

DOI: 10.20103/j.stxb.202403010427

谭淑豪, 叶卓卉, 叶子龙, 辛沐聪, 周扬. 北方农牧交错带牧户饲草地建设对草原植被覆盖的影响. 生态学报, 2024, 44(22): 10044-10054.

Tan S H, Ye Z H, Ye Z L, Xin M C, Zhou Y. Impacts of forage land construction on grassland vegetation coverage at herders' scale in the farming-pastoral ecotone of northern China. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(22): 10044-10054.

北方农牧交错带牧户饲草地建设对草原植被覆盖的影响

谭淑豪*, 叶卓卉, 叶子龙, 辛沐聪, 周 扬

中国人民大学农业与农村发展学院, 北京 100872

摘要: 饲草地建设对牧业可持续发展和草原生态保护意义重大。但基于牧户层面探讨饲草地建设对草原生态保护作用的研究尚不充分, 不利于现行经营制度下的草地生态治理。基于内蒙古乌拉特中旗实地调查的牧户问卷数据, 以草原植被覆盖度为指标, 采用多元有序 Logistic 模型, 探究饲草地建设对草原生态保护的作用; 并基于典型嘎查归一化植被指数 (NDVI) 的空间数据, 通过 ArcGIS 分析, 对牧户问卷结果进行佐证。结果显示: (1) 研究区 61.2% 的牧户建有饲草地, 其中户主年龄大的和草地经营面积较小的牧户更倾向于饲草地建设; (2) 建有饲草地的牧户占比越高, 相应嘎查的草地植被覆盖越好, NDVI 值也越高; (3) 饲草地建设对草原生态保护存在经营规模的异质性影响, 当牧户饲草建设地面积占其草地总经营面积比的 0.6% 即面积为 1—1.67 hm² 时, 草原植被覆盖最好, 表明其最利于草原生态保护。因地制宜确定饲草地的建设规模是通过饲草地建设促进草原生态保护的关键。

关键词: 牧户调研; 饲草地建设; 草原生态; 植被覆盖度; NDVI; 农牧交错带

Impacts of forage land construction on grassland vegetation coverage at herders' scale in the farming-pastoral ecotone of northern China

TAN Shuhao*, YE Zhuohui, YE Zilong, XIN Mucong, ZHOU Yang

School of Agricultural Economics and Rural Development, Renmin University of China, Beijing 100872, China

Abstract: Forage land construction (FLC) refers to the cultivation and construction of artificial grasslands through agricultural techniques such as replanting, fertilization, and irrigation. The constructed forage land can be used for grazing and can also serve as an important source of supplementary feeding such as green fodder and silage. The FLC is thus of great significance for the sustainable development of animal husbandry and the protection of grassland ecology. However, studies on FLC from the perspective of herder households, the direct and major grassland users, are not yet sufficient. It is not conducive to grassland ecological governance under the current land tenure system. Using herder households' field survey data collected by the authors in 2021 from Urad Middle Banner of Inner Mongolia, China, this study applied a multivariate ordered logistic model (MOLM) to explore the impacts of FLC on grassland vegetation coverage (GVC). Based on the NDVI of typical Gachas, the impacts were further evidenced with ArcGIS spatial analysis method. The results show that: (1) 61.2% of herder households have constructed forage land. Among which, households with elder head and smaller grassland areas being more inclined to construct forage land; (2) FLC is generally conducive to improving GVC. At herder household level, GVC of households with forage land is significantly higher than that of households without forage land. At Gacha level, the higher the proportion of households with forage land, the better the Gacha's GVC, and the higher the

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42171251)

收稿日期: 2024-03-01; 网络出版日期: 2024-08-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shuhaotan@ruc.edu.cn

NDVI values; (3) The FLC has heterogeneous impacts on GVC in terms of forage land scale. The GVC is the highest when forage land accounts for 0.6% of the managed grassland area or is within 1—1.67 hm². When the forage land area is less than 1hm², the positive impact of supplementary feeding on grassland ecology is offset by the expanded breeding scale of herders, resulting in degraded grassland vegetation. When the area of forage land is more than 1.67 hm², the GVC of herder household doesn't change significantly. The results to some extent support the development theory of grassland and animal husbandry in pastoral areas of “protecting the large natural grassland area with limited constructed forage land (*Yixiao Baoda* in Chinese)”. Considering the vast area, diverse types, and varying conditions of natural grasslands in China, adapting to local conditions to determine the reasonable proportion of FLC is the key for grassland ecological conservation through FLC. The study is expected to provide practical reference for FLC and grassland ecological restoration in the farming-pastoral ecotone of northern China.

