



基于MAS的梯田非粮化农户行为决策机制与模拟

后莉, 裴婷婷, 陈英, 谢保鹏, 席瑞云

引用本文:

后莉, 裴婷婷, 陈英, 等. 基于MAS的梯田非粮化农户行为决策机制与模拟[J]. *农业资源与环境学报*, 2026, 43(1): 104–117.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2024.0861>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[发达国家化肥减量政策的适用性分析及启示](#)

李芳, 冯淑怡, 曲福田

农业资源与环境学报. 2017, 34(1): 15–23 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2016.0154>

[基于移动窗口法的半干旱生态脆弱区景观破碎化及驱动力分析](#)

胡荣明, 杜嵩, 李朋飞, 姚燕子, 王睿哲, 滕坤阳

农业资源与环境学报. 2021, 38(3): 502–511 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0490>

[农户参与对农村生活垃圾分类处理效果的影响](#)

许骞骞, 王成军, 张书赫

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 223–231 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0142>

[规模化奶牛场泌乳牛粪便氮磷含量预测模型研究](#)

渠清博, 杨鹏, 翟中葳, 李爱秀, 张克强

农业资源与环境学报. 2017, 34(3): 234–241 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0038>

[地理探测器与Tobit模型在粤西地区粮食生产效率及影响因子分析中的比较应用](#)

黄馨亿, 任向宁, 马涛, 胡月明, 李波, 张飞扬, 谢健文

农业资源与环境学报. 2020, 37(6): 818–828 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0482>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

后莉, 裴婷婷, 陈英, 等. 基于MAS的梯田非粮化农户行为决策机制与模拟[J]. 农业资源与环境学报, 2026, 43(1): 104-117.
HOU L, PEI T T, CHEN Y, et al. Decision-making mechanism and simulation of non-grain use behavior of farmers on terraced fields based on MAS[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2026, 43(1): 104-117.



开放科学 OSID

基于MAS的梯田非粮化农户行为决策机制与模拟

后莉, 裴婷婷*, 陈英, 谢保鹏, 席瑞云

(甘肃农业大学管理学院, 兰州 730070)

摘要:为探究农户梯田非粮化行为运行逻辑,本研究选取3个典型研究区:果粮复合型(区1)、粮作撂荒混合型(区2)、苹果主导型(区3),基于多智能体系统(MAS),结合实地调研和多情景模拟,探究了甘肃陇中陇东地区农户在梯田利用决策中的行为机制。结果表明:农户梯田利用行为决策的内在机制是以追求经济效益最大化为主要目标,由家庭资源禀赋产生更强的限制和指导作用,外部自然、社会、政策环境提供额外激励或约束的过程,其中,三个研究区内外部环境变量组合权重比值分别为:0.486:0.514、0.575:0.425和0.538:0.462。陇中陇东地区农户梯田利用决策行为呈现以非粮利用为主导、粮食生产为辅的趋势,三个研究区非粮化利用最终决策值分别为0.852、0.842、0.942。研究区农户对各梯田利用方式感知度、反馈值、决策值及主要环境变量具有空间异质性。多情景模拟中,粮食生产激励政策对提高农户粮食作物决策值具有显著正向影响,非粮化市场饱和能有效抑制经济作物型非粮化,吸引劳动力回流可有效缓解撂荒现象。最后,提出针对性的农业非粮化格局优化策略,为促进农村可持续发展提供参考。

关键词:梯田非粮化;农户;行为决策;多智能体系统(MAS);陇中陇东地区

doi: 10.13254/j.jare.2024.0861

Decision-making mechanism and simulation of non-grain use behavior of farmers on terraced fields based on MAS

HOU Li, PEI Tingting*, CHEN Ying, XIE Baopeng, XI Ruiyun

(School of Management, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: To explore the operational logic of farmers' non-grain use behavior on terraced fields, this study based on Multi-Agent System (MAS), combined field surveys and multi-scenario simulations to investigate the decision-making mechanisms of farmers in terraced field utilization in the Longzhong and Longdong regions. The results indicated that the intrinsic mechanism of farmers' decision-making in terraced field utilization was primarily aimed at maximizing economic benefits, with household resource endowment exerting a stronger constraining and guiding influence, while the external natural, social, and policy environments provided additional incentives or constraints. Specifically, the weight ratios of internal and external environmental variables in the three study areas were 0.486:0.514, 0.575:0.425, and 0.538:0.462, respectively. The decision-making behavior of farmers in terraced field utilization in the Longzhong and Longdong regions showed a trend dominated by non-grain use with grain production as a supplement. The final decision values for non-grain use in the three study areas were 0.852, 0.842, and 0.942, respectively. Farmers in the study areas exhibited spatial heterogeneity in their perceptions, feedback values, decision values, and main environmental variables regarding different terraced field utilization methods. In multi-scenario simulations, grain production incentive policies had a significantly positive impact on increasing farmers' decision values for grain crops. Market saturation of non-grain uses could effectively curb non-grain use driven by economic crops and attract labor backflow, thereby effectively alleviating the phenomenon of land abandonment. Finally, targeted strategies for optimizing the pattern of agricultural non-grain use were proposed to provide references for promoting sustainable rural development.

Keywords: non-grain utilization of terrace; farmer; behavioral decision-making; Multi-Agent System (MAS); Longzhong and Longdong regions

收稿日期: 2024-10-31 录用日期: 2025-02-26

作者简介: 后莉(2001—), 女, 甘肃定西人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源管理。E-mail: 15393221808@163.com

*通信作者: 裴婷婷 E-mail: 825629198@qq.com

基金项目: 甘肃省高校创新基金项目(2024B-075); 甘肃省高校研究生“创新之星”项目(2025CXZX-779)

梯田作为山区质量较高的耕地^[1],具有重要的生产功能。随着国家经济迅猛发展、城市扩张加速,经济社会发展对农用耕地资源的挤压加剧^[2],耕地用途管制制度实施以来,我国耕地非粮化趋势得到有效控制,但由于种粮收益低,耕地非粮化现象普遍^[3],且呈现逐步扩大趋势,持续影响我国粮食安全^[4]。甘肃陇中陇东地区梯田分布广泛,是我国重要的农业区之一,具有重要的生产、生态功能。然而当前该区域梯田非粮化现象层出不穷,种植林果类等经济作物及撂荒现象共同影响当地粮食安全,土壤耕作层的破坏及农药与化肥的过度施用,加剧了耕地的农业面源污染^[5],降低了耕地生产力,在一定程度上对粮食安全和生态环境构成威胁,这与甘肃省东部百万亩土地整治重大工程实施目标相悖,因此梯田非粮化治理是当前陇中陇东地区梯田亟需解决的现实问题。

梯田利用是一项复杂的综合生产活动,受到社会、经济与生态环境等多方面因素影响,并在不同的空间区域中呈现非均衡化和异质性^[6]。明确梯田非粮化驱动因素、行为决策和管控措施是科学治理梯田非粮化的关键。当前,学者们从成本效益^[7]、政策效应^[8]、农地流转^[9]、耕地细碎化^[10]、土地权属^[11]等多角度探究其对耕地非粮化的影响程度,考察经济、制度及自然因素等^[12-13]对耕地非粮化率的影响。然而,不同地区耕地非粮化影响因素存在一定差异,仍需结合研究区实际综合考量。此外,也有研究通过探究种植结构^[14]评估非粮化水平或趋势,通过规范耕地用途、改进粮补政策^[15]等协调耕地生产。尽管当前研究已涉及非粮化诸多方面,但仍主要集中在耕地非粮化水平、驱动机制、外部性和政策建议等方面,鲜少关注到梯田这一独特的耕地类型。梯田作为甘肃东部重要粮食生产基地,为西北粮食安全提供保障,关于梯田非粮化的研究对地区可持续发展具有重要意义,对于制衡梯田资源配置、乡村农户生计与经济发展、粮食安全之间的矛盾具有重要参考价值。

农户作为农村经济活动最基本的主体和决策单元^[16],其决策变化是诱发农业结构变动的微观基础,从农户特征视角^[17]探究农户非粮化决策行为机制及影响因素,有助于结合农户行为差异及生计需求提出针对性的梯田非粮化改进策略,从微观视角细化非粮化治理措施,提升农户对政策的可接受性。多智能体系统(Multi-Agent System, MAS智能体)是多个具有一定程度的自主性智能体的有机组合,注重对人类行为决策的模拟,能够比较贴切地解释和预测复杂的土地

利用问题^[18],能有效进行土地利用演化模拟^[19-20]、土地利用驱动机制探究等^[21],同时在农户微观土地利用决策行为分析^[18,22-23]层面具有较大的理论意义和应用价值,利用MAS研究农户行为能够为区域梯田非粮化管控奠定理论基础,丰富其在模拟微观主体与土地利用决策机制方面相关研究。

基于此,为了更好地把握陇中陇东地区梯田利用模式及其背后机理,保障区域粮食安全,本研究基于MAS理论,以甘肃省陇中陇东农户为研究对象,构建农户个体梯田非粮化种植行为决策模型,自下而上探究农户微观决策行为机制,模拟多情景下农户的梯田利用方式,并设计差异化的梯田非粮化破解路径,为促进区域土地资源合理利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

