣传引导,需要付出较高成本进行轮作,村集体角色缺失是造成轮作推广效果不佳的原因之一,此情况也不是理想状态。

情况3:均衡条件满足 $M + S_3 < D$ 时,均衡点为 $X_7(0,1,1)$ 。村集体为轮作农户提供奖励与引导,进而加强农户主动轮作意愿。在政府非激励监管情况下,村集体需要独自承担推行轮作的组织和管理成本,增加了村集体的财政压力,还可能导致其因资源不足而无法有效执行政策,最终影响轮作的整体效果,此均衡点不符合实际情况。

情况4:均衡条件满足 $R_1 + S_1 + S_2 < A_2 + A_4$ 、 $M + S_3 < D + P + S_1$ 、 $A < B + C_1 + C_2 + R + S_2 + S_3$ 时,均衡点为 $X_8(1,1,1)$ 。农户主动轮作获得政府政策支持,同时村集体提供奖励与引导,使农户能够长久地坚持轮作。此情况符合实际调研得到的结论,在轮作过程中三方应各尽其职,采取合理有效的策略,平衡各主体利益和避免利益冲突,形成均衡的稳定状态,此情况为理想状态

### 3 仿真分析

前文通过均衡性分析确定不同阶段利益相关者行为策略相应条件。为了直观地观察初始条件演化情况以及模型中不同参数对系统稳定性影响,运用Python进行数值模拟,分析利益相关者行为动态演化轨迹。

#### 3.1 模型参数初始赋值

结合理想均衡点 $(1,1,1)$ 稳定条件,根据3个利益相关者之间博弈关系设定参数初始值。为了使仿真结果接近于现实情况,通过实际调研获取黑龙江、吉林和辽宁三省部分真实数据,并结合中国统计年鉴、中国农业统计年鉴、中国国土资源统计年鉴及新闻报道,进一步采取专家咨询预估难以量化的数据。博弈模型各项参数值详见表5。

根据上述复制动态方程和稳定性条件,参考张雅静等<sup>[38]</sup>、姜慧博等<sup>[39]</sup>研究,其余模型参数初始值分别设定为 $R_1=250$ 、 $A_1=150$ 、 $A_2=200$ 、 $A_3=200$ 、 $A_4=240$ 、 $M=55$ 、 $S_3=10$ 、 $L=100$ 、 $H=80$ 、 $D=50$ 、 $P=80$ 、 $C_1=11$ 和 $C_2=11$ 。

#### 3.2 初始策略实施效果评估

为了评估初始条件演化和稳定点,需要设置不同初始概率进行多次演化仿真来观察系统演化轨迹。实际初始概率不存在全部为0或1的情况,多主体初始决策概率设定为0.1~0.9,考虑到过于密集的演化路径会影响图像识别度,设置概率步长为0.2。在我国现行政策下,黑土区耕地轮作最终趋于 $(1,1,0)$ 稳定点,即政府选择激励监管,村集体积极管理,农户不主动轮作,政府通过激励监管推行轮作,但效果未达预期,村集体积极响应政府号召,努力推动轮作实施,以提升村庄整体利益和生态环境。农户由于轮作补贴不足、短期经济利益下降以

表 5 三方博弈模型变量参数初始赋值

Table 5 Initial assignment of three-party game model variable parameter

参数 Parameter	数据来源 Data source	数值 Value
$S_1$	通过专家咨询和参考保护性耕作的专项资金额度,并结合实际调研情况,预估专项资金额度应为每亩 20~40 元,取均值为每亩 30 元。	30
$S_2$	黑龙江省农业农村厅发布的关于申报实施 2022 年新增耕地轮作试点通知中明确指出,资助轮作试点补贴每亩 150 元。	150
$R$	根据肇东市调研数据,玉米生产者补贴每亩 68 元,大豆生产者补贴每亩 248 元。种植玉米或大豆农户均获得地力补贴每亩 57 元。综合不同年份玉米大豆收成及回收价,轮作种植玉米收入每亩约为 1 161 元,轮作种植大豆收入每亩 771 元,平均轮作收入每亩 966 元。轮作种植收入 $R=($ 玉米种植收入+大豆种植收入 $)/2$ ,其中,种植收入=生产者补贴+地力补贴+单价 $\times$ 产量-种子、农药、机械化成本。	966
$A$	根据肇东市调研数据,不进行轮作时,大豆种植收入每亩 736 元。由于前期持续种植玉米,相对于种植大豆农药对于幼苗的影响小,增加玉米产量,连作种植玉米收入每亩 1 261 元,农户倾向于连续种植玉米。玉米种植收入 $A=$ 生产者补贴+地力补贴+单价 $\times$ 产量-种子、农药、机械化成本。	1 261
$C_1$	土地质量提升可以通过粮食产量增加所带来的收入增长来量化表示。黑龙江省齐齐哈尔市拥有耕地 413 857 910 亩,采取土地保护技术措施,有效提升粮食综合产能,粮食产量由 2016 年的 1 190 万 t 提高到 2021 年的 1 236.5 万 t,增产 46.5 万 t,每亩约 2.25 kg,结合粮食价格,土地质量提升带来的收入增加每亩约 11 元。	11
$C_2$	土地质量下降可以通过粮食产量下降所带来的收入减少来量化表示。参考 $C_1$ 设定土地质量下降带来的收入减少,土地质量下降带来的收入每亩减少约 11 元。	11

注:1 亩=0.0667 hm<sup>2</sup>。  
Note: 1 mu=0.0667 hm<sup>2</sup>.

