DOI: 10.20103/j.stxb.202403130520

侯彩霞,尹小明,王萌萌.不同干旱程度下社会规范对农牧交错区社会-生态系统的影响.生态学报,2024,44(22):10031-10043.

Hou C X, Yin X M, Wang M M.The effects of social norms on the social-ecological systems in agro-pastoral ecotone under different drought degrees.Acta Ecologica Sinica,2024,44(22):10031-10043.

不同干旱程度下社会规范对农牧交错区社会-生态系统的影响

侯彩霞[1,2],尹小明[1,2,*],王萌萌[1,2]

1 西安建筑科技大学管理学院, 西安 710055

2 西安建筑科技大学神经工程管理实验室, 西安 710055

摘要:全球气候变暖导致干旱事件频发,干旱已经严重威胁农牧交错区社会-生态系统的健康发展。与此同时,受超载过牧干扰草原生态环境日益恶化,农牧交错区社会-生态系统面临巨大压力。为维持农牧交错区社会-生态系统的可持续发展,国务院于2002 年、2012 年和 2016 年相继实行草原禁牧政策、第一轮草原生态奖补政策和第二轮草原生态奖补政策。然而,政策实施以来违规放牧现象长期存在,农户违规放牧使草原生态系统受到影响,导致禁牧政策和草原生态奖补政策未能有效发挥作用,农牧交错区社会-生态系统依然面临系统崩溃风险。基于此,以草场沙化严重区域宁夏盐池县为例,基于多主体建模与仿真方法(Agent-based model,ABM)模拟农户放牧行为决策过程,分析不同干旱程度下,执法力度和邻里效应等社会规范对农牧交错区社会-生态系统的影响机制。为更合理的展示和模拟农牧交错区实际,本文结合 2021 年盐池县问卷调研数据、社会经济统计数据、部分文献数据以及草原监测数据等,对 ABM 模型中的参数进行设定,构建了用于模拟干旱干扰下农牧交错区社会-生态系统模型。结果显示:(1)干旱影响下农户收入呈先上升后下降的趋势,且农户收入最终低于初始状态。同时,随干旱概率的增加,草地生态系统退化趋势加剧。(2)总体而言,当草场面临干旱等自然灾害影响时,执法力度的增加并未有效保证社会-生态系统健康发展。具体表现为,当干旱来临时随执法力度的增加,农户收入能够维持在稳定的区间内,执法力度对农户收入产生的影响较小。并且,在不同干旱程度下执法力度的增强未能有效制止违规放牧行为,导致草地生态系统继续退化。(3)强邻里效应能够很大程度上影响农户行为决策,进而对农牧交错区社会-生态系统产生影响。当农户行为决策受周围农户影响很大时(即强邻里效应下),农户更容易实施违规放牧,致使草地生态系统受超载放牧和干旱影响,造成草地生态系统恶化。而从短期来看违规放牧导致农户生产成本大幅降低,从而提升了农户生产效益,增加农户收入。然而长远而言,强邻里效应下大量农户违规放牧,致使草地生态系统达到最大载畜量,草地生态系统恶化,农户转为舍饲养殖,农户生产经济效益下降,农户收入逐渐下降。

关键词:农牧交错区社会-生态系统;干旱;违规放牧;执法力度;邻里效应

The effects of social norms on the social-ecological systems in agro-pastoral ecotone under different drought degrees

HOU Caixia[1,2], YIN Xiaoming[1,2,*], WANG Mengmeng[1,2]

1 *School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an* 710055, *China*

2 *Laboratory of Neuromanagement in Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an* 710055, *China*

Abstract: Global warming has led to frequent droughts, which have become a serious threat to the sustainabledevelopment of social-ecological systems in the agro-pastoral ecotone. At the same time, the grassland ecological environment is

基金项目:国家自然科学基金面上项目(52270189);陕西省教育厅专项科研计划项目(21JK0213)

收稿日期:2024-03-13; **采用日期**:2024-08-29

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: a@xauat.edu.cn

deteriorating as a result of overloading and overgrazing, and the social-ecological systems in the agro-pastoral ecotone are under significant stress. In order to maintain the sustainable development of the social-ecological systems in the agro-pastoral ecotone, the State Council implemented the grassland grazing ban policy, the first round of grassland ecological subsidy policy, and the second round of grassland ecological subsidy policy in 2002, 2012, and 2016, respectively. However, since the implementation of the policy, the phenomenon of illegal grazing has existed for a long time, and the grassland ecosystem has been affected by illegal grazing by farmers, which has led to the failure of the forbidden grazing policy and the grassland ecological reward and subsidy policy to play an effective role, and the social-ecological systems in the agro-pastoral ecotone are still facing the risk of system collapse. Based on this, this paper takes Yanchi County of Ningxia, a serious area of grassland desertification, as an example, simulates the decision-making process of farmers' grazing behavior based on ABM (Agent-based model), and analyzes the influence mechanism of social norms, such as law enforcement and neighborhood effect, on the social-ecological system in the agro-pastoral ecotone under different drought levels. To demonstrate and simulate the actuality of the agro-pastoral ecotone, this paper combines the questionnaire research data, social-economic statistical data, part of the literature data, and grassland monitoring data of Yanchi County in 2021, sets the parameters in the ABM model, and constructs the social-ecological system model used to simulate the agro-pastoral ecotone under the disturbance of drought. The results show that (1) The income of farmers under the influence of drought shows a tendency of increasing and then decreasing, and the income of farmers is finally lower than the initial state. Meanwhile, the degradation trend of grassland ecosystem increased with the increase of drought probability. (2) Overall, when the grassland faces the impact of natural disasters such as drought, the increase in law enforcement has not been effective in ensuring the healthy development of the social-ecological system. Specifically, when drought comes with the increase of law enforcement efforts, the income of farmers can be maintained in a stable range, and the impact of law enforcement efforts on farmers' income is small. Moreover, the increase in enforcement efforts under different drought levels failed to effectively stop illegal grazing behavior, resulting in the continued degradation of grassland ecosystems. (3) The potent neighborhood effect can significantly influence the behavior and decision-making of farmers, and subsequently exert an impact on the social-ecological system in the agro-pastoral ecotone. When the behavioral decisions of farmers are profoundly affected by the surrounding farmers (that is, under the potent neighborhood effect), farmers are more prone to undertake illegal grazing, causing the influence of overgrazing and drought on the grassland ecosystem and leading to the deterioration of the grassland ecosystem. In the short term, illegal grazing leads to a notable reduction in farmers' production costs, thereby enhancing farmers' production efficiency and increasing farmers' income. However, in the long run, under the potent neighborhood effect, a large number of farmers engaging in illegal grazing results in the maximum livestock carrying capacity of the grassland ecosystem, the deterioration of the grassland ecosystem, farmers resorting to indoor feeding, the decline in the economic efficiency of farmers' production, and the gradual decrease in farmers' income.