Key Words: herder household survey; forage land construction; grassland ecology; vegetation coverage; NDVI; farming-pastoral ecotone

草原生态系统作为地球生态系统的重要组成部分,对于维护和区域全球生态平衡具有不可替代的作用。它不仅维持着生物多样性,而且还肩负着调节气候、保护水土、维护生态安全等重要功能。然而,研究显示,目前全球约 49% 的草原正处于退化状态^[1]。草地退化因影响草原生态系统服务功能而受到全世界的广泛关注^[2]。草原退化的原因多样,但过度放牧和气候变化是主要的人为与自然因素^[3-5]。过度放牧导致草地资源消耗过重,破坏草原的自然恢复能力;而气候变化,尤其是干旱等极端天气加剧,进一步削弱草地的生态系统服务功能和自我恢复能力。这些人为与自然因素的共同影响,加剧了草原生态系统的脆弱性。为应对这一挑战,牧户采取了多种适应策略。其中,补饲为一种有效途径,可减轻草场生态压力,遏制由过度放牧和干旱等因素导致的草地退化^[6-7]。人为建设的饲草地,即通过补播、施肥、灌溉等农业技术措施栽培和建设而成的人工草地,可用于放牧,也可作为青饲、青贮等补饲的重要来源^[8-11]。

早在本世纪初,张新时^[12]就认为中国应建立饲草地来部分替代传统草地畜牧业中的天然草地,如在水土条件优越地建立 4×10⁷ hm² 优质饲草地,可使载畜量达全国 4×10⁸ hm² 天然草地可载畜量的一半^[13]。方精云等^[14]也提出建设小面积饲草地以保护大面积草地(即“以小保大”)的观点。基于这些观点,一些研究认为饲草地建设可减轻草场生态压力。如贺金生等^[15]发现,在内蒙古呼伦贝尔特泥河和谢尔塔拉牧场,建设占草地面积 10% 的饲草地可满足牲畜全部饲草需求。当饲草地建设比例提高至 30% 时,牧业生产规模将扩大 1.7 倍^[14]。世界上许多国家也将建设高质量饲草地作为缓解草原生态压力,推动草牧业可持续发展的重要措施。其中,澳大利亚饲草地面积约占其草原总面积的 58%,新西兰饲草地面积占国土面积的 60% 以上^[16],荷兰饲草地面积占全国农用地面积的近 70%^[17]。日本饲草地面积由 1965 年 14 万 hm² 增至 1996 年 100 万 hm² 以上。在全球的人工栽培饲草中,苜蓿是面积最大、范围最广的豆科饲草^[18],在美国,其面积仅次于小麦、玉米和大豆,产量多年位居世界第一^[19],荷兰的苜蓿种植面积约为其耕地面积的三分之二^[17]。可见,饲草地建设有望通过补饲而使天然牧草有更充分生长的时间,利于天然草地生产力的自我恢复和提升,增强天然草地的生态服务功能^[12,20]。但也有研究认为,饲草地建设可以增加可利用饲草料,进而提高牧户的心理载畜率,从而促使牧户多养殖牲畜^[21],可能加剧草地退化^[22]。在当前草原生态保护日益受到重视的背景下,饲草地建设的需求和呼声不断加大。然而,饲草地建设对草原生态的影响如何仍是一个尚未明晰的重要科学问题,特别是在半干旱气候、环境变异较大、以农牧户经营为主体的中国北方农牧交错带^[23]。

草原植被覆盖状况是草原生态的重要指标,学界多采用植被覆盖度及其变化分析草原生态环境的时空特点。因此,了解植被覆盖状况对分析区域草原生态环境变化和评价草原生态政策效果具有重要的理论与现实意义^[24]。然而,现有的相关研究多侧重地理遥感等宏观尺度^[25-26],基于牧户层面的研究非常不足,而草原生态治理与牧户行为直接相关。为此,本文以内蒙古自治区巴彦淖尔市乌拉特中旗为研究区域,基于实地调研