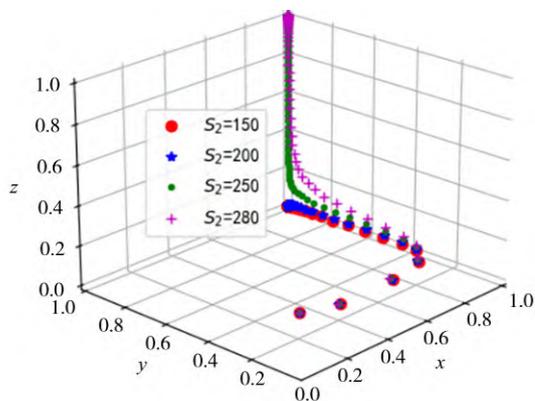
及对政策认知有限,缺乏主动参与的动力,导致其行为与政府和村集体的积极性形成反差。

### 3.3 关键变量敏感性分析

#### 3.3.1 单因素影响结果及分析

1) 农户补贴  $S_2$  变化对演化博弈结果的影响。 $S_2$  分别赋值为 150、200、250、280,仿真结果如图 2 所示。图 2 表明,补贴  $S_2$  增加,三方演化收敛到理想状态所需时间减少,当补贴  $S_2$  逐渐增大至 250 时,农户行为转变为主动轮作。农户较为重视短期利益,由于轮作收入较低,补贴不足以弥补非轮作与轮作间收益差额,农户缺乏动力。当政府给予轮作补贴高于 250 元时,达到农户预期,农户选择主动轮作。从演化趋势可以看出,随着  $S_2$  增大,农户主动轮作概率  $x$  会逐渐上升,这是由于补贴高增加了农户收入,提高了农户主动轮作概率。因此,政府需要增加轮作补贴,高于 250 元,减缓农户不主动参与轮作的趋势,避免政府轮作投入成效不显著。

2) 村集体给予农户奖励  $S_3$  变化对演化博弈结果的影响。 $S_3$  分别赋值为 10、20、30、40,仿真结果如图 3 所示。可见村集体奖励  $S_3$  增加,三方演化速



$x$  为政府;  $y$  为村集体;  $z$  为农户。下同。

$x$ , government;  $y$ , village collective;  $z$ , farmer. The same below.

图 2 补贴  $S_2$  演化路径空间图

Fig. 2 Evolution path space diagram of subsidy  $S_2$

度变化不明显,无法收敛到理想状态,当  $S_3$  逐渐增大至 40 时,农户行为依然为不主动轮作。由于村集体可用资金限制,村集体可给予农户奖励有限,在可提供资金范围内,未达到农户期望收益,农户不会改变当前策略。从演化趋势可以看出,随着奖励  $S_3$  增大,农户不主动轮作概率  $1-x$  有所减小,但是改善不明显,奖励略微增加了农户收入,一定程度

改善当前农户轮作意愿,仍然无法达到主动轮作。因此,改善当前轮作环境,不能仅仅依靠村集体的力量,政府需要适当增加对于农户轮作补贴,给予村集体专项资金。

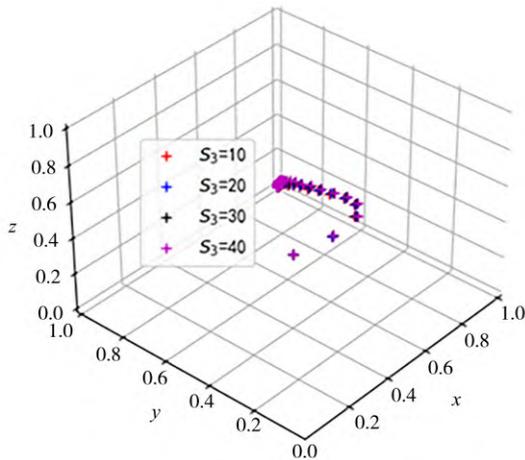


图3 奖励 $S_3$ 演化路径空间图

Fig. 3 Evolution path space diagram of reward  $S_3$

3) 村集体对不主动轮作农户收取罚款 $B$ 变化对演化博弈结果的影响。 $B$ 分别赋值为50、100、150、200,仿真结果如图4所示。可见当罚款 $B$ 增加,三方演化收敛到理想状态所需时间变少,当 $B$ 逐渐增大至150时,农户转变为主动轮作。从演化趋势可以看出,随着罚款 $B$ 增大,农户主动轮作概率 $x$ 逐渐上升,这是由于罚款降低了农户非轮作收入与轮作收入间差值,增加农户负担,村集体积极推行概率也会加快上升,较高罚款增加了村集体财政预算,增加村集体积极推行概率。