Key Words: Social-ecological systems in agro-pastoral ecotone; drought; illegal grazing; enforcement efforts; neighborhood effect

全球气候变暖使干旱频率不断增加[1],农牧交错区社会-生态系统受到干旱的严重影响[2]。草原生态系统是中国最大的陆地生态系统,草地资源是牧区经济发展和生态环境健康的基础[3]。近年来,受气候变化和过度放牧的干扰,草原生态系统的可持续性受到威胁[4—5]。2002 年起,国务院决定在草场退化严重的农牧交错区实施草原禁牧政策,旨在减少草原生态系统的压力,维持农户生计的可持续发展。禁牧政策实施后,农户由传统的自由放牧转变为舍饲养殖,致使养殖成本增加,经济利益受损。为维持生计水平不变,违规放牧现象时常发生[6],禁牧政策的有效性受到影响。2011 年起,国家正式实施草原生态保护补助奖励政策,以期提高农户收益,促使禁牧政策有效实行,缓解草原生态环境压力。2016 年第二轮草原生态保护补助奖励政策正式

实施。新一轮草原生态保护补助奖励政策对上一轮进行了完善,并增加了补助奖励资金。2021 年财政部、农业农村部及国家林草局印发《第三轮草原生态保护补助奖励政策实施指导意见》,继续推行草原生态保护补助奖励政策,并进一步增加投入资金。然而,草原生态保护补助奖励政策实行以来,农户违规放牧现象长期存在。已有研究证实,宁夏盐池县存在违规放牧行为的受访户的比例占调研总量的 56.04%[7]。

为维持农牧交错区社会-生态系统可持续发展,国内外学者从人类活动和气候变化等方面探讨农牧交错区社会-生态系统的影响因素。有学者将草地生态系统退化的影响因素归为超载放牧和干旱[8—9],干旱和过度放牧可以改变植物物种丰富度和土壤有机物[10],进而对草原生态系统造成破坏。禁牧政策和草原生态保护补助奖励政策的实施有利于修复草原生态系统和稳定农户收入水平,但监管力度不足导致政策的有效性受到影响[11]。气候变化与草原生态系统退化密切相关[12—14]。全球变暖致使气温升高,导致干旱区和半干旱区草原水分减少,进而加剧了草原退化[15]。草原生态系统是人类活动和气候变化共同作用的一个动态复杂系统[16—17],现有的实证方法难以模拟农牧交错区社会-生态系统的动态复杂过程。基于此,本文应用多主体建模与仿真方法(Agent-based model,ABM)探究不同干旱程度下社会规范对农牧交错区社会-生态系统的影响。

多主体建模与仿真是一种自下而上研究复杂系统的方法[18],它通过建模不同主体的行为规则和主体间的交互关系,使主体的决策随环境变化而改变,进而涌现宏观、复杂的现象[19]。近年来,多主体建模已被应用于多个方向的研究,如牧场资源管理[20]、城市土地利用[21]等。农牧交错区社会-生态系统是包括多个主体的复杂系统,主体之间交互影响,因此,多主体建模为研究农牧交错区社会-生态系统提供了有效的方法。本文拟探讨:(1)干旱对农牧交错区社会-生态系统的影响机制。(2)不同干旱程度下执法力度对违规放牧行为和农牧交错区社会-生态系统的影响。(3)不同干旱程度下邻里效应对违规放牧行为和农牧交错区社会-生态系统的影响。

1　研究区概况

盐池县位于宁夏回族自治区吴忠市东部地区(图 1),地理坐标为北纬 37°04′—38°10′,东经 106°30′—107°41′,南北长 110km,东西宽 66km,总面积 8 522.2km^2。据统计,盐池县天然草原面积为 556 930hm^2,丰富的草场资源为畜牧业发展提供了有利条件。长期以来,畜牧业是盐池县经济发展的支柱产业。2022 年畜牧业产值 209504.4 万元,占农林牧渔业总产值的 62.6%。然而,盐池县草原生态环境脆弱,干旱的气候条件和过度放牧导致草原退化严重。其年平均气温 7.8℃,冬夏两季平均温差 28℃,多年平均降水在 250—350mm 之

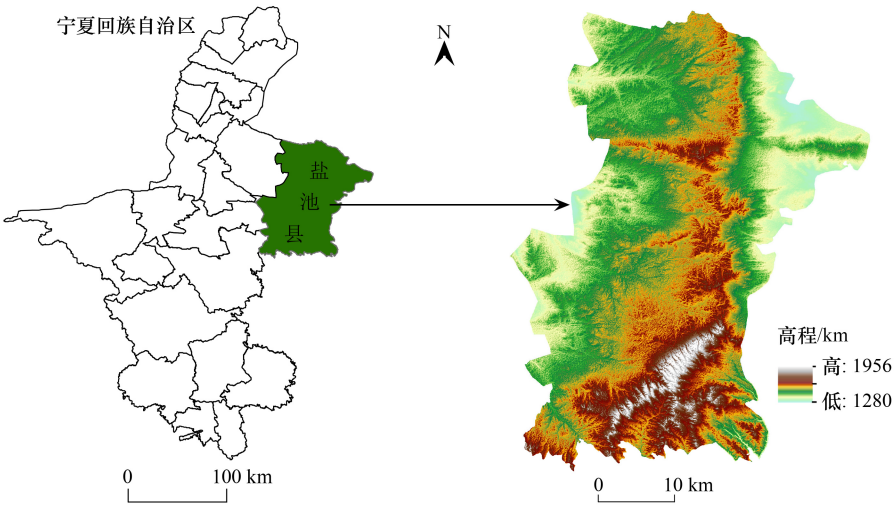

图 1　研究区位置图

Fig.1　Location map of the study area

间,并从东南向西北递减,年均蒸散量为降水量的 5—6 倍,属于典型的中温带大陆季风气候。2001—2010 年干旱发生总频率为 70%,中等及以上等级干旱发生频率为 50%;2011—2019 年干旱发生总频率为 90%,中等及以上等级干旱发生频率为 30%[22]。此外,在全球变暖下 21 世纪盐池县遭遇干旱的风险可能增加,且旱灾风险在短期内(2016—2035 年)增长幅度较大[23]。

2 模型构建及数据来源

2.1 农牧交错区社会-生态系统 ABM 模型构建

参考 Wang 等[24]对草场制度选择的设定,本文结合宁夏盐池县调研及文献支撑,对盐池县农牧交错区社会-生态系统进行设定(图 2)。首先,依据调研数据和历年统计数据对模型主体属性和环境进行设定,主要包括农户个体类型及数量、农户个体拥有的滩羊数量和草场面积、草场产量、模型运行时间步长、干旱概率等。其次,依据文献内容和调研数据对农户违规放牧行为决策进行设定,农户违规放牧行为决策主要受邻里效应、经济效应和草场产量影响。最后,在模型输出阶段设定主体收益公式以及草场退化衡量指标。