陇中陇东地区地处黄河的中下游内陆地区(图1),位于甘肃省六盘山以东,子午岭以西,我国东部季风区、西北干旱区及青藏高原区交汇处,是国家“两屏三带”黄土高原-川滇生态屏障组成部分^[24],包括庆阳市、平凉市、天水市、定西市、兰州市及白银市所辖共28县区,面积约7.9万km²,占甘肃省面积的18.5%,海拔885~3 941 m,气候干旱少雨,地形复杂,耕地条件差,耕地多为旱地,以梯田为主,主要分布在黄土高原的丘陵地带。在甘肃省东部百万亩土地整治重大工程实施下,坡改梯为区域坡耕地治理提供有效帮助,也为区域粮食生产提供助力,但该区域梯田在应用过程中存在一定问题,如过度追求经济效益而导致梯田种植结构单一且主要以经济作物为主,多呈现以种植苹果、花椒等林果类经济作物及撂荒为主的非粮化现状,危及粮食安全。

1.2 数据来源

本研究数据来源于在研究区农村开展的问卷调查和入户访谈。问卷根据专家咨询和当地实际情况设计,采用多阶段分层随机抽样方法,在陇东地区天水、平凉2市2县(区)3个乡镇6个村,发放问卷200份,回收有效问卷186份,有效回收率为93%。调研区域均经过严格筛选,在梯田非粮化行为上各具特色,涵盖种植各类经济作物及梯田撂荒区域。问卷内容涉及农户家庭的基本状况(包括家庭人口数、农业劳动人口,户主年龄、受教育程度、职业等)、农户家庭收益状况(包括农户家庭的投入产出情况、种植结构、梯田利用方式等)、农户家庭周围环境状况(包括家与

地距离、农地质量、农户间相互作用等)及农户主观认知(农业收入满意度、种粮意愿、行为决策影响因素等)。

1.3 概念界定

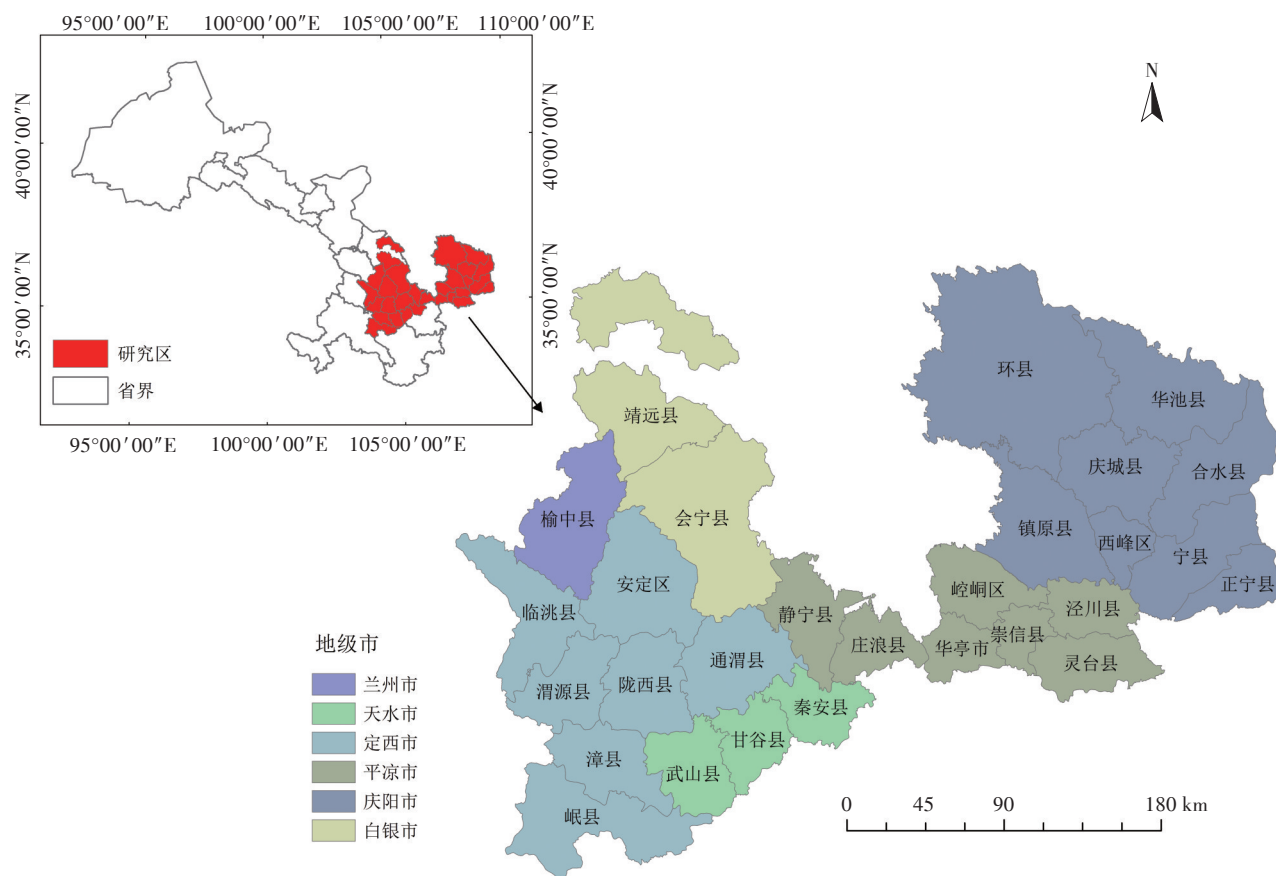
Zhu等^[25]认为耕地非粮化生产是耕地用于非粮食生产的过程,包括经济作物的种植、花卉种植、植树和挖掘池塘,张藕香等^[26]从狭义层面将其定义为在耕地上种植蔬菜、水果、花卉等经济作物的行为。综合前人研究成果,本研究将梯田非粮化定义为:在各等级梯田中,为追求高经济效益或受限于劳动力稀缺而将梯田用于种植非粮食作物或进行非粮食生产活动,包括种植各类经济作物、养殖及撂荒等。农户梯田非粮化决策为农户基于生计需求,结合家庭内外部环境变量而做出是否从事非粮食生产活动的决定。

1.4 基于MAS的农户梯田非粮化决策概念框架

MAS起源于人工智能领域,目前智能体概念已从以人工智能为代表的计算机领域向社会、经济、环境等其他领域扩展^[18]。MAS是由各智能体之间、智能

体与环境之间相互作用,调整自我和环境的不同智能体组成^[27],可用于表达一个系统中具有主观能动性并可以与环境交互作用的独立微观主体,其中每个微观主体可认为是一个智能体,通过描述单个智能体的行为规则及多个智能体之间、智能体与所处环境之间的相互影响,综合探究微观主体对系统宏观层面的作用方式及结果。构建MAS模型的关键是找到智能体之间相协调的形式,把握智能体的决策机理和决策构成,明确不同尺度智能体间的相互作用和信息交流方式^[28]。本研究依据农户梯田非粮化行为决策机理构建多智能体模型,借鉴Valbuenad等^[29]和王涛等^[22]的框架结构,并根据研究背景和研究区实际情况差异对其进行了相应的调整和扩充。

本研究主要聚焦分散型农户对梯田利用方式的选择,将每个农户看作一个智能体,认为农户梯田利用行为决策过程是农户根据对家庭资源禀赋、自然社会环境等内外部环境的综合感知以及上周期经营效益反馈值来更新自身梯田利用策略,权衡后形成下阶



注:图件基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS2019(3333)的标准地图制作,底图无修改。

图1 研究区概况

Figure 1 Overview of the study area

段的利用意愿,并以此引导梯田利用行为。模型主要包含4个模块:智能体感知器、智能体学习器、智能体决策器和智能体决策实施环境,其工作原理为农户智能体将对影响自身梯田行为决策的内外部环境感知转化为农户感知度 k 作用于智能体学习器,智能体学习器综合 k 与上一周期经营效益反馈值 r 更新策略知识,做出智能体决策 d 并作用于智能体决策实施环境,环境产生最终结果及新的反馈值 r' ,作用于新一轮农户梯田利用决策。内外部环境不变的情况下,智能体某种策略之下环境的反馈值越大,则智能体以后会加强该种策略的选择,反之则会减少该种策略选择。

本研究拟将梯田利用方式分为种植粮食作物、种植经济作物、养殖、撂荒^[30]四种,但由于研究区无大面积养殖现象,故剔除养殖。农户的梯田利用方式与多种因素有关,包括农户自身特征、经济利益、政策和法规、城乡发展差异及生态环境变化等多个方面^[31],总体概括为内部环境变量和外部环境变量^[18,22,29]。本框架考虑了不同农户农业生产目标所导致的梯田利用行为差异,以及家庭资源禀赋对农户能力的决定性作用,认为影响农户决策产生的内部变量主要包括农户家庭总收入、农户非农收入、家庭经济效益、家庭结构(职业、人数)、农地质量、家与地距离、农地面积(农地

规模)等。影响农户决策的外部变量包括政策与农户间相互作用、市场利润、自然环境等。

1.5 基于MAS的农户梯田非粮化行为决策模型构建

根据决策概念框架(图2),影响农户决策的变量主要为内部变量 I 和外部变量 E 。因此,各变量作用下的农户决策 D 可表示为 I 与 E 的函数。

$$D=f(I,E) \tag{1}$$

1.5.1 农户智能体感知

本研究基于MAS决策概念框架,参考国内外学者对于农户智能体土地利用决策的量化成果^[16,18,23,29],结合研究区实际非粮化情况,设计农户梯田非粮化相关变量,见表1。