的牧户问卷数据,并结合典型嘎查草地归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)的空间数据,从牧户层面探讨饲草地建设对草原生态的影响。根据原农业部在2016年发布的《关于北方农牧交错带农业结构调整的指导意见》,这一地区的水资源开发强度已接近极限,土地沙化、草原退化和生态功能弱化的问题日益严重,迫切需要推动资源节约和环境友好型农牧业。参照已有研究^[2,27-28],本文以植被覆盖度为指标,探究饲草地建设对草原生态的影响,拟为农牧交错带草原生态保护和牧业可持续发展等相关政策的制定提供科学依据。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

乌拉特中旗位于内蒙古自治区西部、河套平原东端(107°16′—109°42′E, 41°07′—41°28′N),北接蒙古国,东邻包头市达尔罕茂明安联合旗及固阳县,南界乌拉特前旗、五原县、临河区及杭锦后旗,西连乌拉特后旗。该旗年均气温为3.0—6.8℃,年平均降水量115—250mm,而年蒸发量为降水量的11—16倍,高达2000—3000mm。选择乌拉特中旗作为研究区,一是因为该旗草原面积214.9万hm²,占乌拉特草原总面积的40.7%,其中90.4%为荒漠草原,该旗的生态状况对“塞外粮仓”河套平原的农业可持续发展和生态屏障功能至关重要。二是因为乌拉特中旗邻近河套灌区,黄河水下渗为该区饲草地建设提供了良好的灌溉条件。此外,该旗还拥有丰富的饲草地建设经验,饲草地建设有代表性。

1.2 数据来源

本研究所用数据包括牧户问卷调查数据和典型嘎查草地的NDVI空间数据。牧户数据为课题组2021年7—8月在乌拉特中旗实地调研的2020年数据。调研采用分层随机抽样法,首先随机抽取了该旗的巴音乌兰苏木、川井苏木、新忽热苏木、温更镇和同和太牧场5个苏木/镇(图1)。由于草原牧区地广人稀,牧户居住非常分散,一般调研1个牧户样本需要花费1.5小时左右。因此,为减少调研时间和降低调研费用,在最初制定调研计划时,准备每个苏木镇抽取3—4个嘎查,每个嘎查调研4—8户。但在实际调研中,考虑样本量太少,

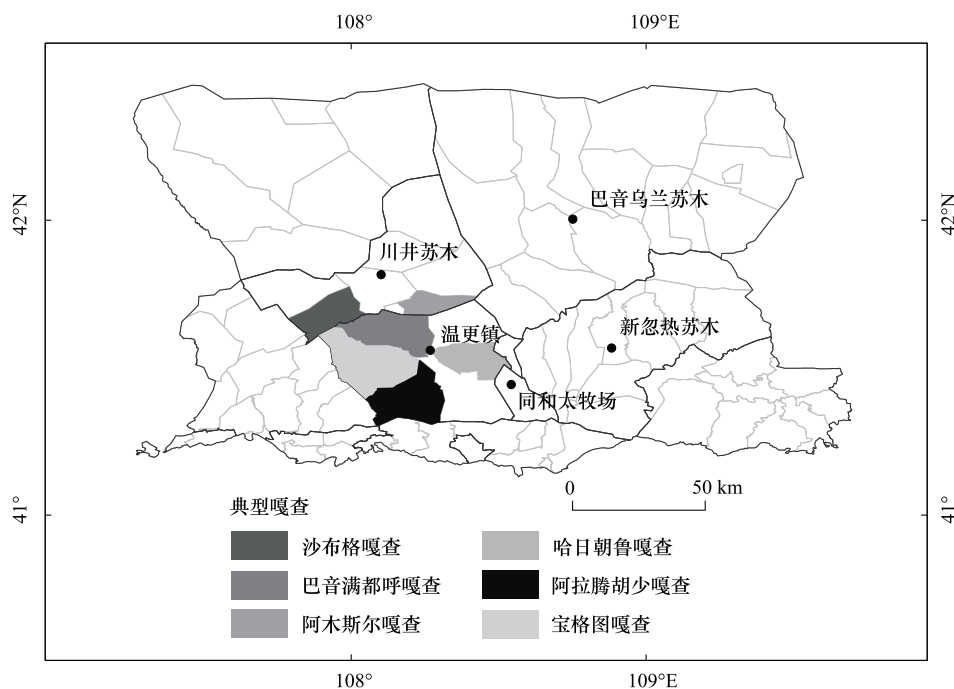


图1 调研区域及典型嘎查的空间位置

Fig.1 Spatial sites of the research area and typical Gachas

不利于研究,故平均每个苏木/镇抽取了 4 个嘎查,平均每个嘎查调研了 15 个牧户,共获得了 302 个牧户样本。样本核查中,去除了其中 3 个没有承包到草场的羊倌,剩下 299 个有效样本。