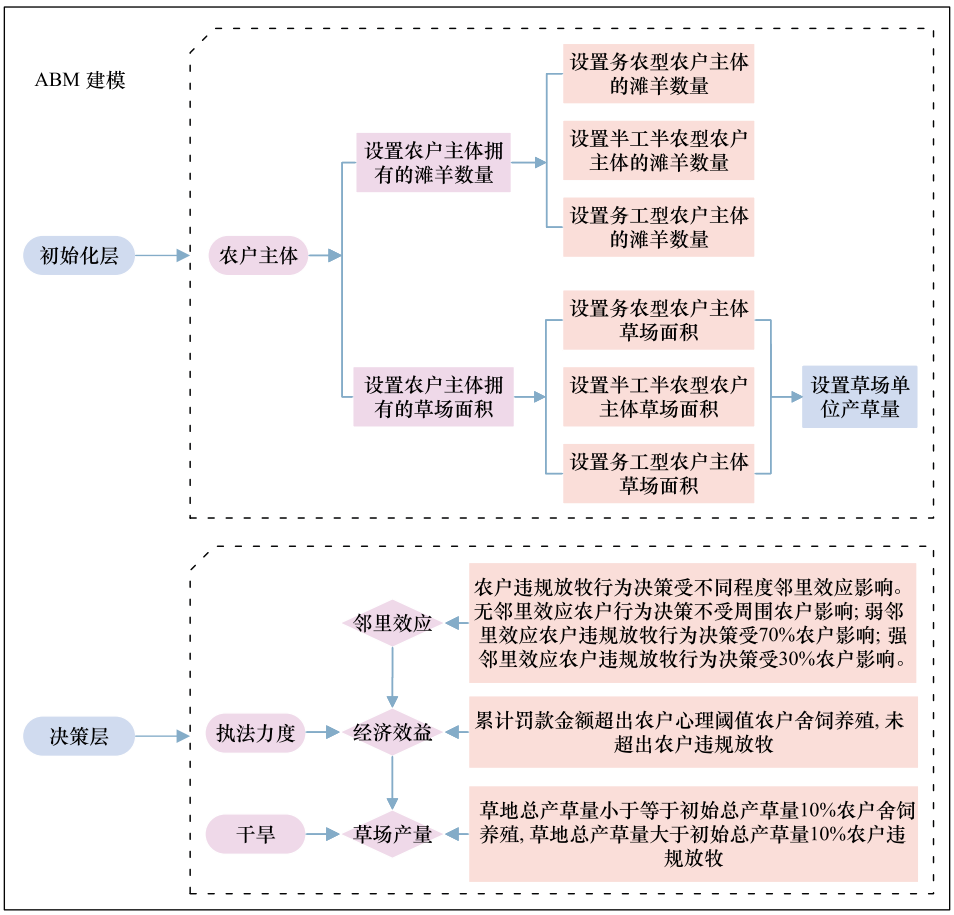

图 2 农牧交错区社会-生态系统 ABM 模型构建

Fig.2 Construction of ABM model of social-ecological systems in agro-pastoral ecotone

ABM: 多主体建模与仿真方法

2.1.1 主体属性及环境设定

模型初始化状态,根据农户的职业分化和经济分化将农户划分为务农型农户、半工半农型农户以及务工型农户[25]。依据调研数据设置农户拥有的滩羊数量及草场面积。不同的草场设置不同的草场产草量以表示草场载畜能力的异质性。模型运行以天为时间步长,360 个 tick 表示一年,每年年初干旱以相同的概率冲击每块草场和耕地,在干旱干扰下,草场产草量受到影响。农户在邻里效应、经济效应和草场产量共同影响下决

定是否违规放牧(图 2)。每年年末农户出售全部滩羊,并用出售滩羊的收入购入下一年的存栏滩羊。

2.1.2　农户违规放牧行为决策设定

中国农村社会是一个典型的由熟人组成的关系型社会,农户个体长期与邻里农户进行密切交流,且邻里间信息传播速度快、效率高,致使农户个体的行为决策易受周围农户行为和群体信息交流影响[26]。因此,充分考虑农户作为社会人的特性,模型中设定邻里效应影响农户行为决策。此外,农户作为理性经济人,农户个体行为决策受家庭收益影响,因此,本文考虑经济效应对农户违规放牧行为的影响。同时,农户违规放牧行为受草原环境变化的限制,当草场退化后,草场在恢复时期内产草量少且难以供给滩羊足够的天然牧草,草场恢复期间农户停止违规放牧行为。因此,本文考虑草场产量对农户行为决策的影响(图 2)。

根据调研数据显示,农户的行为决策受周围农户决策的影响,因此模型中设置农户个体的行为决策受半径 2 单位内的农户影响。同时,为揭示邻里效应的影响强度对农牧交错区社会-生态系统的影响,调整农户个体违规行为决策受不同程度邻里效应的影响。本文设定邻里效应强度分别为无邻里效应、弱邻里效应和强邻里效应。无邻里效应是指邻里效应在农户个体违规放牧行为决策时不发挥作用,模型设定农户个体违规放牧行为不受周围农户影响。弱邻里效应是指农户个体在做决策时受周围农户影响较小,此时只有当大量农户违规放牧时,农户个体才会选择违规放牧,因此模型设定农户个体周围 70%农户违规放牧时该农户违规放牧。强邻里效应是指农户个体在做决策时受周围农户影响大,因此当农户周围少数农户违规放牧时,农户个体会改变自身行为实施违规放牧,模型设定农户个体周围 30%农户违规放牧时该农户违规放牧(图 2)。

在主体根据社会效应做出决策后,加入经济效应影响。农户违规放牧时,有一定的概率被执法人员发现。依据《宁夏回族自治区禁牧封育条例》,如果执法人员发现农户主体违规放牧,则对农户主体处每只羊 5 元的罚款,若罚款累计金额超过农户心理阈值,农户在本年度内停止违规放牧行为,本文设置农户累计罚款心理阈值为年净收益的 10%。此外,每位农户拥有一块单位产草量和面积各不相同的草场,草场总产草量为单位产草量与草场面积的乘积。草场受干旱和违规放牧共同影响导致草场总产草量下降,若草地总产草量下降至初始总产草量 10%及以下时表明草场退化[24],草场退化后农户停止违规放牧。退化草地在两年后单位产草量恢复至初始状态[27],农户在草地恢复期内停止违规放牧(图 2)。

2.1.3　主体收益及草场退化规则设定

(1)主体收益。舍饲养殖时农户主体收益为农户年末滩羊出售总额-年初幼崽购入成本-草料成本-人工成本;违规放牧时农户主体收益为农户年末滩羊出售总额-年初幼崽购入成本-草料成本-人工成本-违规放牧累计金额。

(2)草地退化。草地退化是指天然草地在干旱、风沙、水蚀、盐碱、内涝、地下水位变化等不利自然因素以及过度放牧、割草、滥挖、滥割、樵采破坏等人为原因影响下导致草群组成结构和牧草产草量下降,从而导致草地利用性能降低,甚至失去利用价值。草地产量下降至 10%及以下时土壤表层植被覆盖率下降,土壤受人为因素和风雨侵蚀等自然因素导致土壤肥力下降,草地的可利用性降低,草地出现严重退化现象,因此本文设定草地产量下降至初始设置状态草地产量的 10%及以下时表明草场退化。模型构建时设定农户每人拥有一块草地,共计 289 块草地,本文以草地退化百分比衡量 289 块草地每年的退化状况。草地退化百分比是指本年度内退化草地块数和草地总块数之比。具体公式如下:

$$\text{草地退化百分比} = \text{本年度内退化草地块数} / \text{草地总块数}$$

2.2　模型参数说明

本文模型在 Netlogo 中实现模型构建,模型设置 289 个 patch,表示 289 个农户主体,其中包括 50%的务农型农户、30%的半工半农型农户和 20%的务工型农户。农户拥有的滩羊数量、草场面积、滩羊出售价格、幼崽价格、舍饲养殖消耗的玉米和草料、违规放牧消耗的玉米和草料、草料价格、玉米价格以及舍饲养殖的人工成本如表 1 所示。为表示草地载畜能力的不同,草地产草量的初始值为 2100—2400kg/hm^{2}之间的随机值,受干旱影响下,草地产草量下降 55%[28]。此外,盐池县 2001—2010 年干旱发生总频率为 70%,中等及以上等级干