在内部环境变量层面,选取家庭经济效益、家庭劳动力人数、农地质量、家与地距离、农地面积5个变量。农户家庭经济效益作为家庭资源禀赋中最重要的因素,决定着梯田利用是否撂荒、种植结构是否非粮化。个体农户非农收入基数越大,代表其非粮化利用占比及倾向越明显,对耕地保护与粮食安全意识越淡薄。由农户家庭农/非农收入与家庭总收入的比值测算出家庭经济效益,即农户选取的某种梯田利用方式所能获得的经济收益占家庭总收入的比例。当农户该年种植粮食作物收入不佳时,次年将更倾向于种植经济作物,当二者收益均不佳时,则会倾向撂荒。

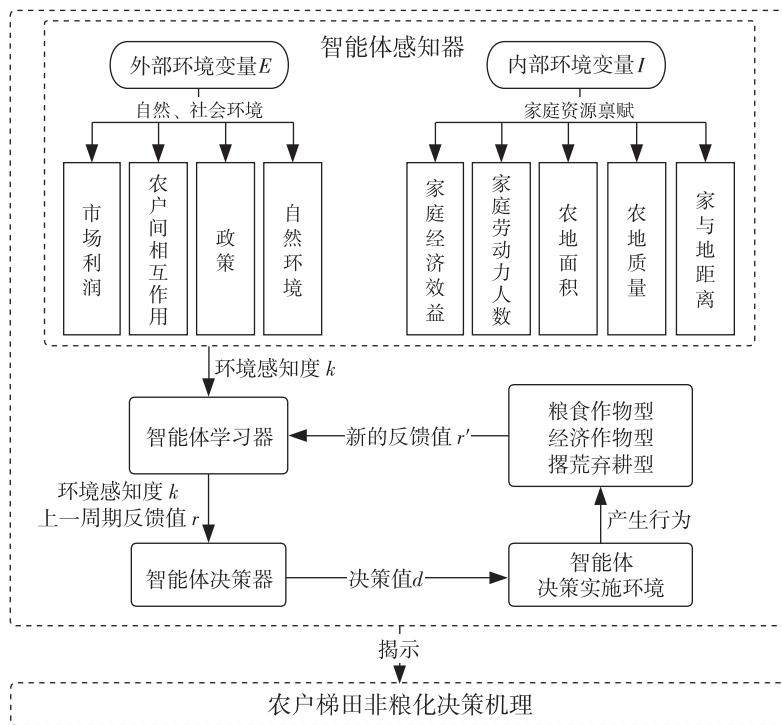


图2 基于MAS的农户梯田非粮化决策概念框架

Figure 2 Conceptual framework of non-grain decision-making of farmers' terraces based on MAS

表1 变量设计与变量解释

Table 1 Variable design and variable interpretation

类型 Type	符号 Symbol	变量 Variable	含义及测量 Meaning and measurement	预期方向 Expected direction		
				粮食作物	经济作物	撂荒
内部变量	X1	家庭经济效益	农/非农收入(元)/家庭总收入(元)	+	+	+
	X2	家庭劳动力人数	家庭劳动力人数实际值(人)	-	+	-
	X3	农地质量	土地肥沃程度、灌溉条件(农地不肥沃,灌排条件差=1;农地不肥沃,灌排条件好=2;农地肥沃,灌排条件差=3;农地肥沃,灌排条件好=4)	+	+	-
	X4	家与地距离	近=1;一般=2;较远=3;很远=4	+	-	-
	X5	农地面积	农地面积实际值(hm ²)	+	+	-
外部变量	X6	政策	政策认可度和执行力	+	-	-
	X7	农户间相互作用	该农户经济收益实际值/全部农户中的经济收益最大值	+	+	+
	X8	市场利润	该种植方式的整体利润/所有种植方式利润之和	+	+	+
	X9	自然环境	自然环境实际情况	+	-	-
因变量	Y1	梯田利用方式	粮食作物,经济作物,撂荒弃耕			

家庭劳动力人数作为重要家庭资源禀赋,影响农户决策的可实现性,驱使农户选择有能力经营的梯田利用形式,家庭劳动力人数越充足,撂荒可能性越小,有效利用耕地可能性更大。除此之外,农地质量越差,其投入产出率就会越低,农户作物选择多样性就会受限,耕种粮食作物或非粮作物都可能面临一定风险,撂荒倾向则会加大。家与地距离越远,农户投入的时间成本和劳动成本越大,管理难度越大,则其非粮化利用可能性越大。农户所经营的耕地面积越大,种植经济作物和粮食作物倾向可能越明显,撂荒可能性越小。

在外部环境变量层面,选取政策、农户间相互作用、市场利润、自然环境4个变量。其中,政策变量表现为农户对耕地非粮化相关规定认可度和可接受度,以农户对政策的感知力和执行力去定量。农户间相互作用即农户通过对比自身梯田利用收益值与其他农户中的收益最大值,分析各自投入产出率等,产生互相学习、模仿、补充知识,从而不断调整自我目标与土地利用方式的过程。周边农户的梯田效益越好,被学习的可能性越大,选取某种利用形式的农户越多。市场利润即农户对作物利润的响应,农户更倾向于选择整体利润高、投入小的利用方式,经济环境越活跃的利用形式越受农户青睐。自然环境变量即研究区气温、降水状况,决定了当地作物与土地的适宜程度,自然条件通过影响农地质量进而影响作物产量和质量。自然条件越差,撂荒或种植经济作物可能性越大。

智能体感知器的主要内容是智能体对周围环境的认识和掌握,由此形成个人具体认识,即农户智能体感知度 $k, k = \{k_I, k_E\}$ 。其中 I 包括家庭经济效益、家

庭劳动力人数、农地质量、家与地距离、农地面积。 E 包括市场利润、政策、农户间相互作用、自然环境。

$$P_{ij} = \frac{I_{ij-1}}{\sum_n I_{i-1}} \quad (n = 1, 2, 3, 4) \quad (2)$$

式中: P_{ij} 为家庭经济效益对农户梯田利用方式的影响程度; I_{ij} 为 $t-1$ 时农户 i 选择第 j 种梯田利用方式的经济收入,元; $\sum I_{i-1}$ 为该农户上一年家庭经济总收入,元,含务工、务农、经商及其他。

$$L_{ij} = \frac{l_{ii} - l_{i,\min}}{l_{i,\max} - l_{i,\min}} \quad (3)$$

式中: L_{ij} 为家庭劳动力人数对农户梯田利用方式的影响程度; $l_{ii}, l_{i,\min}, l_{i,\max}$ 分别表示时间 t 农户 i 的家庭劳动力人数及所有被调查农户中的最小值、最大值。

$$Q_{ij} = \frac{q_{ii} - q_{i,\min}}{q_{i,\max} - q_{i,\min}} \quad (4)$$

式中: Q_{ij} 为农地质量对农户梯田利用方式的影响程度; $q_{ii}, q_{i,\min}, q_{i,\max}$ 分别表示时间 t 农户 i 的农地质量及所有被调查农户中的最小值、最大值。其中,具体值参考王涛等^[22]对农地质量综合指数进行分级,理论上分为1、2、3、4四个级别,级别越低农地质量越差,结合实地调研及问卷调查中“您家农地质量如何”的统计结果量化表达。

$$A_{ij} = \frac{A_{ii} - A_{i,\min}}{A_{i,\max} - A_{i,\min}} \quad (5)$$

式中: A_{ij} 为农地面积对农户梯田利用方式的影响程度; A_{ii} 表示时间 t 农户 i 的家庭农地面积, hm²; $A_{i,\min}, A_{i,\max}$ 分别表示时间 t 所有被调查农户家庭农地面积的最小值、最大值, hm²。

$$D_{ij} = \frac{D_{it} - D_{t,\min}}{D_{t,\max} - D_{t,\min}} \quad (6)$$

式中: D_{ij} 为家与地距离对农户梯田利用方式的影响程度, D_{it} 表示时间 t 农户 i 的家地距离值, $D_{t,\min}$ 、 $D_{t,\max}$ 分别表示时间 t 所有被调查农户家与地距离的最小值、最大值。

$$M_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{ij-1}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m P_{ij-1}} \quad (7)$$

式中: M_{ij} 为市场利润因素对农户梯田利用方式的影响程度,用调查范围内该土地利用方式的整体利润占所有土地利用方式利润和的比例求得^[18,22]; P_{ij-1} 表示上一时期选择 j 种梯田利用方式的农户整体利润。

$$P_{ij} = \frac{P_{it} - P_{t,\min}}{P_{t,\max} - P_{t,\min}} \quad (8)$$

式中: P_{ij} 为政策对农户梯田利用方式的影响程度,政策因素通过实地调查“国家增加种粮补贴,是否愿意继续耕种粮食作物”“您认为当前梯田政策是否具备有效性和可行性”等问题,定量分析政策的影响程度,对调查结果进行评估分级,级别越低说明农户对政策的认可度和执行力越低,反之亦然。

$$I_{ij} = \frac{I_{ij-1}}{\max\{I_{i-1}\}} \quad (i=1,2,3) \quad (9)$$

式中: I_{ij} 为农户间相互作用对农户梯田利用方式的影响程度,用农户 i 选择 j 种梯田利用方式的经济收入与所有农户所有梯田利用方式收入最大值之比定量; I_{ij-1} 表示 $t-1$ 时农户 i 选择第 j 种梯田利用方式的经济收入,元。

自然环境因素的影响通过实地调查定性分析。各变量权重通过在问卷中设置“哪些因素会影响到您梯田利用方式的决定(多选)”项测度,将选择某变量的农户占比进行归一化得到。

$$W_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum n_{sum,j}} \quad (10)$$