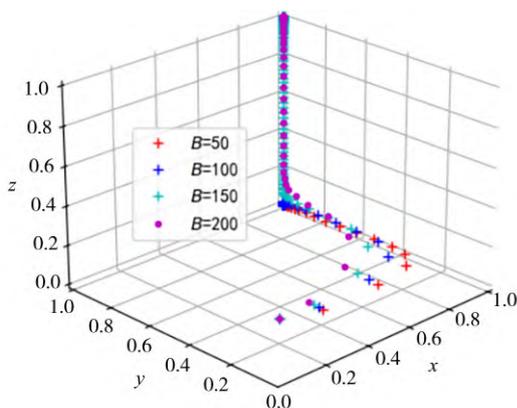


图4 罚款 $B$ 演化路径空间图

Fig. 4 Evolution path space diagram of fine  $B$

### 3.3.2 双因素影响结果及分析

政府给予主动轮作农户补贴 $S_2$ 与村集体给予主动轮作农户奖励 $S_3$ 两者变化对演化过程的影响。前文研究表明,仅增加政府给予主动轮作农户补贴 $S_2$ 至200,或单独增加村集体给予主动轮作农户奖励 $S_3$ 至40,均无法改变农户策略。双策略变化结果见图5。可见:当 $S_2 = 200$ 时, $S_3$ 增大,三方演化收敛到理想状态所需时间减少,当奖励 $S_3$ 逐渐增大至30时,农户转变为主动轮作;改善当前政策,增大农户综合奖补收入达到230元时,达到农户预期,农户主动轮作。从演化趋势可以看出,当 $S_2 = 200$ 时,随着奖励 $S_3$ 增大,农户主动轮作概率 $x$ 会逐渐上升,这是由于综合奖补增加农户收入,提升农户主动轮作意愿。因此,改善当前轮作环境,政府与村集体协同合作,优化组合策略,增加农户轮作综合收益,实现轮作的理想状态。

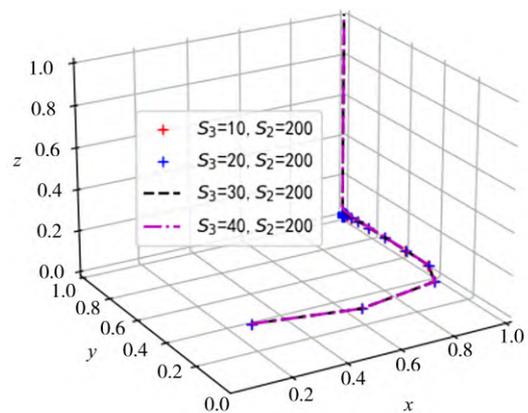


图5 奖励 $S_3$ 和补贴 $S_2$ 演化路径空间图

Fig. 5 Evolution path space diagram of reward  $S_3$  and subsidy  $S_2$

### 3.3.3 三因素影响结果及分析

政府给予主动轮作农户补贴 $S_2$ 、村集体给予主动轮作农户奖励 $S_3$ 与村集体对不主动轮作农户收取罚款 $B$ 三者变化对演化过程的影响。前文单策略实施过程中,单独增加政府给予主动轮作农户补贴 $S_2$ 至200,增加村集体给予主动轮作农户奖励 $S_3$ 至20,或增加村集体对不主动轮作农户收取罚款 $B$ 至100,均无法改变农户轮作策略。由图6可见,当 $S_3 = 20$ 、 $B = 100$ 、 $S_2 = 200$ 时,组合策略的实施使三方演化收敛到理想状态所需时间减少,农户转变为主动轮作。因此,增加政府及村集体轮作补贴和奖励,同时提高对不轮作行为罚款,可以通过多方较小调整,显著提升农户轮作意愿。从演化趋势可

以看出,当政府给予主动轮农户补贴 $S_2$ 提升至200、村集体给予主动轮作农户奖励 $S_3$ 提升至20、村集体对不主动轮作农户收取罚款 $B$ 提升至100,农户主动轮作概率 $x$ 会显著增加,这是由于多方合作发力,多策略同步推进,提升农户对轮作行为认知,增加农户主动轮作意愿。

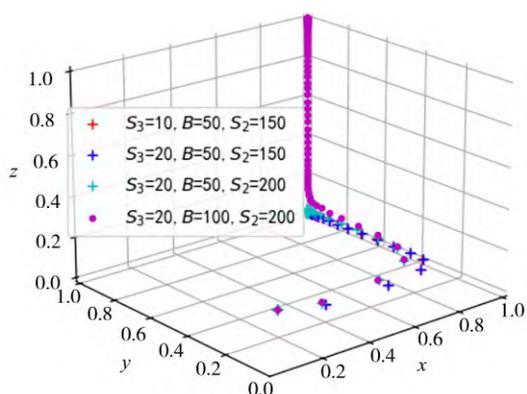


图6 奖励 $S_3$ 、罚款 $B$ 和补贴 $S_2$ 演化路径空间图

Fig. 6 Evolution path space diagram of reward  $S_3$ , fine  $B$  and subsidy  $S_2$