旱发生频率为 50%;2011—2019 年干旱发生总频率为 90%,中等及以上等级干旱发生频率为 30%。因此,本文中调节干旱频率分别为 10%、30%和 50%。

表 1 模型参数说明

Table1 Model parameter description

编号 Number		参数名称 Parameter name	参数值 Parameter value	来源 Source
	模型设定参数	方格数量(农户数)	289	假定
1		务农型农户百分比	50%	调研数据
2		半工半农型农户百分比	30%	调研数据
3		务工型农户百分比	20%	调研数据
4		务农型农户滩羊数量	160 只	调研数据 2002—2022 滩羊存栏数量
5		半工半农型农户滩羊数量	105 只	调研数据 2002—2022 滩羊存栏数量
6		务工型农户滩羊数量	85 只	调研数据 2002—2022 滩羊存栏数量
7		务农型农户草场面积	16hm^2	调研数据
8		半工半农型农户草场面积	10.33hm^2	调研数据
9		务工型农户草场面积	15.67hm^2	调研数据
10		正常年份草地产草量	2100—2400kg/hm^2	侯彩霞等[16] 2002—2022 年草原监测数据
11		干旱冲击草地产草量下降	55%	Lei 等[28]
12		羊的出售价格	1 800 元/只	调研数据
13		幼崽价格	800 元/只	调研数据
14		每只羊舍饲养殖玉米消耗量	0.54kg/d	调研数据
15		每只羊舍饲养殖饲草消耗量	1.26kg/d	调研数据
16		草料价格	0.86 元/kg	魏利平[29]
17		玉米价格	2.4 元/kg	刘石磊[30]
18		每只羊每年人工成本	180 元/只	调研数据
19		每只羊违规放牧草料消耗量	1kg/d	张建娥[31]
20		每只羊违规放牧天然牧草消耗量	0.8kg/d	张建娥[31]
21		社会规范影响半径	2	假定
22		违规放牧罚款标准	5 元/只	宁夏回族自治区禁牧封育条例
23		初始状态违规放牧人数	50%	王娅[7]
24	自主调节参数	干旱概率	—	自主调节
25		执法力度	—	自主调节
26		邻里效应	—	自主调节

2.3 数据来源

为了解盐池县畜牧业和草原生态系统发展状况,课题组于 2021 年 12 月进行实地调研,获取农户样本 264 份。本次调查采取分层多阶段抽样设计,涵盖 5 个乡镇,18 个行政村。问卷内容主要涉及:家庭成员信息、家庭耕地信息、家庭成员的工作属性、家庭资产收入及来源、作物种植面积、作物种植投入产出、草场面积、滩羊养殖数量、滩羊养殖投入产出、极端灾害情况、禁牧补贴标准、农业技术培训等。

本文统计数据采用 2003—2022 年《盐池县经济要情手册》、2003—2022 年《盐池县统计年鉴》、2001—2022 年盐池县草原监测数据、2001—2022 年盐池县极端天气日数等。

3 结果分析

本文应用 Netlogo 6.3.0 运算 ABM 模型,调节干旱概率、执法力度和邻里效应等参数,研究农牧交错区社

会-生态系统的发展状况。为减小模型运行的随机性,模型在同一参数设置下均运行 100 次,并取 100 次运行结果的平均值。模型的输出变量为农户年平均收入和退化草地百分比,分别表示农户收益水平和草场退化程度。

3.1　不同干旱概率下农牧交错区社会-生态系统的变化

为揭示干旱与农户收益和草地退化之间的关系,在模型中设置执法力度为 0,农户违规放牧行为不受周围农户的影响,调整初始状态违规放牧人数占比为 50%,并依次调整干旱概率为 10%,30%和 50%,以模拟不同干旱概率下农户收益和草地退化情形。

如图 3 所示,在不同的干旱概率下农户收入均呈现先增长后下降的趋势。这主要是因为自 2002 年起,盐池县全面实施禁牧政策,草地受到滩羊的啃食减少,草原生产力逐渐恢复。逐渐恢复的草原植被为滩羊供给了优质的天然牧草,同时农户在利益的驱使下进行违规放牧,降低了农户草料成本。此外,自 2011 年起,国家实施草原生态奖补政策,并于 2016 和 2021 年相继提高禁牧补助,提升农户牧业收入。因此,在违规放牧和草原生态奖补政策共同作用下农户群体收入呈现增长趋势。然而,不间断的违规放牧和连续干旱,致使草原植被受到破坏,草场退化加剧,草场恢复需要更多的时间。在草场退化期间,农户进行舍饲养殖,相较于违规放牧下,舍饲养殖提高农户的养殖成本,降低农户生产效益,致使农户收入下降。

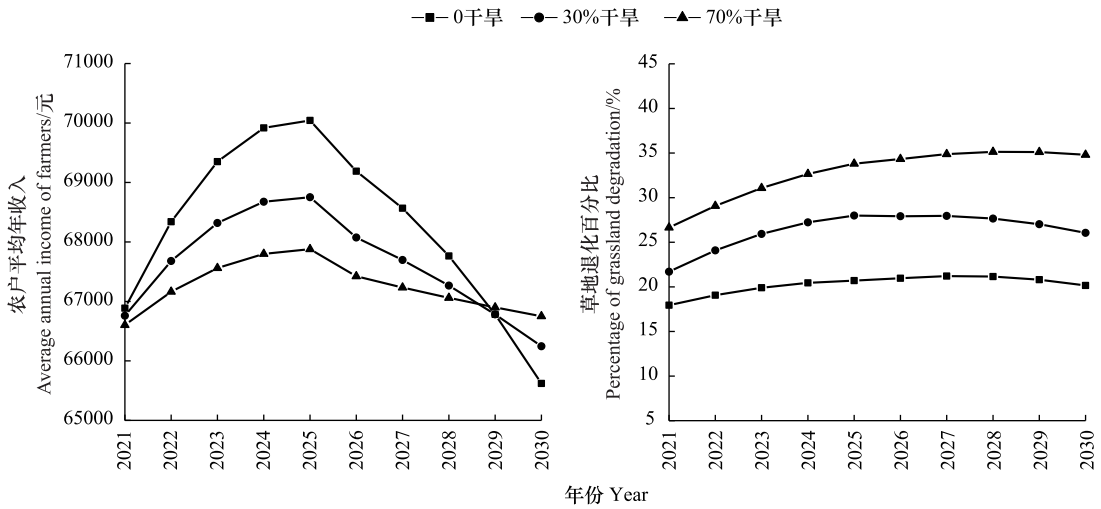

图 3　不同干旱程度对社会-生态系统的影响

Fig.3　The effect of different drought degrees on social-ecological systems

图 3 表明,在干旱概率为 10%和 30%时,草地退化处于平稳状态,在干旱概率为 50%时,草地退化趋势逐渐上升。这表明在干旱概率较小时,草地虽存在退化现象,但持续干旱不会进一步加剧草地退化趋势。这是因为干旱概率较小时,干旱发生的频次少,实际受影响的草地数量较少,大部分草地生态系统处于相对健康状态。因此,总体而言草地退化处于平稳状态。而随着干旱概率增加,大量草地被干旱所波及,持续干旱使草场水分减少,草地生产力持续下降,同时草地生态系统受违规放牧的干扰,致使草场物种丰富度下降,草地生态系统进一步遭受破坏,最终在干旱和违规放牧的共同作用下草地生态系统逐渐面临崩溃,导致草场退化现象逐渐加剧。