最终,农户智能体感知度 k 可更新为:

$$k = W_1 \times P_{ij} + W_2 \times L_{ij} + W_3 \times Q_{ij} + W_4 \times D_{ij} + W_5 \times A_{ij} + W_6 \times M_{ij} + W_7 \times I_{ij} + W_8 \times P_{ij} \quad (11)$$

1.5.2 农户智能体学习

根据决策概念框架可知,农户智能体学习是基于农户智能体感知度 k (k 已知)和上一周期反馈值 r 共同构成。根据现实情况可将 r 表示为上一周期 j 种梯田利用方式平均纯收入占所有家庭平均纯收入之和的比例。

$$r_{ij} = \frac{\bar{p}_{ij}}{p_{sum}} \quad (12)$$

式中: r 值均为正值, r 值越大,对农户第二年的决策起到的反馈作用也越大。

1.5.3 农户智能体决策

根据决策概念框架可知,农户智能体决策受 k 和 r 共同影响,以追求最大经济效益,实现帕累托最优,做出契合自身目标的决策。

$$D = a \times k + b \times r \quad (13)$$

式中: a 表示农户对环境的感知程度; b 表示环境对农户的反馈程度^[22]。其中 $a=1-b$, b 计算公式为:

$$b = 1 - \frac{\bar{p}_{ij}}{p_{sum}} \quad (14)$$

则农户最终决策值为:

$$D = \frac{\bar{p}_{ij}}{p_{sum}} \times k + b \times r \quad (15)$$

本研究涉及计算的撂荒收入参考宋世雄等^[32]的研究,以家庭非农收入代替。

2 结果与分析

案例调查区分别为天水市甘谷县X村、M村、J村、H村,平凉市庄浪县Z村、S村。X村、M村位于甘谷县西北部,梯田形态典型,为旱地,以苹果种植为主,花椒、玉米、小麦、土豆为辅;J、H村位于甘谷县北部,受气候条件限制,不适宜种植苹果,经济作物种植面积较少,包括胡麻、花椒,主要用地格局以种植玉米、小麦、土豆与撂荒居多;Z村、S村位于庄浪县西南部,以种植苹果为主,极少数农户种植花椒、油菜,粮食作物种植比例较小,且多为果粮间作,其中又以玉米、土豆居多,少数种植小麦。因为相邻两村梯田利用情况较为一致,为便于后续分析,研究将X村、M村划分为研究区1(果粮复合型),J村、H村划分为研究区2(粮作撂荒混合型),Z村、S村划分为研究区3(苹果主导型),以此三个区域(区1、区2、区3)的梯田非粮化为例,对农户的梯田利用决策行为展开研究。

2.1 基于MAS理论的农户梯田非粮化行为决策机制

2.1.1 农户智能体感知

(1) 环境变量权重

本研究基于实地调研数据,计算各因素的权重系数,并进行归一化处理(表2),以分析影响农户梯田利用方式决策行为的多元因素及其区域差异性。研究发现,影响不同区域农户梯田利用方式决策行为的

主要变量存在显著差异。区1农户的决策行为主要受家庭经济收益、市场利润及自然环境的影响,权重分别为0.189、0.189、0.135。根据实地调研,该区粮食作物与经济作物种植面积比例约为3:4,反映出农户在作物种植结构上的选择偏好。由于气候环境干旱且缺乏灌溉设施,农户只能在粮食作物满足家庭自产自销需求的基础上,选择在自然环境限制下能产生最大经济效益的作物,以提高家庭收入。影响区2农户梯田利用方式决策行为的内外部环境变量主要包括家庭经济收益、家庭劳动力人数和自然环境,权重分别为0.213、0.277、0.170。该区粮食作物、经济作物、撂荒面积比例大致为0.53:0.17:0.30。实地调查发现,当地受气候环境制约,不适宜种植高收益经济作物,而种植少量花椒及油料作物难以维持家庭收入,因此,劳动力会向更高收益的领域流动,选择外出务工或经商,以寻求更高的经济回报,加之地理位置距离城区较远和教育城镇化影响,部分劳动力进城陪读,导致务农劳动力稀缺,多为留守老人务农,致使家庭经营能力有限,进而引发大面积撂荒现象。在区3,苹果种植是农户的主要经济来源,追求效益最大化成为农户决策的核心目标。家庭经济收益、市场利润、农户间相互作用成为产生主要作用的环境变量,权重分别为0.328、0.177、0.135。农户在相互参考学习中不断摒弃单一化的粮食种植模式,选择更具经济效益的苹果树单作或果粮间作。该区粮食作物、经济作物、撂荒面积的比例大致为0.11:0.88:0.01。调研显示,该区梯田撂荒仅出现在极个别农户的零星地块,原因主要是地块偏远破碎、质量较差,已改种松树。因此,在模拟该区农户行为决策时,不再考虑撂荒情形。从组合权重来看,研究区内农户的梯田利用

决策受到内部环境变量的影响显著大于外部变量。

(2)内外部感知

根据公式(2)~(6)计算农户内部环境变量感知度(表3)。不同区域的农户在各利用方式上的内部感知度存在较大差异。从区1来看,农户对经济作物(CC)的感知度平均值(0.230)显著高于粮食作物(FC)(0.137)。区2农户对撂荒(AF)的感知度平均值(0.257)最高,对FC和CC的感知度相对接近,分别为0.202和0.196,意味着农户在这两种作物的种植决策上存在一定的权衡。区3农户对CC的感知度(0.273)显著高于FC(0.078),这与区1的趋势相似,进一步强调了经济作物带来的潜在经济收益在农户决策中的重要性。综上,农户考量家庭资源禀赋基础上,对高收益、高产出的梯田利用方式具有更高认知度,会优先考

表3 内部环境变量感知度

Table 3 Perception of internal environment variables

农户 Farmer	区1 R1		区2 R2			区3 R3	
	粮食作物FC	经济作物CC	粮食作物FC	经济作物CC	撂荒AF	粮食作物FC	经济作物CC
1	0.043	0.232	0.173	0.157	0.146	0.068	0.068
2	0.169	0.333	0.149	0.144	0.351	0.093	0.203
3	0.134	0.304	0.059	0.186	0.016	0.067	0.193
4	0.165	0.181	0.151	0.147	0.353	0.054	0.382
5	0.122	0.152	0.163	0.144	0.337	0.076	0.176
6	0.151	0.290	0.160	0.160	0.372	0.050	0.378
7	0.209	0.334	0.178	0.152	0.338	0.113	0.377
8	0.136	0.138	0.387	0.422	0.457	0.170	0.223
9	0.091	0.148	0.274	0.146	0.146	0.074	0.402
10	0.154	0.184	0.282	0.282	0.495	0.067	0.329
...
均值	0.137	0.230	0.202	0.196	0.257	0.078	0.273

表2 农户决策内外部环境变量影响权重

Table 2 Weight of influence of internal and external environment variables in farmer household decision making

变量分类 Variable classification	环境变量 Environment variable	人数占比 Population proportion			权重 Weight			组合权重 Combined weight		
		区1 R1	区2 R2	区3 R3	区1 R1	区2 R2	区3 R3	区1 R1	区2 R2	区3 R3
内部变量	家庭经济收益	0.700	0.500	0.672	0.189	0.213	0.328	0.486	0.575	0.538
	家庭劳动力人数	0.300	0.650	0.241	0.081	0.277	0.118			
	农地质量	0.200	0.100	0.103	0.054	0.043	0.050			
	家与地距离	0.300	0.050	0.052	0.081	0.021	0.025			
	农地面积	0.300	0.050	0.034	0.081	0.021	0.017			
外部变量	市场利润	0.700	0.250	0.362	0.189	0.106	0.177	0.514	0.425	0.462
	政策	0.300	0.250	0.103	0.081	0.106	0.050			
	农户间相互作用	0.400	0.100	0.276	0.108	0.043	0.135			
	自然环境	0.500	0.400	0.207	0.135	0.170	0.101			

虑与其资源相匹配并能最大化产出的农业实践。

依据公式(7)计算市场因素对农户决策的影响。得出区1: $M_{粮}=0.106, M_{经}=0.894$,区2: $M_{粮}=0.149, M_{经}=0.185, M_{撂}=0.666$ 、区3: $M_{粮}=0.032, M_{经}=0.968$ 。可见,市场整体利润对种植经济作物和撂荒的正向影响明显高于粮食作物,在一定程度上强化了农户种植经济作物和耕地撂荒的意愿。

如表4所示,区1、区3农户对CC的外部感知度均值(0.291、0.256)显著高于FC(0.124、0.060),表明农户认为区域内经济作物相较粮食作物更适宜种植,且有更大的市场需求,产出率和潜在收益更高。区2农户对AF的外部感知度均值(0.143)相较FC(0.095)和CC(0.090)较高,但三者普遍偏低,可知该区农户对外部环境变量的感知力较低。

由表5可知,各区农户对各利用方式的综合认识高低不一,总体呈现出非粮>粮的状态,这也与实际的调查结果相符合,非粮化利用现象普遍。其中,区1农户对CC的综合感知度均值(0.520)显著高于FC(0.261),二者占比分别为0.677、0.323。区2农户对各利用方式的认知较为均衡,对AF的综合感知度均值(0.399)相比FC(0.297)和CC(0.286)较高,但差距不显著,后二者综合感知度均值相对接近,FC比CC略高0.011,三者占比分别为0.413、0.296、0.291。区3农户对CC的综合感知度(0.529)远高于FC(0.137),二者占比分别为0.793、0.207。整体来看,区2农户对经济作物的综合感知度低于粮食作物,区1和区3经济作物综合感知都显著高于粮食作物感知,这种区间