典型嘎查的 NDVI 数据来自随机抽取的嘎查。由于嘎查层面研究的目的在于验证饲草地建设对草原植被覆盖状况的影响,故需抽取有饲草地的嘎查。本研究中,我们首先在 5 个被调研的苏木/镇(图 1)中随机抽取了川井苏木和温更镇;然后这两个苏木/镇,随机抽取有饲草地的嘎查;最后,抽取沙布格、阿木斯尔、巴音满都呼、哈日朝鲁、阿拉腾胡少和宝格图 6 个嘎查(表 1)。NDVI 数据来自国家地理空间数据云 2010 年和 2020 年的 Landsat 影像,空间分辨率 500m(根据 30m 数据重采样到 500m)。NDVI 数据包括 2010 年和 2020 年两个时段,采用 ArcGIS 提取典型嘎查的 NDVI 平均值,用两个时段 NDVI 平均值的差值来表征典型嘎查植被覆盖变化。典型嘎查基本信息见表 1。

表 1 典型嘎查的基本信息
Table 1 Basic information of the typical Gachas

嘎查特征 Gacha characteristics	嘎查 G_{11} Gacha G_{11}	嘎查 G_{12} Gacha G_{12}	嘎查 G_{21} Gacha G_{21}	嘎查 G_{22} Gacha G_{22}	嘎查 G_{23} Gacha G_{23}	嘎查 G_{24} Gacha G_{24}
苏木/镇 Sumu/Town	川井苏木			温更镇		
嘎查名称 Gacha name	沙布格	阿木斯尔	巴音满都呼	哈日朝鲁	阿拉腾胡少	宝格图
嘎查总牧户数 Number of hhs/户	53	92	159	123	85	82
嘎查有饲草地的牧户数/户 Number of hhs with forage land	12	25	39	59	28	16
建有饲草地牧户占比/% Proportion of hhs with forage land	22.6	27.2	24.5	48.0	32.9	19.5

嘎查编号 G_{ij} 表示第 i 个苏木/镇的第 j 个嘎查 ($i = 1, 2; j = 1, 2, 3, 4$); hhs:牧户 Herder households

2 研究方法

2.1 牧户层面草地植被覆盖度调查

牧户层面草地植被覆盖度采用实地调研中牧民自身对植被感知的状况来估测。在一对一、面对面访谈中,调研人员向牧民详细说明植被覆盖度分为“ $[0\%, 20\%] = 1, (20\%, 40\%] = 2, (40\%, 60\%] = 3, (60\%, 80\%] = 4$ 以及 $(80\%, 100\%] = 5$ ”5 个等级,然后询问他们:“您觉得您家草场植被覆盖度为哪个等级?”牧民按照以上 5 个等级对自家草场情况进行判断,确定植被覆盖度。尽管牧民自身感知的草地植被覆盖度具有一定主观性,但已有研究表明,牧民作为草地的直接使用者,对草原植被覆盖及生态状况的感知能反映实际情况^[2, 28–29]。

2.2 典型嘎查层面植被覆盖度测度

典型嘎查层面的草地植被盖度用归一化植被指数(NDVI)表示。该指数能够较准确地反映植物的生长特征,消除诸如地形和其他生物群落的阴影和辐射干扰,因而常用于区域空间尺度的植被分类和植被覆盖等定量研究。NDVI 的计算公式为^[30–31]:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

式中, R 表示红光波段的反射值, NIR 表示近红外波段的反射值。

NDVI 的取值范围为 $[-1, 1]$, 负值表示地面覆盖对可见光的高反射;0 表示有岩石或裸土;正值表示有植被覆盖,且数值越大代表植被生长状况越好^[31]。本研究中的 NDVI 数据,来自资源环境科学与数据中心中国年度植被指数(NDVI)空间分布数据集(空间分辨率为 500m)。

2.3 计量模型方法

计量模型方法用于分析牧户调研数据,模型的被解释变量草地植被覆盖度为离散且可比较大小的定序变量,其等级越高表示草地植被覆盖度越好。该情形适合使用多元有序 Logistic 模型,模型的基本形式为:

$$\text{ordered - Logit}(y_i) = \text{Ln}\left(\frac{p_i}{1 - p_i}\right) = \alpha_0 + \alpha_1 FL_{ij} + \sum_{j=2}^k \alpha_j \text{Control}_{ij} + \varepsilon_i \tag{1}$$