3.2　不同干旱程度下执法力度对农牧交错区社会-生态系统的影响

为探究不同干旱程度下执法力度对农牧交错区社会-生态系统的影响,调节初始状态违规放牧人数占比为 50%,农户违规放牧行为不受周围农户行为影响,并在不同干旱概率下依次调整执法力度为 0、30% 和 70%,探究不同干旱概率下执法力度对农牧交错区社会-生态系统的影响。

表 2 10%干旱下历年违规放牧人数

Table 2 Number of illegal grazing in previous years under 10% drought

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0 执法力度 0 Law enforcement	114	131	99	130	110	118	122	114	122	116
30% 执法力度 30% Law enforcement	117	132	97	126	103	116	125	110	122	113
70% 执法力度 70% Law enforcement	116	134	98	126	108	117	122	111	121	112

如图 4 所示,在不同干旱概率下,执法力度在 30%和 70%时的农户收入相较于执法力度为 0 时的农户收入呈下降趋势但损失不明显。即不同干旱程度下执法力度对农户收入影响不明显。这主要是因为随执法力度的增加,农户个体违规放牧被检查到的概率增加,致使农户个体受到违规处罚,产生经济损失,进而造成农户群体收入下降。然而,农户为理性经济人,当罚款金额累计超出农户心理阈值时,农户将及时停止违规放牧

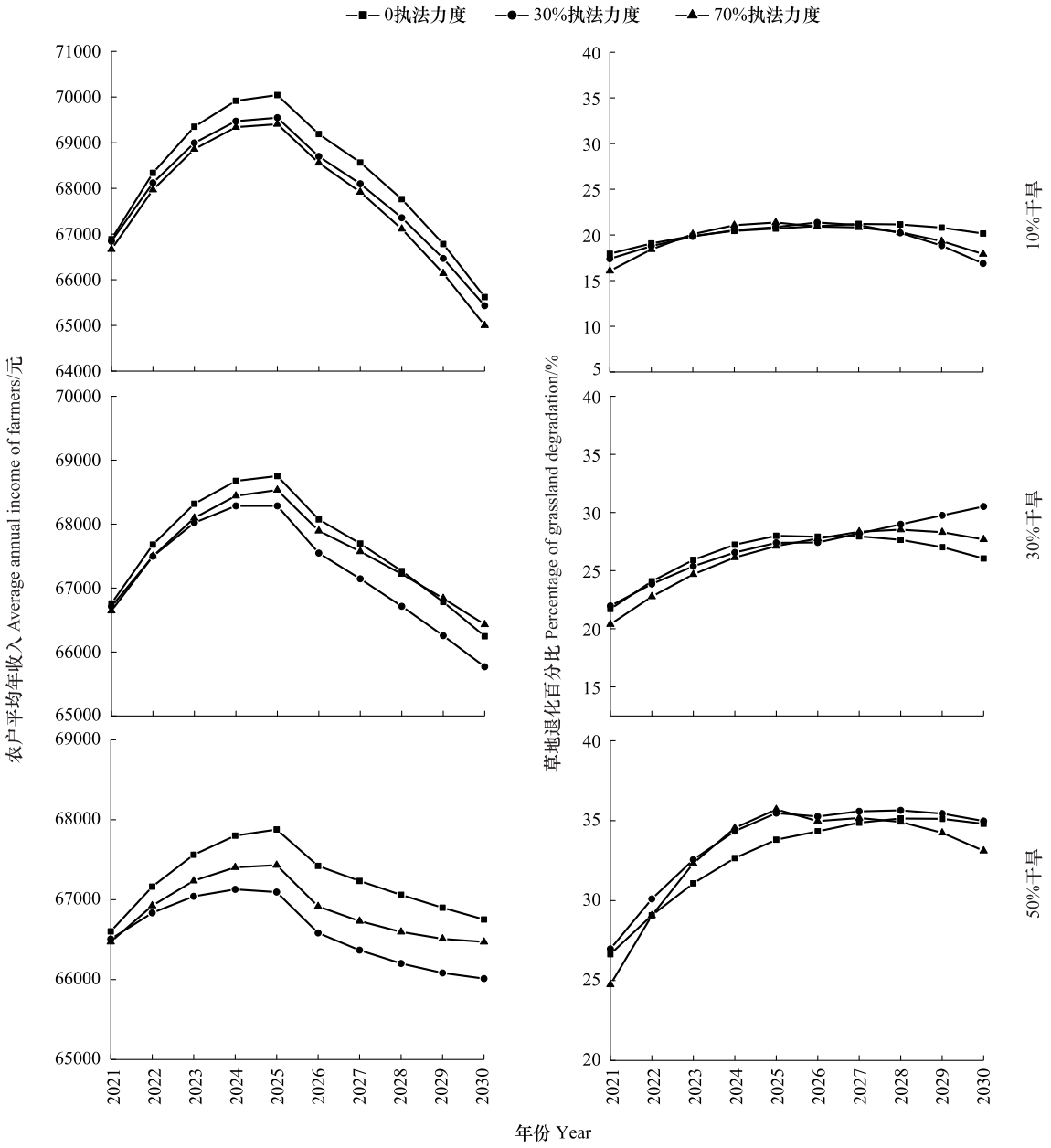

图 4 不同干旱程度下执法力度对社会-生态系统的影响

Fig.4 The effect of law enforcement on social-ecological systems under different drought degrees

行为转为舍饲养殖,降低自身因违规处罚而造成的经济损失,并且违规放牧能够节省农户养殖成本,农户因违规放牧节省的草料成本能抵消部分罚款金额,因此随执法力度的增加,农户群体受到的经济损失并不明显。

图 4 表明在不同干旱程度下执法力度的增强未能有效减弱草地退化趋势。究其原因可知,虽然执法力度的增强导致农户违规放牧时被发现的概率增加,进而使累计罚款金额增加,但农户违规放牧所获得的经济收益较高,使农户对累计罚款金额的心理阈值有所提高,致使执法力度的增强未能有效减少农户违规放牧行为(表 2),造成草地生态系统退化。此外,随着农户对执法规律逐渐适应,农户对自身的违规放牧行为进行调整,进一步降低违规放牧被惩罚的风险,致使农户在违规放牧的过程中未受到实质性的处罚,因此农户继续实施违规放牧,从而造成草地生态系统退化。

3.3　不同干旱程度下邻里效应对农牧交错区社会-生态系统的影响

为探究不同干旱程度下邻里效应对农牧交错区社会-生态系统的影响,调节初始状态违规放牧人数占比为 50%,设置执法力度为 0,并调节干旱概率和邻里效应,分析不同干旱概率下邻里效应对农牧交错区社会-生态系统的影响。

表 3　不同干旱下强邻里效应对违规放牧人数的影响

Table 3　The effect of strong neighborhood effect on the number of illegal grazing under different droughts

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
10%干旱 10% Drought	184	149	189	159	199	163	161	162	174	184
30%干旱 30% Drought	176	149	169	151	163	157	155	146	151	155
50%干旱 50% Drought	169	128	121	144	145	146	142	140	139	139