表4 外部环境变量感知度

Table 4 Perception of external environment variables

农户 Farmer	区1 R1		区2 R2			区3 R3	
	粮食作物FC	经济作物CC	粮食作物FC	经济作物CC	撂荒AF	粮食作物FC	经济作物CC
1	0.020	0.218	0.132	0.130	0.177	0.056	0.221
2	0.060	0.239	0.035	0.020	0.081	0.191	0.289
3	0.161	0.358	0.028	0.030	0.071	0.077	0.261
4	0.209	0.297	0.017	0.020	0.089	0.006	0.258
5	0.020	0.240	0.028	0.020	0.078	0.033	0.243
6	0.161	0.310	0.016	0.020	0.071	0.056	0.287
7	0.204	0.319	0.023	0.020	0.086	0.037	0.283
8	0.101	0.269	0.165	0.152	0.195	0.061	0.309
9	0.169	0.335	0.132	0.126	0.177	0.056	0.265
10	0.131	0.321	0.122	0.126	0.186	0.077	0.270
...
均值	0.124	0.291	0.095	0.090	0.143	0.060	0.256

差异性突出了地域特色在塑造农户土地利用决策中的作用。

2.1.2 农户智能体学习与决策

根据公式(12)计算上一周期反馈值 r ,以评估农户对上一年度梯田利用方式经济效益的响应程度。其中,区1: $r_{粮}=0.059, r_{经}=0.344$,表明CC在上一周期中为农户带来了更为显著的经济收益。相比之下,FC的经济效益则相对较低。区2: $r_{粮}=0.109, r_{经}=0.203, r_{撂}=0.797$,反映出该区AF在上一周期中为农户带来了最强烈的经济反馈。区3: $r_{粮}=0.030, r_{经}=0.617$,后者显著高于前者,表明CC在该区域的经济效益远超

表5 农户综合感知度

Table 5 Comprehensive perception of farmers

农户 Farmer	区1k值 R1		区1k值百分比 PR1		区2k值 R2			区2k值百分比 PR2			区3k值 R3		区3k值百分比 PR3	
	粮食作物FC	经济作物CC	粮食作物FC	经济作物CC	粮食作物FC	经济作物CC	撂荒AF	粮食作物FC	经济作物CC	撂荒AF	粮食作物FC	经济作物CC	粮食作物FC	经济作物CC
1	0.063	0.450	0.123	0.877	0.305	0.287	0.323	0.333	0.314	0.353	0.124	0.289	0.300	0.700
2	0.229	0.573	0.286	0.714	0.184	0.163	0.432	0.236	0.210	0.554	0.284	0.492	0.366	0.634
3	0.295	0.662	0.308	0.692	0.086	0.216	0.087	0.221	0.556	0.222	0.144	0.454	0.241	0.759
4	0.374	0.478	0.439	0.561	0.168	0.167	0.442	0.216	0.215	0.569	0.060	0.640	0.086	0.914
5	0.142	0.392	0.266	0.734	0.191	0.163	0.415	0.248	0.212	0.540	0.109	0.419	0.206	0.794
6	0.313	0.600	0.343	0.657	0.175	0.179	0.443	0.220	0.225	0.556	0.107	0.665	0.138	0.862
7	0.413	0.653	0.387	0.613	0.201	0.171	0.424	0.253	0.215	0.532	0.150	0.660	0.185	0.815
8	0.238	0.407	0.369	0.631	0.551	0.574	0.652	0.310	0.323	0.367	0.231	0.531	0.303	0.697
9	0.260	0.484	0.350	0.650	0.406	0.272	0.323	0.405	0.272	0.323	0.130	0.666	0.163	0.837
10	0.285	0.505	0.361	0.639	0.404	0.408	0.681	0.271	0.273	0.456	0.144	0.599	0.300	0.700
...
均值	0.261	0.520	0.323	0.677	0.297	0.286	0.399	0.296	0.291	0.413	0.137	0.529	0.207	0.793

过FC。反馈值的分析结果揭示了非粮化利用通常具有更高的经济效益,对农户的梯田利用方式决策产生了更显著的影响。整体而言,不同研究区农户对不同土地利用方式的反馈值存在显著差异,这反映了各区在农业生产结构和经济收益模式上的差异性。

结合公式(13)~(15)计算最终决策值(表6),观察不同区域农户决策区间及区内差异。FC的决策值均值在区2最高,区1次之,区3最低。其中,区1的FC决策值均值为0.070,归一化后FC的优先级为0.148,区2为0.129,归一化后优先级为0.158,区3为0.034,归一化后优先级为0.058。区2农户家庭农业劳动力主要由老年人构成,粮食情怀深重,这些农户更注重粮食种植所带来的安全感,以保障基本生活需求。相比之下,区1与区3的农户更多地将粮食生产视为业余活动,通常在零碎地块种植,主要用于自给自足或家禽饲养。从CC来看,呈现区3>区1>区2趋势,平均决策值分别为0.563、0.220、0.405,归一化后优先级为0.942、0.852、0.269,最高值与最低值之间差距达到0.34,地区差异凸显。区2AF决策值均值为0.480,归一化后的优先级为0.573。综合三个区域的数据,可以看出,各区农户在种粮和非粮利用的种植决策上存在显著差异。区1和区3的农户未来更倾向于种植经济作物,在缺乏政策引导干预的情况下,此区域农户可能会为了追求更高的经济效益而增加对经济作物的投入,忽视粮食生产的重要性。而区2的农户虽然对经济作物也有一定的偏好,但对撂荒行为的接受度较高,可能导致该区域土地资源难以得到充

分利用。

综上所述,各区域农户在梯田非粮化利用方面的感知度、上一周期反馈值以及最终决策值均显著高于种植粮食作物。这表明,对于个体农户而言,非粮化利用可能对家庭的发展产生更为积极的推动作用。

2.2 多情景仿真模拟

2.2.1 情景设置及模拟

在情景模拟过程中,为了考虑农户智能体的多种决策需求,并与该地区可能出现的梯田利用发展趋势相对应,在综合考虑现有研究成果、研究区实际情况及问卷调查结果中影响各村梯田利用策略的主要环境变量基础上,认为粮食收益低、非粮收入高、劳动力不足是影响区域农户决策的主要因素,并以此为依据分别设置自然发展情景(ND)、粮食生产激励情景(FP)、非粮化市场饱和情景(NM)、劳动力扩张情景(LE)开展情景模拟,以凸显各区农户决策在主要影响因子量级变动情况下的差异及发展趋势。其中,ND是指梯田利用的影响因子保持不变,梯田利用方式继续沿着当前趋势发展,由农户根据自身对当前环境条件的评估和认知做出决策。FP主要目标是通过政策支持激励农户增加粮食作物的种植,农户结合自身政策认可度和其他环境变量做出决策。NM指非粮化利用(如种植经济作物、撂荒弃耕等)在市场上的供应已经达到或超过需求,导致价格下跌、销售困难或收入减少时,农户结合家庭收入及各环境变量做出决策。LE即假设农户家庭中可用于农业生产的劳动力数量增加,如家庭成年劳动力的增加、外来劳动力

表6 农户最终决策值D及归一化结果

Table 6 Final decision value D and normalized results of farmers

农户 Farmer	区1D值 R1		区1D值归一化 PR1		区2D值 R2			区2D值归一化 PR2			区3D值 R3		区3D值归一化 PR3	
	粮食作物FC	经济作物CC	粮食作物FC	经济作物CC	粮食作物FC	经济作物CC	撂荒AF	粮食作物FC	经济作物CC	撂荒AF	粮食作物FC	经济作物CC	粮食作物FC	经济作物CC
1	0.059	0.381	0.134	0.866	0.130	0.220	0.419	0.169	0.286	0.545	0.033	0.414	0.074	0.926
2	0.069	0.423	0.140	0.860	0.117	0.195	0.506	0.143	0.239	0.618	0.038	0.540	0.066	0.934
3	0.072	0.454	0.138	0.862	0.106	0.206	0.231	0.196	0.379	0.425	0.034	0.516	0.062	0.938
4	0.077	0.390	0.165	0.835	0.115	0.196	0.514	0.140	0.237	0.623	0.031	0.631	0.047	0.953
5	0.063	0.361	0.150	0.850	0.118	0.195	0.492	0.146	0.242	0.611	0.033	0.495	0.062	0.938
6	0.073	0.432	0.145	0.855	0.116	0.198	0.515	0.140	0.239	0.621	0.033	0.646	0.048	0.952
7	0.079	0.451	0.150	0.850	0.119	0.197	0.500	0.146	0.241	0.613	0.034	0.643	0.050	0.950
8	0.069	0.366	0.159	0.841	0.157	0.279	0.682	0.141	0.249	0.610	0.037	0.564	0.061	0.939
9	0.070	0.392	0.152	0.848	0.141	0.217	0.419	0.182	0.279	0.539	0.034	0.647	0.049	0.951
10	0.072	0.400	0.152	0.848	0.141	0.245	0.704	0.129	0.225	0.646	0.034	0.606	0.053	0.947
...
均值	0.070	0.405	0.148	0.852	0.129	0.220	0.480	0.158	0.269	0.573	0.034	0.563	0.058	0.942