## 4 讨论

本研究通过演化博弈模型和数值仿真,深入分析了政府、村集体和农户在耕地轮作中的行为决策及其演化规律。研究发现,当前农户的轮作行为受到多方面因素的制约。张帆等<sup>[40]</sup>指出,农户普遍缺乏主观责任感和环境友好意识,这与王天一<sup>[41]</sup>的研究结果一致,即农户对黑土地保护的重视程度较低,更倾向于追求自身经济利益最大化,而非生态环境利益。这种现象在本研究的模型初始演化结果中也得到了体现。

在实际生产中,农户通常倾向于选择不轮作模式种植收入较高的玉米<sup>[42]</sup>。尽管政策推广在部分地区取得了一定成效,农户的轮作意识有所提高<sup>[43]</sup>,但整体效果仍未达到预期。本研究通过仿真分析进一步发现,单一的政府补贴对农户轮作意愿的推动作用有限。单独实施政府补贴、村集体奖惩等策略需要较高数额达到理想的政策效果。相比之下,优化策略组合,尤其是激励补偿与惩罚损失并行的方式,能够更有效地推动农户主动参与轮作。这一观点与王琦琪<sup>[44]</sup>提出的“以奖代补”以及郭清卉等<sup>[45]</sup>提出的“通过罚款约束农户生产行为”

的单策略在理念上是一致的。

以往研究多聚焦于单一的激励或惩罚策略,这些策略存在明显的局限性。单一的正向激励虽然能够在一定程度上调动农户的积极性,但缺乏对农户行为的约束机制,导致部分农户在获得补贴后仍不积极履行轮作义务<sup>[46]</sup>。单一的负向约束虽然能够形成一定的威慑力,但容易引发农户的抵触情绪,且缺乏对农户行为的正向引导,难以激发农户的主动性和积极性<sup>[47]</sup>。相比之下,本研究提出的激励补偿与惩罚损失并行的组合策略,通过激励与约束的双重机制,更全面地引导农户行为。这种组合策略不仅克服了单一策略的局限性,还能通过正向激励与负向约束的协同作用,增强政策的综合效果,从而更有效地推动农户的轮作行为。这一结论与沈昱雯等<sup>[48]</sup>研究发现激励与约束措施相结合对农户行为的影响显著优于单一措施的结论一致。

此外,轮作的实施需要多方协同推进。村集体作为政府与农户之间的桥梁,不仅能够通过奖励和罚款直接影响农户行为,还能通过技术指导和政策宣传提升农户的轮作意识。村集体的资金限制和政策执行能力会影响其作用的发挥。因此,需要政府提供更多资金支持和政策保障,这与孙怡平等<sup>[49]</sup>提出的设立专项资金对承担农田保护任务的村集体进行经济补偿的观点一致。但杨远舟<sup>[50]</sup>指出,这类资金在实际使用过程中可能存在被挪用或用于非农业相关活动的风险,因此政府需要对专项资金的专款专用进行审计监督。

创新之处在于将政府、村集体和农户纳入同一研究框架,系统分析了多方主体在耕地轮作中互动关系和博弈冲突。与以往研究相比,通过数值仿真揭示了政策工具对系统演化趋势动态影响,强调了多方协作和政策组合优化在实现黑土地可持续利用中的关键作用,为东北黑土区耕地轮作推广提供了重要的理论支持和政策启示。未来,我们将借助实地问卷调查和大样本数据的统计学分析,进一步优化研究结果。

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

为研究黑土区耕地轮作中政府、村集体和农户三方主体的行为决策机制及博弈演化规律,基于“理论研究-数学建模-数值仿真-政策优化”的研究框架

展开研究。主要结论如下:

1)依靠单一策略(如增加补贴或罚款)难以有效改变农户行为,须通过多方协作和政策组合优化,才能实现黑土地保护的长期目标;

2)奖补及惩罚政策组合对农户轮作意愿具有显著影响。当政府补贴和村集体奖励达到阈值时,农户轮作意愿显著提升,系统趋于理想状态;

3)政府应适当提高轮作补贴,同时设立专项资金支持村集体开展轮作推广;村集体需增加对农户奖励补贴,对签订协议获得补贴但未实施轮作的农户实施罚款。

## 5.2 对策建议

政府是耕地轮作强有力的推动者。从研究结果来看,一是政府需要对耕地轮作进行全面系统的激励监管,加大对村集体资金扶持力度,设立专项资金来支持村集体为农户轮作提供奖励引导,以及村集体开展各项轮作推广和宣传工作;二是提高对农户轮作补贴额度,降低轮作带来的利益损失风险;三是,根据调研发现,轮作过程中前年大豆所施用的农药会影响次年玉米产量,为避免此类问题发生,政府应推动技术创新和绿色农药的推广。

村集体是政府主体与农户主体之间的桥梁。从研究结果来看,一是村集体既是政府政策的宣传执行者,也是农户利益的协调维护者,严格落实“专款专用、精准施策”,合理高效利用专项资金和奖惩工具,促进补贴及奖励更高效合理发放;二是在政策执行层面,代表政府与农户签订具有法律效力的轮作协议,明确各方权利义务,对获得轮作补贴但未履行协议的农户实施惩罚措施;三是充分发挥乡村治理优势,将轮作要求纳入乡规民约,利用社会网络的正向激励作用引导农户行为<sup>[51]</sup>。