图 5 表明,在干旱概率较小时,强邻里效应下农户收入呈先上升后下降趋势。主要是干旱概率较小时,草地受干旱的干扰程度轻,草地产量处于较为稳定状态,优质的天然草场大幅减小了违规放牧农户的草料成本,致使违规放牧农户收入快速增长。然而,随着农户收入的增加,农户养殖滩羊数量大量增加,且在短时间内到达草地最大载畜量。此时,即使干旱对草场影响程度小,但由于滩羊数量达到草场最大载畜量,草场受违规放牧的干扰加剧,草场大量退化,进而迫使部分违规放牧农户停止违规放牧行为转为舍饲养殖,造成农户生产效益下降,导致农户收入逐渐下降。

图 5 表明,干旱加剧时,强邻里效应下农户收入增长速率随干旱加剧而减小。这主要是因为干旱加剧时,草地受干旱影响逐渐增加,越来越多的草场受干旱影响导致生产力下降,而能够提供优质牧草的草场越来越少,即 50%干旱下优质草场的数量少于 30%干旱下优质草场的数量。所以,受草场产量限制使强邻里效应下 30%干旱下违规放牧人数多于 50%干旱下违规放牧人数(表 3),而违规放牧的生产效益高于舍饲养殖,因此当违规放牧人数越多时农户收入增长越快,从而使 30%干旱下农户收入增长速率高于 50%干旱下农户收入增长速率。同时,相较于 10%干旱下而言,30%干旱下与 50%干旱下的农户收入虽呈现逐步增长趋势,但农户收入在 2030 年时才达到最高值,而 10%干旱下农户收入在 2025 年时达到最高值。这表明草原生态系统越健康,草场能够提供的优质牧草产量越多,此时才能保证在强邻里效应下有更多的农户进行违规放牧,进而使农户收入快速增长。然而,10%干旱下受强邻里效应影响农户收入达到最大值后开始逐渐下降,这说明随农户收入增加,农户生产规模逐渐增加,滩羊数量越来越多并达到草原的最大载畜量,此时在违规放牧和干旱干扰下草原生态系统面临崩溃,迫使越来越多的农户舍饲养殖(表 3),农户生产效益下降,农户收入逐渐下降。

如图 5 所示,不同干旱概率下,强邻里效应下草地退化最为严重。这是因为强邻里效应影响农户心理负担和违规放牧风险。中国农村是一个典型的“关系型”社会,农户对其行为的控制出于维持自身名誉和良好邻里关系等目的。当其违规放牧行为得到邻里默许甚至支持时,农户不会因村庄舆论压力造成心理负担。同时,当邻里违规放牧人数较多时,农户个体能更快的获取信息,有利于农户规避违规放牧导致的风险。因此,当村庄中多数人进行违规放牧时,农户个体行为决策易受邻里农户行为决策影响,致使违规放牧农户个体人数增加,导致草原生态系统因放牧而受到破坏。

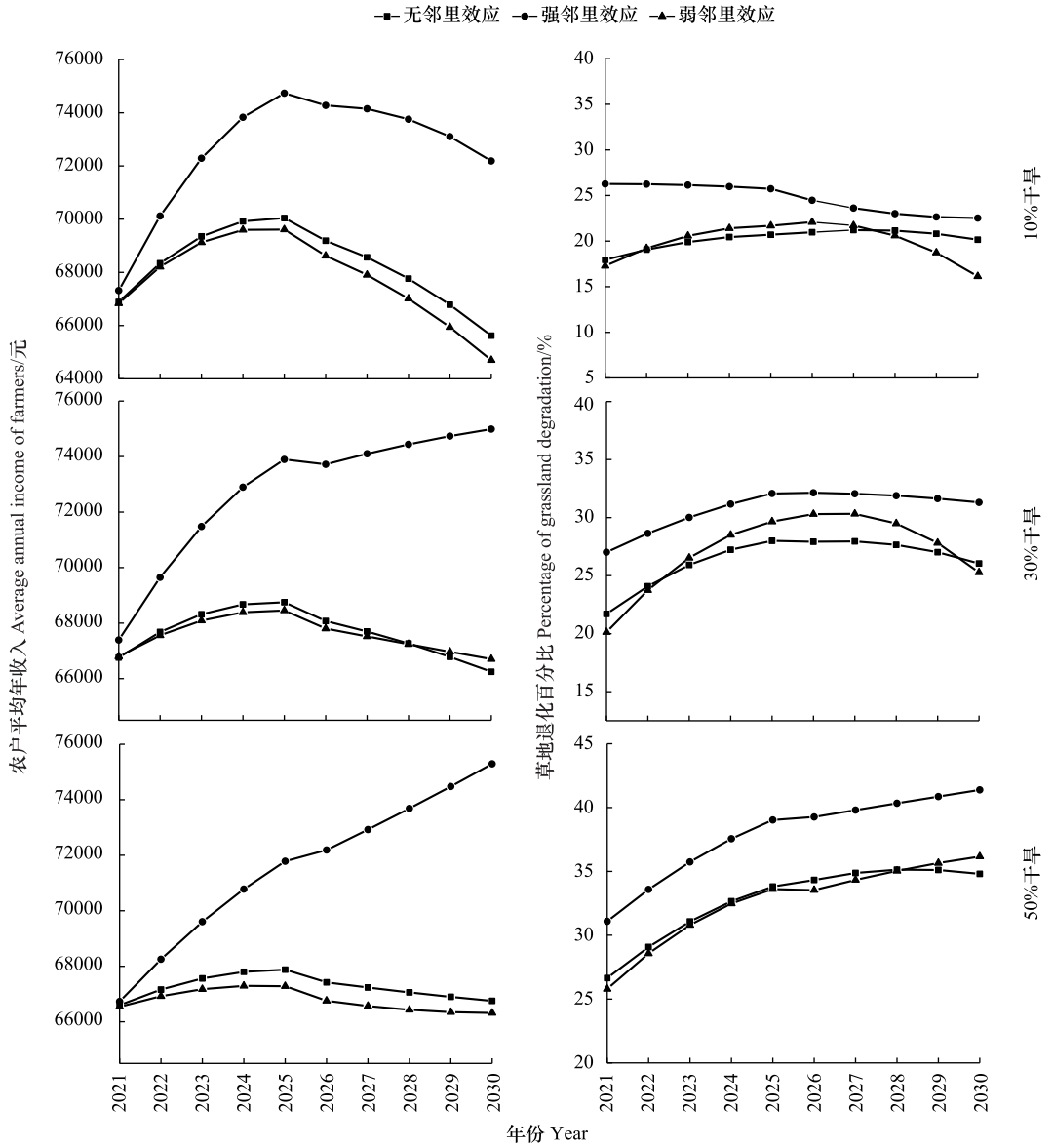

图 5 不同干旱程度下邻里效应对社会-生态系统的影响

Fig.5 The effect of neighborhood effect on social-ecological systems under different drought degrees