的加入或者农村劳动力的回流等,农户结合各环境变量做出决策。模拟结果如图3所示。

(1)粮食作物农户决策值

在ND情景下,区2农户对FC的决策值最高,中位数接近0.14。在FP下,各区FC农户决策值均有明显提高,其中,区2变化最显著,中位数接近0.17,且上四分位数和下四分位数的范围也较宽,显示出政策激励对提高粮食作物种植积极性有明显的激励作用。区1和区3在FP情景下的决策值提升虽不如区2明显,但也表明该区农户对政策具有一定响应。NM情景对FC的影响在3个区域中均表现为决策值的上升,其中,区1和区3变化值高于区2,反映了市场饱和和对以经济作物为主的区域具有更强的影响效应,驱动农户转向粮食作物种植。LE情景对三个区域影响均较小,表现为轻微幅度下降,表明劳动力扩张对农户是否种粮没有显著影响,其值下降可能的原因是虽然家庭劳动力充足,但年轻劳动力依然更倾向选择其他高收益模式。

(2)经济作物和撂荒弃耕农户决策值

对于CC而言,除区1和区3区域在NM情景下决策值呈显著下降趋势外,其余各情景下的决策值均波动极小,保持相对稳定。这表明当经济作物供大于求时,农产品利润和销量下降,区1和区3农户会减少种植经济作物,而其他情景对CC没有显著影响。对于撂荒弃耕,区2在LE情景下决策值明显下降,而在其他情境下均没有明显变化,显示出劳动力增加促进了对撂荒地的再次开发利用,能有效缓解撂荒弃耕现象。

总体而言,FP情景对提高农户粮食作物决策值具有显著的正向影响,粮食补贴增加对提升农户种植粮

食作物意愿更具效力。NM和LD对不同利用方式的影响则因地区而异,显示出地区特性在农业决策中的重要性。ND下的粮食作物决策值相对较低,表明在没有额外政策支持的情况下,农户的种粮意愿可能受到限制。

2.2.2 NetLogo可视化

NetLogo平台作为专门的多智能体仿真平台,包括海龟(turtle)、瓦片(patch)、链(link)和观察者(observer)4类主体。本研究通过在Netlogo随机分布100个海龟代表研究区农户(红色显示),将归一化后的决策值随机赋值给每个海龟,海龟将在运行周期(每个运行周期代表一年)以随机选取的归一化D值为概率按设定规则运动,转向→前进一步→改变所到瓦片颜色(图4)。不同瓦片颜色代表不同的土地利用方式,黄色代表粮食作物,绿色代表经济作物,灰色代表撂荒弃耕,最终形成7个周期后的梯田利用策略

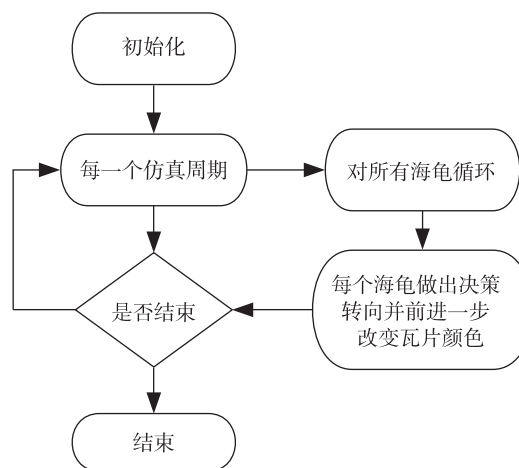
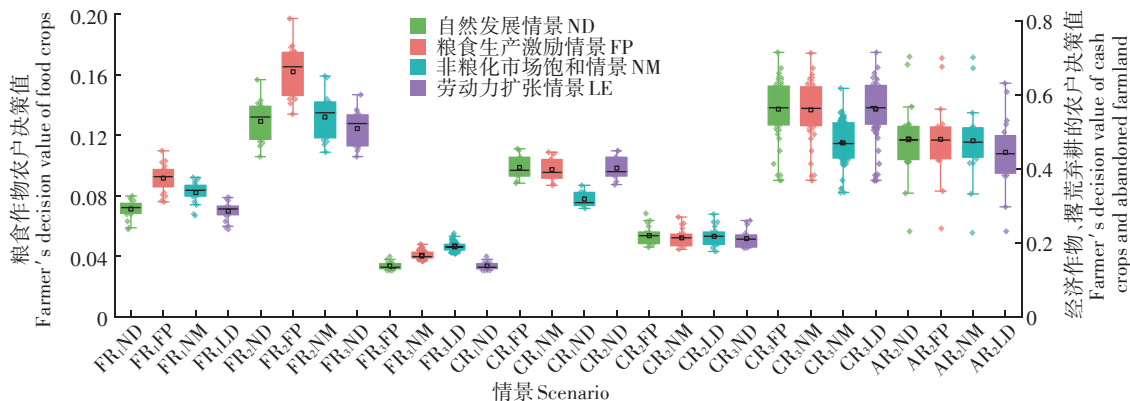


图4 Netlogo 仿真基本框架

Figure 4 Basic framework of Netlogo simulation



F、C、A分别表示粮食作物、经济作物、撂荒弃耕,R表示研究区。

图3 多情景模拟决策变化

Figure 3 Decision changes in multi-scenario simulation

分布范围图。运行逻辑如图4所示。

图5显示了农户梯田利用方式的模拟结果。从空间效应看,区1仿真图中绿色占据主导地位,表示农户在各情景模拟下普遍保持梯田的经济化利用,同时保留了粮食作物的种植。在FP情景和NM情景下粮食作物范围有所扩大,经济作物范围相应缩小。区2的梯田利用类型呈现多样性,撂荒弃耕现象更为普遍,经济作物与粮食作物相对较少,然而,在NM和LE情景下撂荒弃耕范围都呈现不同程度的减少。区3以经济作物的大规模种植为特征,同时伴有少量的粮食作物种植,在FP、NM两种情境下,粮食作物范围变

大,经济作物范围有不同程度的减少。仿真结果揭示了FP情景倾向于增加粮食作物的种植面积,而NM情景则促进了经济作物种植的缩减。LE情景对作物种植的影响相对较小,但有助于减少撂荒弃耕面积。这表明农户在面对不同环境和经济条件时,具备多样化的适应能力,并在农业管理决策中表现出较高的灵活性。三个研究区的梯田利用模式受到各自独特的自然地理环境、社会环境和农户间相互作用的影响,最终在同一区域内形成相对一致的决策结果,每个区内总有一种特定的利用方式被多数农户采纳并实施。随着时间的推移和规模的扩大,区内不同农户

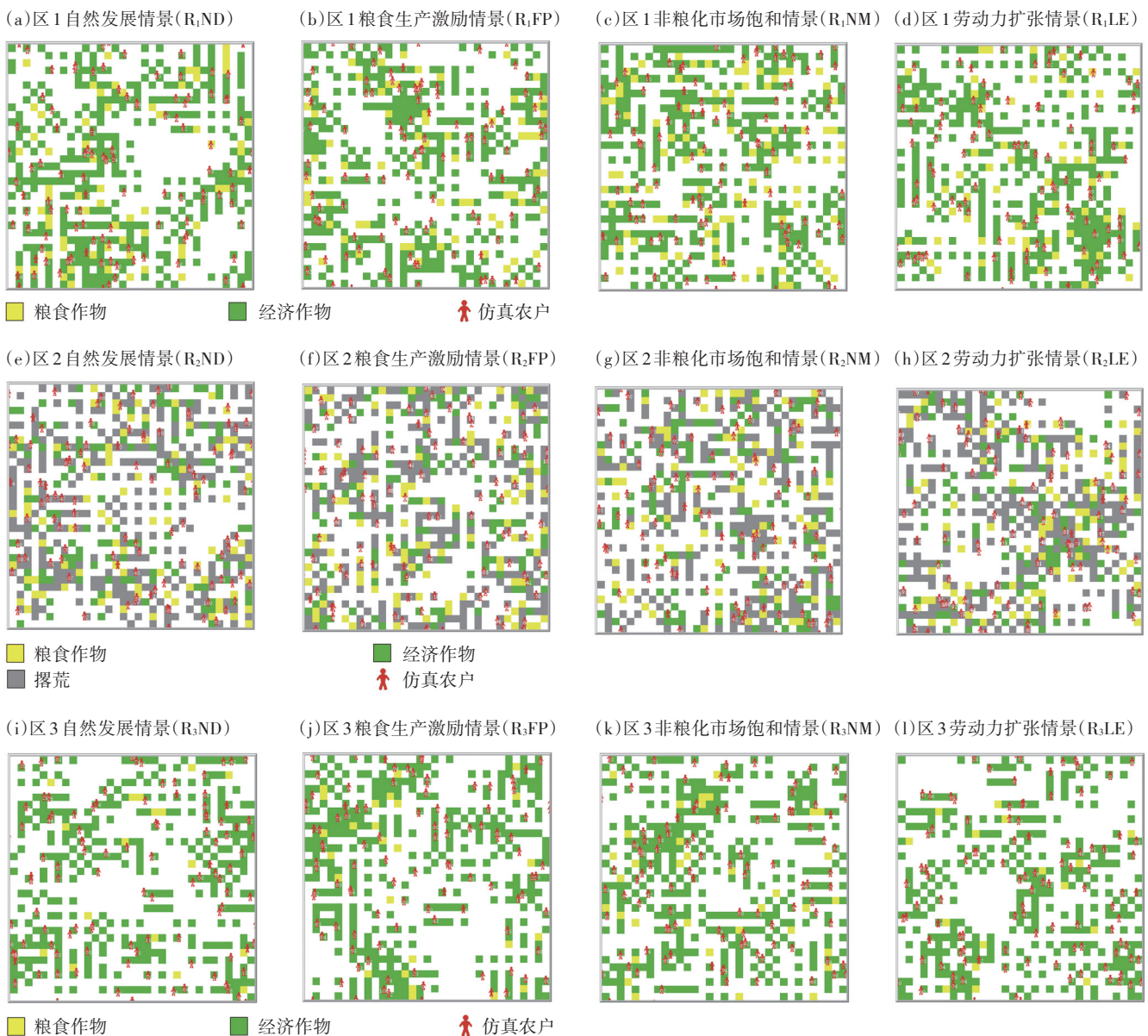


图5 2030年各研究区农户多情景下梯田利用策略Netlogo仿真分布图

Figure 5 Netlogo simulation distributions of farmers' terrace utilization strategies under multiple scenarios in each study area in 2030