农户是耕地轮作实施者。为确保轮作的有效实施并促进黑土地的可持续利用,农户也需要从多方面采取行动,一是要积极响应政府和村集体号召,参与并履行轮作协议,通过培训和学习,提升对黑土地保护及生态环境重要性的认知水平,转变传统耕作观念,增强可持续耕作意识;二是农户应主动与实施轮作的种粮大户及时充分沟通,获取轮作相关的有益信息及技术;三是农户应将自身需求、政策执行过程中发现的问题以及轮作实际遇到的困难及时反馈,以便政府和村集体精准施策,实现多方共赢。

## 参考文献 References

- [1] 王晓君,何龙娟,王国刚. 全球粮食不安全形势下保障中国粮食安全的逻辑思维与战略取向[J]. 改革, 2022(12): 66-77  
Wang X J, He L J, Wang G G. Logical thinking and strategic orientation for safeguarding China's food security under the global food insecurity situation[J]. *Reform*, 2022(12): 66-77 (in Chinese)
- [2] 农业部,国家发展改革委,财政部,国土资源部,环境保护部,水利部. 农业部 国家发展改革委 财政部 国土资源部 环境保护部 水利部关于印发《东北黑土地保护规划纲要(2017—2030年)》的通知[J]. 中华人民共和国农业部公报, 2017(7): 50-54  
Ministry of Agriculture, National Development and Reform Commission, Ministry of Finance, Ministry of Natural Resources, Ministry of Ecology and Environment, Ministry of Water Resources. Notice of the ministry of agriculture, national development and reform commission, ministry of finance, ministry of land and resources, ministry of environmental protection and ministry of water resources on printing and distributing the outline of northeast black land protection plan (2017-2030)[J]. *Gazette of the Ministry of Agriculture of the People's Republic of China*, 2017(7): 50-54 (in Chinese)
- [3] Yu P J, Liu S W, Zhang L, Li Q, Zhou D W. Selecting the minimum data set and quantitative soil quality indexing of alkaline soils under different land uses in northeastern China [J]. *Science of The Total Environment*, 2018, 616: 564-571
- [4] 王平,孙涛. 黑龙江省黑土区水土流失动态及成因分析[J]. 水土保持通报, 2013, 33(4): 8-11  
Wang P, Sun T. Dynamics and causes of soil and water loss in black soil region of Heilongjiang Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2013, 33(4): 8-11 (in Chinese)
- [5] 方巍. 典型黑土区土壤质量的关键指标及其对玉米产量的影响[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2023  
Fang W. Key indicators of soil quality in typical black soil areas and their impact on maize yield[D]. Guilin: Guilin University of Technology, 2023 (in Chinese)
- [6] 梁爱珍,张延,陈学文,张士秀,黄丹丹,杨学明,张晓平,李秀军,田春杰, McLaughlin N B, 相洋. 东北黑土区保护性耕作的发展现状与成效研究[J]. 地理科学, 2022, 42(8): 1325-1335  
Liang A Z, Zhang Y, Chen X W, Zhang S X, Huang D D, Yang X M, Zhang X P, Li X J, Tian C J, McLaughlin N B, Xiang Y. Development and effects of conservation tillage in the black soil region of northeast China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(8): 1325-1335 (in Chinese)
- [7] 范益恺,许增涵,李玄同,杨晓慧,姜春慧,孟庆峰. 东北典型黑土区坡耕地土壤生产能力的研究[J]. 国土与自然资源研究, 2023(1): 32-34  
Fan Y K, Xu Z H, Li X T, Yang X H, Jiang C H, Meng Q F. A study on the soil production capacity of cultivated land on slopes in typical black soil areas in NorthEast China [J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2023(1): 32-34 (in Chinese)
- [8] 张明,杜盼盼,秦家艳. 粮食安全视角下农地制度改革的要素驱动机理与利益协调机制[J]. 农业经济问题, 2023, 44(11): 27-35  
Zhang M, Du P P, Qin J Y. Factor driving mechanism and interest coordination mechanism of agricultural land system reform from the perspective of food security [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2023, 44(11): 27-35 (in Chinese)
- [9] 郭庆海. “粮改饲”行动下的生态关照: 基于东北粮食主产区耕地质量问