式中, y_i 为牧户 i 的“草地植被覆盖度”, p_i 代表牧户 i 的草地植被覆盖度受核心解释变量和控制变量影响的概率。 FL_{ij} 为核心解释变量——饲草地建设,具体地,本文使用“是否建有饲草地”和“饲草地面积”两种方式衡量。 Control_{ij} 为控制变量,包括户主年龄、性别和受教育程度等户主特征,家中是否有成员担任或曾经担任嘎查干部和放牧人口数量等家庭特征,以及饲草料支出和载畜率等牧户畜牧业经营特征^[21,32]。 ε_i 为随机扰动项。 α_0 、 α_1 、 α_j 为待估参数。各变量及其赋值见表 2。

表 2 变量说明

Table 2 Description of variables selected

变量类别 Variable category	变量名称 Variable name	单位 Unit	变量说明 Variable description
被解释变量 Dependent variable	草地植被覆盖度	%	[0, 20] = 1, (20, 40] = 2, (40, 60] = 3, (60, 80] = 4, (80, 100] = 5
核心解释变量 Key dependent variable	是否有饲草地	—	牧户是否建有饲草地,是=1,否=0
	饲草地面积	hm ²	牧户建设饲草地的面积
控制变量 Control variable	年龄	岁	户主年龄
	性别	—	户主性别
	受教育程度	a	户主受教育年限
	嘎查干部	—	牧户家中成员有无担任或曾经担任过嘎查干部,是=1,否=0
	放牧人口	人	牧户家中从事牧业生产的人数
	饲草料支出	元	购买农作物秸秆、青草等草料与玉米、豆类等饲料的总支出
	载畜率	SSU/hm ²	年初牲畜存栏量与草地使用面积之比
	羊价	元/SSU	上一年每标准羊的价格

牲畜存栏量按照“2 仔畜=1 成年畜,1 牛=5 标准羊,1 马=6 标准羊”进行折算;SSU:标准羊单位 Standardized sheep unit

2.4 GIS 空间分析方法

由于牧民对草地植被覆盖度的感知具有一定的主观性,为了更客观地刻画研究区饲草地建设对草地植被覆盖度的影响,本研究进一步以典型嘎查(行政村)为研究单元,采用 ArcGIS 空间分析技术提取草地 NDVI 数据,测度饲草地建设对草地植被覆盖度的影响。根据遥感影像数据,使用 ArcGIS 提取所选嘎查区域 2010 年和 2020 年的 NDVI 值;计算不同时段各嘎查的 NDVI 平均值,并比较嘎查的 NDVI 变化;根据所选嘎查的饲草地建设信息以及相应嘎查草地 NDVI 变化,探究嘎查饲草地建设对植被覆盖的影响。

3 结果

3.1 牧户特征及其对饲草地建设的影响

样本牧户基本特征和饲草地建设情况见表 3。对于总样本而言,户主的平均年龄为 51.20 岁,主要为中年男性,平均受教育 8.34 年。户均放牧人口 2.14 个,草地经营面积 268 hm²,户均饲草料支出为 3.74 万元,载畜率为每 hm²草场 1.31 个标准羊单位。与无饲草地牧户相比,有饲草地牧户户主的年龄显著高于无饲草地牧户户主年龄(52.80 岁 VS 48.68 岁),但其饲草料支出和草地经营面积都显著低于无饲草地户的情形。换言之,年长的牧户和草地经营面积较小的牧户更倾向于建设饲草地,从而明显降低了其饲草料的费用支出。样本牧户中的 61.20%建有饲草地(图 2),将这些牧户按其饲草地面积划分为小规模户(<1.67 hm²)、中规模户(1.67—4 hm²)和大规模户(>4 hm²),三类牧户分别占建有饲草地牧户的 35.52%、33.33%和 31.15%(图 2)。

3.2 饲草地建设对草地植被覆盖的影响

样本牧户的草地植被覆盖状况见表 4。就总样本而言,牧户草地植被覆盖度主要位于(20%, 40%]、(40%, 60%]和(60%, 80%]三个等级,三者占比加总约 90%,植被覆盖度高于 60%的草地比例约 27.5%。有