4 讨论

4.1 干旱影响草原生产力及农户收益

本文研究结果表明,干旱对草原生产力和农户收益有负面影响。这主要是因为干旱造成水资源短缺,进一步影响农作物产量下降,致使农户家庭收入降低。同时,干旱冲击下的违规放牧行为不能得到有效制止,导致草场过牧超载,造成草原生态系统退化。已有研究表明,在未来气候变化的背景下,水资源短缺状况将进一步加剧,复合干旱事件发生的概率增加,草场生产力受干旱影响大幅度下降[32—33]。Chandregowda 等[34]在室内环境下通过减少浇水和刈割牧草的方式模拟干旱和放牧对草场生产力的影响,结果显示,刈割后的牧草受到干旱的抑制,致使植物死亡。然而,另有研究表明,草原类型在一定程度上影响草原抗旱能力,其中温带荒漠类草原的抗旱能力最强,对干旱的敏感性最小,低地草甸、温带草原、温带荒漠草原、温带草原荒漠对极端干旱的抵抗能力最弱[35]。可见,不同的草原类型在面临干旱时有不同的响应方式,未来的研究中可对草原类型进行分类研究以便探究不同草原类型对干旱的响应机制。同时,政府部门在日常管理中也可分类管理,对不

同类型草原实施不同管理政策,在保证草原生态系统健康发展的基础上使政府资源最大化利用。

4.2　执法力度对农牧交错区社会-生态系统的影响小

研究结果表明执法力度的增强未能有效减少农户违规放牧行为,进而导致草原生态系统继续退化。究其原因可知,首先,农户违规放牧处罚标准较低,其每次受到的违规处罚金额较少,导致未能让处罚达到应有的威慑力,因此农户在受到违规处罚之后仍然选择违规放牧,进而导致执法力度的增强不能有效制止农户违规放牧行为,致使草地生态系统仍受放牧干扰,造成草地退化。已有研究表明,工人违章行为与其累计处罚金额显著相关,当累计处罚金额到达有效威慑限度时,工人生产中的违章行为会显著改变[36]。其次,农户个体应对风险的态度不同,执法力度的增强使风险态度较低的农户停止违规放牧行为,减少草地生态系统压力,有利于草地生态系统的恢复。但风险态度高的农户继续实施违规放牧行为,且农户个体逐渐适应执法过程,并依据执法规律调整自身违规放牧行为,导致草场受到放牧侵扰并出现退化现象。因此,在实际管理中应制定合理的违规放牧处罚标准,标准指定时应首先确保其对风险态度低的农户能够达到威慑力,对风险态度高的农户应在标准的基础上适当加罚。

4.3　邻里效应对农牧交错区社会-生态系统的发展有重要影响

研究表明邻里效应影响农户违规放牧决策过程,导致草原生态系统受违规放牧影响,面临草原退化等问题。熟人社会中,邻里农户在农业生产中接触密集,交流频繁,邻里的生产情况一定程度上对农户个体的生产农业生产经营决策产生影响[37]。一方面邻里生活中众人需要他人的资源和情感支持,邻里之间农户尤为关注他人对自身行为的评价,农户个体为不让自身成为邻里众人的攻击目标,会在一定程度上跟随周围农户的行为决策,以便使自身能融入邻里社会之中,从而获取情感支持[38]。反之,当周围农户实施违规放牧时,若农户个体没有跟随周围农户的行为,久而久之农户个体或许会受到周围农户的排斥,其从周围农户所能获取的资源支持也会相应减少。另一方面邻里之间存在学习和模仿机制。在长期的邻里生活中,邻里个体会观察并学习模仿周围个体的放牧决策过程,并根据周围农户的放牧行为调整自身行为。农户作为理性经济人,当农户个体观察到周围农户违规放牧能够带来更高的经济效益时,其自身的行为也会产生变化。同时,当众人同时违规放牧时,邻里之间进行信息交流,能够在一定程度上减少被执法人员发现的风险,从而使农户产生的实际损失减小。

5　结论与建议

5.1　结论

为探究干旱和违规放牧共同影响下农牧交错区社会-生态系统的发展状况,发现影响农牧交错区社会-生态系统可持续发展的影响因素,本文以宁夏盐池县为典型研究区,结合调研数据和统计数据,运用 ABM 方法构建社会-生态系统,调节干旱概率、执法力度和邻里效应等因素,分析农牧交错区社会-生态系统能否维持可持续发展。

(1)干旱影响下农户收入呈先上升后下降的趋势,且农户收入最终低于初始状态。同时,随干旱概率的增加,草地生态系统退化趋势加剧。

(2)总体而言,当草场面临干旱等自然灾害影响时,执法力度的增加并未有效保证社会-生态系统健康发展。具体表现为,当干旱来临时随执法力度的增加,农户收入能够维持在稳定的区间内,执法力度对农户收入产生的影响较小。并且,在不同干旱程度下执法力度的增强未能有效制止违规放牧行为,导致草地生态系统继续退化。

(3)强邻里效应能够很大程度上影响农户行为决策,进而对农牧交错区社会-生态系统产生影响。当农户行为决策受周围农户影响很大时(即强邻里效应下),农户更容易实施违规放牧,致使草地生态系统受超载放牧和干旱影响,造成草地生态系统恶化。而从短期来看违规放牧导致农户生产成本大幅降低,从而提升了农户生产效益,增加农户收入。然而长远而言,强邻里效应下大量农户违规放牧,致使草地生态系统达到最大载

畜量,草地生态系统恶化,农户转为舍饲养殖,农户生产经济效益下降,农户收入逐渐下降。

5.2 建议

为维持农牧交错区社会-生态系统可持续发展,管理部门应适时调整处罚政策的执行准则,当农户个体违规放牧次数过多时,应适当加强对该农户个体的处罚力度以达到政策的威慑效果,从而规范农户放牧行为以减小农牧交错区社会-生态系统压力。同时,考虑到强邻里效应在很大程度上影响农户行为决策,一方面政府部门应着重约束区域内声望高影响广的农户的放牧行为,提高其资源环保意识,对多次违规放牧农户进行处罚公示,削弱该户邻里影响力;另一方面管理部门也可对影响力大的农户实施技能知识培训,提高其生产技巧和经济效益,定期评选养殖示范户,以当年度的生产费用为基准给予一定比例的奖补,发挥邻里示范作用,引导周围农户合理实施养殖行为。此外,农户违规放牧的本质是其对经济利益的追求,政府部门应提高农户非农就业能力并就地开发非农就业项目,增加农户就地就业机会,改善农户在能力和收入上对畜牧业的依赖性。

参考文献(References):

[1] Straffelini E, Tarolli P. Climate change-induced aridity is affecting agriculture in Northeast Italy. Agricultural Systems, 2023, 208: 103647.

[2] Konings A G, Saatchi S S, Frankenberg C, Keller M, Leshyk V, Anderegg W R L, Humphrey V, Matheny A M, Trugman A, Sack L, Agee E, Barnes M L, Binks O, Cawse-Nicholson K, Christoffersen B O, Entekhabi D, Gentine P, Holtzman N M, Katul G G, Liu Y L, Longo M, Martinez-Vilalta J, McDowell N, Meir P, Mencuccini M, Mrad A, Novick K A, Oliveira R S, Siqueira P, Steele-Dunne S C, Thompson D R, Wang Y J, Wehr R, Wood J D, Xu X T, Zuidema P A. Detecting forest response to droughts with global observations of vegetation water content. Global Change Biology, 2021, 27(23): 6005-6024.

[3] 脱登峰, 卢琦, 却晓娥, 程磊磊, 杨岩岩, 高攀, 崔桂鹏. 中国北方草地生态系统服务评估. 生态学报, 2024, 44(2): 455-462.

[4] Liu L, Guan J Y, Zheng J H, Wang Y D, Han W Q, Liu Y J. Cumulative effects of drought have an impact on net primary productivity stability in Central Asian grasslands. Journal of Environmental Management, 2023, 344: 118734.