- 题的讨论[J]. 农业经济问题, 2019, 40(10): 89-99
- Guo Q H. A discussion on the quality of farm land in the primary grain producing areas in northeast China[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2019, 40(10): 89-99 (in Chinese)
- [10] 韩晓增, 邹文秀. 我国东北黑土地保护与肥力提升的成效与建议[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 206-212
- Han X Z, Zou W X. Effects and suggestions of black soil protection and soil fertility increase in northeast China[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(2): 206-212 (in Chinese)
- [11] 于磊, 张柏. 中国黑土退化现状与防治对策[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(1): 99-103
- Yu L, Zhang B. The degradation situation of black soil in China and its prevention and countermeasures[J]. *Journal of Arid Land Resources & Environment*, 2004, 18(1): 99-103 (in Chinese)
- [12] Li X Y, Wang D Y, Ren Y X, Wang Z M, Zhou Y H. Soil quality assessment of croplands in the black soil zone of Jilin Province, China: Establishing a minimum data set model[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 107: 105251
- [13] 陈心怡, 刘钰钦, 陈森, 王文峰. 作物多样性(轮作)下砖红壤溶解性有机质含量及光谱特征[J]. 农业资源与环境学报, 2025, 42(1): 149-158
- Chen X Y, Liu Y Q, Chen M, Wang W F. Impact of crop diversity (rotation) on quantity and spectral characteristics of latosolic dissolved organic matter[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2025, 42(1): 149-158 (in Chinese)
- [14] Zhang Z Y, Zhang X K, Zhao J S, Zhang X P, Liang W J. Tillage and rotation effects on community composition and metabolic footprints of soil nematodes in a black soil[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2015, 66: 40-48
- [15] 吴鹏博, 李立军, 张艳丽, 李晓婷, 杨帆. 轮作结合施肥对土壤有机碳及其组分和土壤养分的影响[J]. 土壤通报, 2020, 51(2): 416-422
- Wu P B, Li L J, Zhang Y L, Li X T, Yang F. Effects of rotation and fertilization on soil organic carbon and its fractions and soil nutrients[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2020, 51(2): 416-422 (in Chinese)
- [16] Liu X B, Zhang X Y, Wang Y X, Sui Y Y, Zhang S L, Herbert S J, Ding G. Soil degradation: A problem threatening the sustainable development of agriculture in northeast China [J]. *Plant, Soil and Environment*, 2010, 56(2): 87-97
- [17] Salado-Navarro L R, Sinclair T R. Crop rotations in Argentina: Analysis of water balance and yield using crop models[J]. *Agricultural Systems*, 2009, 102(1-3): 11-16
- [18] 李保国, 刘忠, 黄峰, 杨晓光, 刘志娟, 万炜, 汪景宽, 徐英德, 李子忠, 任图生. 巩固黑土地粮仓 保障国家粮食安全[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(10): 1184-1193
- Li B G, Liu Z, Huang F, Yang X G, Liu Z J, Wan W, Wang J K, Xu Y D, Li Z Z, Ren T S. Ensuring national food security by strengthening high-productivity black soil granary in northeast China [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2021, 36(10): 1184-1193 (in Chinese)
- [19] 孔德威, 田鼎, 史乔丹, 张志永, 刘玲玲, 李晓东, 牛若超, 张勇, 宋朗. 克山县大豆产业调研报告[J]. 大豆科技, 2024(4): 36-39
- Kong D W, Tian J, Shi Q D, Zhang Z Y, Liu L L, Li X D, Niu R C, Zhang Y, Song L. Soybean industry research report in Keshan County [J]. *Soybean Science & Technology*, 2024(4): 36-39 (in Chinese)
- [20] 龚欣, 杜国明, 王玲. 东北黑土区耕地轮作政策的农户认知与响应意愿: 基于黑龙江省466个农户的实证分析[J/OL]. 中国农业资源与区划, 2024: 1-12 [2024-08-30]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20240829.1504.013.html>
- Gong X, Du G M, Wang L. Farmers' cognition and willingness to respond to farmland rotation policy in black soil region of northeast China: An empirical analysis based on 466 farmers in Heilongjiang Province [J/OL]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2024: 1-12 [2024-08-30]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20240829.1504.013.html> (in Chinese)
- [21] 宋戈, 张红梅. 东北典型黑土区耕地轮作休耕的空间重构[J]. 自然资源学报, 2022, 37(9): 2231-2246
- Song G, Zhang H M. Spatial reconstruction of farmland rotation and fallow in the typical black soil region of northeast China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(9): 2231-2246 (in Chinese)
- [22] 才正, 李升生, 杜国明, 钱龙. 农地确权对东北黑土区轮作休耕的影响研究: 以黑龙江省农户为例[J]. 农业经济与管理, 2022(5): 41-49
- Cai Z, Li S S, Du G M, Qian L. Impact of farmland confirmation on crop rotation and fallow in black soil region of northeast China: A case study of farmers in Heilongjiang Province [J]. *Agricultural Economics and Management*, 2022(5): 41-49 (in Chinese)
- [23] 赵其国, 沈仁芳, 滕应, 李秀华. 中国重金属污染区耕地轮作休耕制度试点进展、问题及对策建议[J]. 生态环境学报, 2017, 26(12): 2003-2007
- Zhao Q G, Shen R F, Teng Y, Li X H. Pilot progress, problems and countermeasures on farmland rotation and fallow system in the heavy metal polluted region of China[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2017, 26(12): 2003-2007 (in Chinese)
- [24] 农业部, 发展改革委, 科技部, 财政部, 国土资源部, 环境保护部, 水利部, 林业局. 农业部发展改革委科技部财政部国土资源部环境保护部水利部林业局关于印发《全国农业可持续发展规划(2015—2030年)》的通知[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2015(28): 75-88
- Ministry of Agriculture, National Development and Reform Commission, Ministry of Science and Technology, Ministry of Finance, Ministry of Natural Resources, Ministry of Ecology and Environment, Ministry of Water Resources, National Forestry and Grassland Administration. Notice of the Ministry of Agriculture, National Development and Reform Commission, Ministry of Science and Technology, Ministry of Finance, Ministry of Natural Resources, Ministry of Ecology and Environment, Ministry of Water Resources, National Forestry and Grassland Administration on printing and distributing the national agricultural sustainable development plan (2015-2030) [J]. *Gazette of the State Council of the People's Republic of China*, 2015(28): 75-88 (in Chinese)
- [25] Benini M, Blasi E, Detti P, Foschi L. Solving crop planning and rotation problems in a sustainable agriculture perspective [J]. *Computers & Operations Research*, 2023, 159: 106316
- [26] 吴宇哲, 许智钊. 休养生息制度背景下的耕地保护转型研究[J]. 资源科学, 2019, 41(1): 9-22
- Wu Y Z, Xu Z Y. Study on the transformation of cropland protection under the background of rehabilitation system [J]. *Resources Science*, 2019, 41(1): 9-22 (in Chinese)
- [27] Lohmar B T. *China's Agricultural Water Policy Reforms Increasing Investment, Resolving Conflicts, and Revising Incentives* [M]. Washington: Department of Agriculture, Economic Research Service, 2003
- [28] Teng Y, Lin P W, Chen X L, Wang J L. An analysis of the behavioral decisions of governments, village collectives, and farmers under rural waste sorting[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2022, 95: 106780