对梯田的利用逐渐趋同。从不同区间来看,农户梯田利用方式都呈现非粮现象占据主导地位,但各地具体非粮化结构有所差异,最终形成了“区内趋同、区间差异”的梯田利用格局。本研究中3个研究区距离较远,因而区间差异更大。

3 讨论

本研究揭示了陇中陇东地区梯田存在不同类型、不同程度的非粮化现象。研究发现,区1、区3农户倾向于种植高收益的苹果等经济型作物,这可以视为在追求经济效益最大化目标下的理性决策^[23]。然而,区1非粮化程度较区3更低,区3已发展出较为成熟的非粮化结构,主要表现为苹果单一种植或果粮间作模式,并已在当地形成独特的地域特色,而区1仍处于探索阶段。区2梯田撂荒现象较为普遍,与当地的自然地理环境、经济发展、政策及农户的生计策略密切相关^[1]。从地理区位来看,区1区3均邻近乡镇,市场环境和交通条件优越,为经济作物种植提供有力支持。相比之下,区2位于山区,区位优势并不明显,导致部分土地荒废和人口流失。研究显示,同一地区基于相似地形、气候和人文特征等区域共性,在非粮化结构上也呈现相似性,而不同地区非粮化程度则存在差异,经济发展水平较高的区域经济型非粮化程度更高,农业生产环境较差的山区梯田更易被边缘化^[33],这种差异性导致了非粮化结构的空间异质性。

在分析研究区农户决策的主要环境变量时,本研究发​​现自然条件不佳、种粮收益低、非粮收入高以及劳动力短缺^[34-35]等因素共同推进了非粮化利用规模的扩大。然而,非粮化的成因在各区域间存在差异,且同一因素在不同区域的影响程度亦有所不同^[9],但总体来看,农户决策对内部环境变量的响应更为敏感,家庭资源禀赋对农户的意愿和行为具有更强的限制和指导作用。农户可能更倾向于通过优化内部资源配置来应对外部市场的不确定性,或在外部政策支持不足时,依靠内部资源来维持农业生产的稳定性。此外,耕地细碎化^[10]和农户兼业^[34]也是促进农户耕地非粮化种植意愿和扩大种植规模的重要因素,本研究暂未涉及,未来可做进一步探究。另外,本研究情景模拟是基于研究区特定环境变量所设置,但还可能包含其他未考虑到的发展情景,如技术进步、农地质量提升情景等,由于这些情景在当前研究区域的实际应用和影响尚不明确,故在本研究中暂未纳入,计划在未来的研究中,我们通过模拟更为全面的情景来深入

探讨梯田利用的可能性。

研究发现,尽管各区农户决策过程各具特色,但都呈现一个显著趋势:相较于粮食生产,非粮化生产更受农户青睐。三个研究区农户对非粮化利用的感知度、反馈值、决策值均普遍高于粮食作物,这主要归因于非粮利用带来的潜在经济收益。这表明在粮食作物与经济作物的选择中,经济效益是农户决策的主要驱动力,农户基于生计需求做出符合家庭发展的决策,与Su等^[35]的研究结果一致。此外,区2较高的撂荒弃耕值揭示了当地梯田利用存在问题,需被重点关注。研究区农户对粮食作物种植动机的减弱及非粮化趋势增强也揭示了粮食安全正在面临挑战的处境。多情景模拟结果发现,政策干预对农户决策有显著影响,且这种影响在不同区域和梯田利用类型间存在差异。各区粮食生产激励对农户种植粮食作物意愿提升更具效力,区2撂荒弃耕对劳动力扩张有较高响应。因此,本研究认为未来应考虑区域特定的生产条件和农户需求,制定适宜区域发展、农户易于接受的非粮化管控政策,在实现农业资源的合理配置和农户效益最大化的同时保障粮食安全。此外,鉴于农业多样化对区域经济的正向贡献,政策既不能盲目追求全粮化,也不应完全抑制非粮化,应平衡市场机制与政府调控,以优化农业非粮化格局。基于上述发现,本研究提出以下政策建议:

(1)优化政府干预方式和力度,提高农户接受度。明确政府干预界限,在尊重农民主体地位的基础上加强对耕地利用方式的管控,采取温和型缓解非粮化政策和粮食生产激励政策,在确保农户收入稳定的同时保障粮食安全。如通过财政补贴和粮食种子供应,确保粮食自给能力;高价收购和市场价销售提高农户种粮积极性;丰富农业保险体系,推进精准投保理赔,保障种粮户的比较效益。

(2)划定非粮化界限,精准防控。落实耕地非粮化底线,在耕地保护区优先、耕地质量优先的基础上划定非粮化保护界限,强化土地用途监管,精准防控保护区非粮化现象,统筹非粮化治理。

(3)引入资本,实施商业化种粮政策。针对区2劳动力外流及撂荒弃耕现象,可通过改变现有的家庭小规模生产方式,引入资本进而吸引劳动力回流来缓解。对于撂荒梯田,由相关部门组织整理,引入投资开展规模化土地承包,利用现代化农业机械进行高效种植,优化灌溉措施,提高粮食产量。

(4)因地制宜,精准分区管理。根据各区自然经

济条件,划分为不同的农业生产功能区,分别制定针对性的农业政策,因地制宜地选择最佳的梯田利用方式。可划为宜粮核心区、非粮经济优势区及生态保护修复区等。在宜粮核心区,重点保障粮食作物高产稳产。在非粮经济优势区,种植高效经济作物,打造产业特色、发展地区经济。在生态保护区,实施生态修复措施,保障生态安全。

4 结论

(1)农户梯田利用决策过程是一个涉及内部资源优化和外部环境适应的多因素、多层次、动态变化的复杂系统。其内在形成机制是一个以追求经济效益最大化为主要目标,由多元因素共同影响的决策过程,其中,家庭资源禀赋对农户的意愿和行为具有更强的限制和指导作用,外部自然、社会、政策环境为农户提供额外的激励或约束。

(2)陇中陇东地区农户梯田利用决策行为呈现以非粮利用为主导,粮食生产为辅的趋势。农户更倾向于选择高收益、高产出的梯田利用方式,导致农户生计需求与粮食安全产生矛盾。

(3)陇中陇东地区农户梯田利用决策行为及其主要环境变量具有空间异质性。各研究区农户对不同利用方式的感知度、反馈值和决策值有所不同,反映出各区在农业生产结构和经济收益模式上的差异。最终形成陇中陇东地区“区内趋同、区间差异”的梯田利用格局。且影响不同区域农户行为的主要环境变量存在差异,各地对经济效益、市场利润、自然环境、家庭劳动力人数等主要环境变量的响应程度不同。

(4)农户梯田利用决策行为具有灵活性和适应性。农户在面对不同内外环境条件时,具备多样化的适应能力,并在农业管理决策中表现出较高的灵活性。其中,粮食生产激励情景对提高农户粮食作物决策值具有显著的正向影响,非粮化市场饱和情景对以经济作物为主的地区经济化利用有显著负向影响,劳动力扩张情景能有效缓解撂荒现象。可见,合理的政策引导能有效缓解非粮化现象。

参考文献:

[1] 董世杰, 辛良杰, 李升发, 等. 中国梯田撂荒程度及空间格局分异研究[J]. 地理学报, 2023, 78(1): 3-15. DONG S J, XIN L J, LI S F, et al. The extent and spatial distribution of terrace abandonment in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(1): 3-15.

[2] D'AMOUR C B, REITSMA F, BAIOCCHI G, et al. Future urban land expansion and implications for global croplands[J]. *PNAS*, 2017, 114

(34): 8939-8944.

[3] 陈莉珍, 刘光盛, 聂嘉琦, 等. 耕地“非粮化”影响因素空间效应研究:以珠三角为例[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(3): 530-538. CHEN L Z, LIU G S, NIE J Q, et al. Spatial effect of influential factors of non-grain cultivated land: a case study of the Pearl River Delta[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2024, 41(3): 530-538.

[4] 崔家兴, 靳涵, 罗滢渊, 等. 县域耕地非农化、非粮化与乡村人口空心化的耦合协调关系:以长江经济带为例[J]. 生态学报, 2024, 44(5): 1822-1836. CUI J X, JIN H, LUO Y Y, et al. Non-agricultural transformation and non-grain production and their coordinated relationships with rural population hollowing: a case study of Yangtze River Economic Belt[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(5): 1822-1836.