[5] 侯向阳, 李西良, 高新磊. 中国草原管理的发展过程与趋势. 中国农业资源与区划, 2019, 40(7): 1-10.

[6] 柴浩放, 李青夏, 傅荣, 左停. 禁牧政策僵局的演化及政策暗示: 基于宁夏盐池农村观察. 农业经济问题, 2009, 30(1): 93-98.

[7] 王娅. TPOA 框架在禁牧政策效果评价与优化调控中的应用 ——以宁夏盐池县为例. 中国沙漠, 2021, 41(6): 179-186.

[8] Dong L, Li J J, Sun J, Yang C. Soil degradation influences soil bacterial and fungal community diversity in overgrazed alpine meadows of the Qinghai-Tibet Plateau. Scientific Reports, 2021, 11: 11538.

[9] Wang S S, Dai E F, Jia L Z, Wang Y J, Huang A Q, Liao L, Cai L P, Fan D L. Assessment of multiple factors and interactions affecting grassland degradation on the Tibetan Plateau. Ecological Indicators, 2023, 154: 110509.

[10] Shen H, Dong S K, DiTommaso A, Xiao J N, Zhi Y L. N deposition may accelerate grassland degradation succession from grasses- and sedges-dominated into forbs-dominated in overgrazed alpine grassland systems on Qinghai-Tibetan Plateau. Ecological Indicators, 2021, 129: 107898.

[11] 李爽, 马一丁, 付晓, 严岩. 草原生态系统损害鉴定评估体系及管理建议. 生态学报, 2022, 42(1): 169-175.

[12] Ji Z X, Pei T T, Chen Y, Wu H W, Hou Q Q, Shi F Z, Xie B P, Zhang J X. The driving factors of grassland water use efficiency along degradation gradients on the Qinghai-Tibet Plateau, China. Global Ecology and Conservation, 2022, 35: e02090.

[13] Zhou Z H, Jin J X, Yong B, Yu L. Quantifying the influences of climate change and human activities on the grassland in the Southwest Transboundary Basin, China. Journal of Environmental Management, 2022, 319: 115612.

[14] 宋进喜, 齐贵增, 佘敦先, 蒋晓辉, 毛瑞晨. 中国植被生产力对干湿变化的响应. 地理学报, 2023, 78(7): 1764-1778.

[15] Lian X H, Jiao L M, Hu Y C, Liu Z J. Future climate imposes pressure on vulnerable ecological regions in China. The Science of the Total Environment, 2023, 858(Pt 3): 159995.

[16] 侯彩霞, 周立华, 文岩, 陈勇. 生态政策下草原社会-生态系统恢复力评价——以宁夏盐池县为例. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(8): 117-126.

[17] 马炳鑫, 和彩霞, 靖娟利, 王永锋, 刘兵, 何宏昌. 1982—2019 年中国西南地区植被变化归因研究. 地理学报, 2023, 78(3): 714-728.

[18] Bastarianto F F, Hancock T O, Choudhury C F, Manley E. Agent-based models in urban transportation: review, challenges, and opportunities. European Transport Research Review, 2023, 15(1): 19.

[19] Antelmi A, Cordasco G, D'Ambrosio G, De Vinco D, Spagnuolo C. Experimenting with agent-based model simulation tools. Applied Sciences, 2023, 13(1): 13.

[20] Wang B Y, Yan H M, Liu H, Pan L H, Feng Z M. Keep sustainable livestock production without Grassland degradation: future cultivated pasture development simulation based on agent-based model. Journal of Cleaner Production, 2023, 417: 138072.

[21] 李鲁奇, 孔翔. 国外城市系统智能体模型的科学计量分析. 地理科学, 2021, 41(5): 797-803.
[22] 丛士翔, 王融融, 常文静, 余海龙, 黄菊莹. 基于标准化降水指数(SPI)的宁夏中部干旱带旱灾危险性时空演变特征. 水土保持研究, 2024, 31(4): 223-232.
[23] Tan C P, Yang J P, Wang X M, Qin D H, Huang B, Chen H J. Drought disaster risks under CMIP5 RCP scenarios in Ningxia Hui Autonomous Region, China. Natural Hazards, 2020, 100(3): 909-931.
[24] Wang J, Brown D G, Riolo R L, Page S E, Agrawal A. Exploratory analyses of local institutions for climate change adaptation in the Mongolian grasslands: an agent-based modeling approach. Global Environmental Change, 2013, 23(5): 1266-1276.
[25] 庄晋财, 齐佈云. 前景理论视角下不同类型农户的宅基地退出行为决策研究. 农林经济管理学报, 2022, 21(1): 87-94.
[26] 史雨星, 秦国庆, 赵敏娟, 蔡瑜, 李超琼. 邻里效应对牧户载畜率决策的影响 ——北方牧区的经验证据. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(1): 155-167.
[27] 潘庆民, 杨元合, 黄建辉. 我国退化草原恢复的限制因子及需要解决的基础科学问题. 中国科学基金, 2023, 37(4): 571-579.
[28] Lei T J, Feng J, Lv J, Wang J B, Song H Q, Song W L, Gao X F. Net Primary Productivity Loss under different drought levels in different grassland ecosystems. Journal of Environmental Management, 2020, 274: 111144.
[29] 魏利平. 论饲草饲料价格上涨对庆城县畜牧业生产的影响及应对措施. 畜牧兽医杂志, 2022, 41(6): 43-44, 51.
[30] 刘石磊. 2022/23 年度国内外玉米市场回顾与 2023/24 年度展望. 黑龙江粮食, 2023(8): 21-23.
[31] 张建娥. 盐池草地禁牧期间农牧民违规放牧现象分析. 草业科学, 2008, 25(8): 144-147.
[32] He P X, Ma X L, Sun Z J, Han Z M, Ma S Q, Meng X Y. Compound drought constrains gross primary productivity in Chinese grasslands. Environmental Research Letters, 2022, 17(10): 104054.
[33] Lei T J, Wu J J, Wang J B, Shao C L, Wang W W, Chen D P, Li X Y. The net influence of drought on grassland productivity over the past 50 years. Sustainability, 2022, 14(19): 12374.
[34] Chandregowda M H, Tjoelker M G, Power S A, Pendall E. Drought and warming alter gross primary production allocation and reduce productivity in a widespread pasture grass. Plant, Cell & Environment, 2022, 45(8): 2271-2291.
[35] Guo J, Yang X C, Jiang W G, Xing X Y, Zhang M, Chen A, Yang D, Yang M X, Wei L D, Xu B. Resistance of grassland under different drought types in the inner Mongolia autonomous region of China. Remote Sensing, 2023, 15(20): 5045.
[36] 罗鹏, 钱永坤, 徐建博. “高额”还是“高频”? ——我国煤矿监管处罚的选择及有效性研究. 经济管理, 2018, 40(9): 92-106.
[37] 张仁慧, 朱玲, 赵凯. 邻里效应对农户粮食生产托管的影响——基于河南省周口市 617 户小麦种植户的经验证据. 经济与管理研究, 2023, 44(5): 75-92.
[38] 张馥林, 陈美球, 黄庆龙, 荣丽敏, 邹梦玲. 农户绿色生产技术采纳的邻里效应分析——基于农技推广和农户认知的调节作用. 中国土地科学, 2023, 37(5): 67-78.