- [29] Adesina A A, Chianu J. Determinants of farmer's adoption and adaptation of alley farming technology in Nigeria [J]. *Agroforestry Systems*, 2002, 55(2): 99-112
- [30] 张美琪, 刘帅, 郭庆海. 政府激励、感知价值对农户黑土地保护意愿与行为影响的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(12): 49-58  
Zhang M Q, Liu S, Guo Q H. Impact of government's incentives and perceived value on farmers' willingness and behavior to protect black land [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2023, 37(12): 49-58 (in Chinese)
- [31] 周颖, 杨鹏, 王立刚, 雷秋良, 张雅南. 东北黑土区保护性耕作生态补偿机制优化路径[J]. 中国农业科学, 2023, 56(22): 4478-4489  
Zhou Y, Yang P, Wang L G, Lei Q L, Zhang Y N. Optimization path of the ecological compensation mechanism for conservation tillage in the northeast black soil region [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2023, 56(22): 4478-4489 (in Chinese)
- [32] 赵昱茜, 鲁春阳, 文枫, 鲁铁定, 张明, 多玲花. 我国耕地轮作休耕研究进展与展望[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(19): 1-9  
Zhao Y Q, Zhao Y X, Lu C Y, Wen F, Lu T D, Zhang M, Duo L H. Research progress and prospect of rotation and fallow of China's cultivated land [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(19): 1-9 (in Chinese)
- [33] Meng N, Zhou J. Evolutionary game analysis of farmers' conservation tillage behavior in black soil areas guided by deep learning [J]. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 2022: 5999007
- [34] 新华社. 探索实行耕地轮作休耕制度试点方案[N]. 人民日报, 2016-06-30(11)  
Xinhua News Agency. Explore the Pilot Program of Implementing Farmland Rotation Fallow System [N]. *People's Daily*, 2016-06-30(11) (in Chinese)
- [35] 佳木斯市人民代表大会常务委员会. 佳木斯市人民代表大会常务委员会关于加强黑土地司法保护工作的意见[N]. 佳木斯日报, 2023-10-27(1)  
Standing Committee of Jiamusi City People's Congress. Opinions of the Standing Committee of Jiamusi City People's Congress on Strengthening the Judicial Protection of Black Land [N]. *Jiamusi Daily*, 2023-10-27 (1) (in Chinese)
- [36] 秦涛, 蒋逸飞, 朱然. 农地流转模式创新与价值提升: 以浙江衢州“两山合作社”为例[J]. 世界农业, 2023(5): 116-124  
Qin T, Jiang Y F, Zhu R. Innovation and value promotion of agricultural land transfer mode: Taking the "Liangshan cooperative" in Quzhou, Zhejiang Province as an example [J]. *World Agriculture*, 2023(5): 116-124 (in Chinese)
- [37] 王治海. 退耕还林政策变迁探析[J]. 生态经济, 2006, 22(3): 38-41  
Wang Z H. Analysis on "reconverting cultivated land into forest" policy variance [J]. *Ecological Economy*, 2006, 22(3): 38-41 (in Chinese)
- [38] 张雅静. 聚焦粮食产能提升[N]. 吉林日报, 2023-08-28(2)  
Zhang Y J. Focus on Grain Production Capacity Improvement [N]. *Jilin Daily*, 2023-08-28(2) (in Chinese)
- [39] 姜慧博. 轮作休耕背景下耕地生态补偿价值评估: 以苏州市为例[D]. 南昌: 江西财经大学, 2022  
Jiang H B. Evaluation of ecological compensation value of cropland in the context of crop rotation and fallow [D]. Nanchang: Jiangxi University of Finance and Economics, 2022 (in Chinese)
- [40] 张帆, 韩鹏, 贝金娣. 黑土地保护政策的变迁历程与演进特征[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(1): 234-249  
Zhang F, Han P, Bei J D. Change process and evolution characteristics of the black soil protection policy [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(1): 234-249 (in Chinese)
- [41] 王天一. 政策引导、市场驱动对农户黑土地保护行为的影响研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2023  
Wang T Y. Study on the influence of policy guidance and market driving on farmers' black land protection behavior [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2023 (in Chinese)
- [42] 王帅, 陈思钰. 农户耕地保护何以可行? 来自湖北省农户农业生产性服务参与的证据[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(4): 269-285  
Wang S, Yan T W, Chen S Y. How is it feasible for farmers to protect cultivated land? Evidence from farmers' participation in agricultural productive services in Hubei Province [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(4): 269-285 (in Chinese)
- [43] 王鹏宇, 孙宏伟. 基于感知价值理论的农户黑土地保护继续参与与行为机理与因应策略[J]. 黑龙江农业科学, 2023(5): 71-75  
Wang P Y, Sun H W. Mechanism response strategies of farmers' continuing participation in black land protection based on perceived value theory [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2023(5): 71-75 (in Chinese)
- [44] 王琦琪. 东北黑土区玉米大豆轮作模式及比价研究: 以黑龙江省为例[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018  
Wang Q Q. Study on corn-soybean rotation model and price comparison in black soil region of northeast China: A case study of Heilongjiang province [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018 (in Chinese)
- [45] 郭清卉, 李昊. 基于环境素养和环境规制双重视角的农户亲环境行为研究[J]. 干旱区资源与环境, 2025, 39(2): 14-25  
Guo Q H, Li H. Research on farmers' pro-environmental behaviors from the dual perspectives of environmental literacy and environmental regulations [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2025, 39(2): 14-25 (in Chinese)
- [46] 余威震, 罗小锋, 唐林, 黄炎忠. 农户绿色生产技术采纳行为决策: 政策激励还是价值认同? [J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(3): 318-324  
Yu W Z, Luo X F, Tang L, Huang Y Z. Policy incentives or value recognition: A study on farmers' adoption behavior of green production technology [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, 36(3): 318-324 (in Chinese)
- [47] 李乾, 王玉斌. 畜禽养殖废弃物资源化利用中政府行为选择: 激励抑或惩罚[J]. 农村经济, 2018, (9): 55-61  
Li Q, Wang Y B. Government behavior choices in the resource utilization of livestock and poultry waste: Incentive or punishment [J]. *Chinese Rural Economy*, 2018, (9): 55-61 (in Chinese)
- [48] 沈昱雯, 罗小锋, 余威震. 激励与约束如何影响农户生物农药施用行为: 兼论约束措施的调节作用[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(4): 1040-1050  
Shen Y W, Luo X F, Yu W Z. How do incentives and constraints affect farmers' use of biopesticides? The moderating role of regulatory measures [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(4): 1040-1050 (in Chinese)
- [49] 孙怡平, 蔡银莺, 谢晋. 基于PMC指数模型的耕地保护补偿政策量化评价[J]. 干旱区资源与环境, 2024, 38(12): 1-12  
Sun Y P, Cai Y Y, Xie J. Quantitative evaluation of farmland protection compensation policy based on PMC index model [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2024, 38(12): 1-12 (in Chinese)
- [50] 杨远舟. 耕地保护补偿制度的解析与重构[J]. 中国不动产法研究, 2024(1): 18-42, 302-303