[5] BRYAN B A, GAO L, YE Y Q, et al. China's response to a national land-system sustainability emergency[J]. *Nature*, 2018, 559(7713): 193-204.

[6] 陈浮, 刘俊娜, 常媛媛, 等. 中国耕地非粮化空间格局分异及驱动机制[J]. 中国土地科学, 2021, 35(9): 33-43. CHEN F, LIU J N, CHANG Y Y, et al. Spatial pattern differentiation of non-grain cultivated land and its driving factors in China[J]. *China Land Science*, 2021, 35(9): 33-43.

[7] SUN Y, CHANG Y Y, LIU J N, et al. Spatial differentiation of non-grain production on cultivated land and its driving factors in coastal China[J]. *Sustainability*, 2021, 13(23): 13064.

[8] 龚燕玲, 张应良. “趋粮化”抑或“非粮化”:高标准农田建设的政策效应[J]. 江西财经大学学报, 2023(6): 68-83. GONG Y L, ZHANG Y L. "Grain-oriented" or "non-grain-oriented": the policy effect of high-standard farmland construction[J]. *Journal of Jiangxi University of Finance and Economics*, 2023(6): 68-83.

[9] LIU G S, ZHAO L S, CHEN H Y, et al. Does farmland transfer lead to non-grain production in agriculture? an empirical analysis based on the differentiation of farmland renting-in objects[J]. *Sustainability*, 2023, 15(1): 379.

[10] 谢花林, 欧阳振益, 陈倩茹. 耕地细碎化促进了耕地“非粮化”吗? 基于福建丘陵山区农户的微观调查[J]. 中国土地科学, 2022, 36(1): 47-56. XIE H L, OUYANG Z Y, CHEN Q R. Does cultivated land fragmentation promote “non-grain” utilization of cultivated land? based on a micro survey of farmers in the hilly and mountainous areas of Fujian[J]. *China Land Science*, 2022, 36(1): 47-56.

[11] ZHANG J Z, LI X J, XIE S H, et al. Research on the influence mechanism of land tenure security on farmers' cultivated land non-grain behavior[J]. *Agriculture*, 2022, 12(10): 1645.

[12] RAN D, ZHANG Z L, JING Y H. A study on the spatial-temporal evolution and driving factors of non-grain production in China's major grain-producing provinces[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(24): 16630.

[13] 袁源, 王亚华, 徐萍. “非粮化”治理视角下的耕地用途管制:应对逻辑与体系构建[J]. 自然资源学报, 2024, 39(4): 942-959. YUAN Y, WANG Y H, XU P. Cultivated land use control from the perspective of “non-grain” governance: response logic and framework construction[J]. *Journal of Natural Resources*, 2024, 39(4): 942-959.

[14] 马俊凯, 李光泗. 农地确权、要素配置与种植结构:“非粮化”抑或

- “趋粮化”[J]. 农业技术经济, 2023(5):36-48. MA J K, LI G S. Farmland and confirmation registration, factor allocation and planting structure: “non-grain production” or “grain production trend”? [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2023(5):36-48.
- [15] 杜国明, 范晓雨, 于凤荣. 耕地“非粮化”演化机制与治理策略: 基于刺激—反应模型的案例研究[J]. 中国土地科学, 2023, 37(8): 52-61. DU G M, FAN X Y, YU F R. The evolution mechanism and governance strategies of “non-grain” utilization of cultivated land: a case study based on the stimulus-response model[J]. *China Land Science*, 2023, 37(8):52-61.
- [16] 谢花林, 曾宏琛, 陈倩茹. 梯田利用效率的农户差异及其影响因素: 基于赣湘闽三省1107份农户调查[J]. 地理研究, 2024, 43(8): 2010-2024. XIE H L, ZENG H C, CHEN Q R. Study on the differences in terrace utilization efficiency among farmers and its influencing factors: a case study of 1 107 households in Jiangxi, Hunan, and Fujian[J]. *Geographical Research*, 2024, 43(8): 2010-2024.
- [17] LIU X R, XU L L, ZHANG X L. Driving factors of farmers' non-grain production of cropland in the hilly and mountainous areas[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 461:142658.
- [18] 常笑, 刘黎明, 刘朝旭, 等. 农户土地利用决策行为的多智能体模拟方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14):227-237. CHANG X, LIU L M, LIU Z X, et al. Method of multi-agent system for simulating land-use decision-making behavior of farmer households[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(14):227-237.
- [19] 汪晗, 廖英伶, 聂鑫, 等. 基于Multi-Agent System的土地利用/覆被变化模型研究进展[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(13):1-7. WANG H, LIAO Y L, NIE X, et al. Research progress on land use/cover change model based on Multi-Agent System[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(13):1-7.
- [20] HUIGEN M. Agent based modeling in land-use and land-cover change studies[R]. Laxenburg: international Institute for Applied Systems Analysis, 2003.
- [21] 刘敬杰, 夏敏, 刘友兆, 等. 基于多智能体与CA结合模型分析的农村土地利用变化驱动机制[J]. 农业工程学报, 2018, 34(6):242-252. LIU J J, XIA M, LIU Y Z, et al. Driving mechanism of rural land use change based on multi-agent system and cellular automata [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(6):242-252.
- [22] 王涛, 陈海, 白红英, 等. 基于Agent建模的农户土地利用行为模拟研究: 以陕西省米脂县孟岔村为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24(12):2056-2066. WANG T, CHEN H, BAI H Y, et al. Agent-based modeling of simulation on households land-use behavior: a case of Mengcha Village of Mizhi County in Shaanxi Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(12):2056-2066.
- [23] 朱勇, 梁栋栋, 徐玉婷. 基于MAS模型的农户农地流转行为决策过程、机理与模拟研究: 以安徽省为例[J]. 地域研究与开发, 2020, 39(5):126-132. ZHU Y, LIANG D D, XU Y T. Decision process, mechanism and simulation of farmers' farmland transfer behavior based on MAS model: a case study of Anhui Province[J]. *Areal Research and Development*, 2020, 39(5):126-132.
- [24] 唐安齐, 王平, 庞艳. 陇东陇中黄土高原地区生态系统健康现状及生态安全屏障建设评价研究[J]. 环境生态学, 2020, 2(1):35-42. TANG A Q, WANG P, PANG Y. Evaluation of ecosystem health status and ecological safety barrier construction in the Loess Plateau area of Longdong-Longzhong[J]. *Environmental Ecology*, 2020, 2(1): 35-42.
- [25] ZHU Z Y, DAI Z Z, LI S L, et al. Spatiotemporal evolution of non-grain production of cultivated land and its underlying factors in China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(13):8210.
- [26] 张藕香, 姜长云. 不同类型农户转入农地的“非粮化”差异分析[J]. 财贸研究, 2016, 27(4):24-31. ZHANG O X, JIANG C Y. Analysis on differences of “non-grain” of different types farmers in transfer-in farmland[J]. *Finance and Trade Research*, 2016, 27(4): 24-31.
- [27] FERBER J, WEISS G. Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence[M]. Boston: Addison-Wesley, 1999.
- [28] 陈海, 王涛, 梁小英, 等. 基于MAS的农户土地利用模型构建与模拟: 以陕西省米脂县孟岔村为例[J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1448-1456. CHEN H, WANG T, LIANG X Y, et al. Simulation and application of household's LUCC based on a multi-agent system: a case study for Mengcha Village of Mizhi County of Shaanxi Province [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12):1448-1456.
- [29] VALBUENA D, VERBURG P H, BREGT A K, et al. An agent-based approach to model land-use change at a regional scale[J]. *Landscape Ecology*, 2010, 25(2):185-199.
- [30] 王容, 李贤, 黄毅祥, 等. 关中原西部耕地季节性撂荒的农户行为机理研究[J]. 水土保持研究, 2022, 29(2):372-379. WANG R, LI X, HUANG Y X, et al. Behavior mechanism of farmers' seasonal abandonment of cultivated land in the west part of Guanzhong Plain [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(2):372-379.
- [31] ZHU Z Y, DUAN J J, LI S L, et al. Phenomenon of non-grain production of cultivated land has become increasingly prominent over the last 20 years: evidence from Guanzhong Plain, China[J]. *Agriculture*, 2022, 12(10):1654.
- [32] 宋世雄, 梁小英, 陈海, 等. 基于多智能体和土地转换模型的耕地撂荒模拟研究: 以陕西省米脂县为例[J]. 自然资源学报, 2018, 33(3):515-525. SONG S X, LIANG X Y, CHEN H, et al. The simulation of cropland abandonment based on multi-agent system and land transformation model: a case study of Mizhi County, Shaanxi Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(3):515-525.
- [33] 李升发, 李秀彬. 耕地撂荒研究进展与展望[J]. 地理学报, 2016, 71(3):370-389. LI S F, LI X B. Progress and prospect on farmland abandonment[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(3):370-389.
- [34] 盛美琪. 农户兼业对耕地非粮化的影响研究: 来自赣南丘陵山区5县610个样本的调查[D]. 南昌: 江西财经大学, 2024. SHENG M Q. Study on the influence of farmers' part-time employment on farmland non-grain: a survey of 610 samples from 5 counties in hilly and mountainous areas of southern Jiangxi[D]. Nanchang: Jiangxi University of Finance and Economics, 2024.
- [35] SU Y, QIAN K, LIN L, et al. Identifying the driving forces of non-grain production expansion in rural China and its implications for policies on cultivated land protection[J]. *Land Use Policy*, 2020, 92: 104435.