Yang Y Z. Analysis and reconstruction of the compensation system for farmland protection[J]. *China Real Estate Law Research*, 2024(1): 18-42, 302-303 (in Chinese)

[51] 周文霞. 差序格局视角下我国乡村社会约束机制的嬗变[J]. *农村经济与科技*, 2018, 29(16): 210-211

Zhou W X. Transmutation of China's rural social constraint mechanism under the perspective of differential order pattern [J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2018, 29(16): 210-211 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东



**第一作者简介:** 腾云,东北农业大学教授,管理学博士,博士后,博士生导师,工业工程与物流工程教师联合党支部书记。东北农业大学学术骨干,黑龙江省高端智库专家,黑龙江省科技特派员服务绩效评审专家,黑龙江省区域科技创新能力评审专家,中国农业工程学会农业系统工程学会秘书长、黑龙江省管理科学与工程学会理事、黑龙江省区域科学学会理事。担任农经四大刊物之《中国农村经济期刊》、《中国农村观察期刊》、*Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 审稿专家。主持参与国家级省部级项目20余项,发表SSCI、SCI、EI及CSSCI高水平学术论文30余篇。授权专利4项,出版专著1部。获得黑龙江省高校人文社会研究优秀成果一等奖,撰写研究报告被农业农村部采纳应用,学术报告和研究结论多次在农业农村部新闻发布会及各类工作会议上被采用,并被黑龙江日报新闻报道。