饲草地户植被覆盖度高于 60%的草地比例超过 30.2%,而无饲草地户的则不足 23.3%;相反,有饲草地户植被覆盖度低于 40%的草地比例略低于无饲草地户的,分别为 37.4%和 39.7%。作为反映草原生态的重要指标,表 4 的植被覆盖度结果在一定程度上表明有饲草地户的草地生态好于无饲草地户的。

表 3 样本牧户主要特征
Table 3 Main characteristics of the samples

项目 Items	总样本 Total sample	无饲草地牧户 Hhs without forage land FA = 0	有饲草地牧户 Hhs with forage land FA > 0	有饲草地 VS 无饲草地 With VS without forage land t-值
年龄 Age/a	51.20	48.68	52.80	3.59 ***
性别 Gender	0.72	0.72	0.72	0.11
受教育水平 Education year/a	8.34	8.44	8.27	-0.39
放牧人口 Grazing population/人	2.14	2.10	2.16	0.57
饲草料支出 Forage expense/元	37403	54358	26655	-6.89 ***
载畜率 Stocking rate/(标准羊单位/hm ²)	1.312	1.26	1.35	0.75
草地经营面积 Grassland area/hm ²	268	338	224	-3.15 ***

以上变量的描述性统计结果为有效样本均值;***、**、* 分别表示在 1%、5%和 10%的水平上显著;FA:饲草地面积 Forage land area;t-值:t 检验的统计量值 Student's t test statistics value

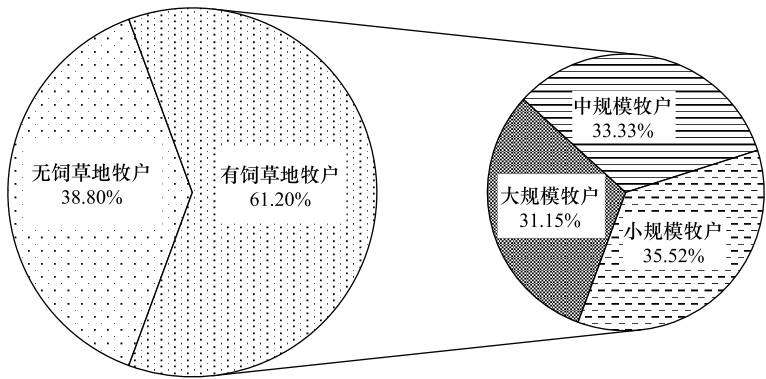


图 2 样本牧户饲草地状况及饲草地不同规模占比

Fig.2 Forage land in sample herders and proportions of households with different forage land scale

表 4 不同牧户草地植被覆盖状况
Table 4 Grassland vegetation coverage in different groups

样本分组 Group	植被覆盖度 Coverage					总计/%
	[0%, 20%]	(20%, 40%]	(40%, 60%]	(60%, 80%]	(80%, 100%]	
总样本 Total samples	7.38	30.87	34.23	25.84	1.68	100.00
无饲草地牧户 Hhs without forage land	8.62	31.03	37.07	22.41	0.87	100.00
有饲草地牧户 Hhs with forage land	6.59	30.77	32.42	28.02	2.20	100.00

基于 2.3 的模型分析,牧户是否建有饲草地以及饲草地建设规模对草地植被覆盖度的影响见表 5 中模型(a)与模型(b)的结果。模型(a)结果显示,在控制其他因素的情况下,建有饲草地牧户的草地植被覆盖度高于无饲草地的牧户,差异在 5%的水平上显著。建设饲草地可使草地植被覆盖度提高一个等级或以上的概率平均增加 0.83 倍(即 $e^{0.604}-1$)。这一发现表明,饲草地建设对于提升天然草地植被覆盖度、改善草场生态具有积极作用。载畜率在 1%的显著性水平上降低了草地植被覆盖度。载畜率提高意味着单位面积草地在一年内实际放牧的牲畜数量增加,这一方面提高了牲畜对天然草地的啃食强度与延长了啃食时间,导致草地破坏且使牧草生长时间变短,另一方面加剧了牲畜对天然草地的踩踏,导致“蹄灾”,最终降低了草地植被覆盖

度。模型(b)的结果显示,饲草地面积及其平方项对于总样本牧户的草场植被覆盖度则无显著影响。这表明,饲草地面积与草地植被覆盖度之间并非呈线性、U型或倒U型的关系。

表 5 饲草地建设对草地植被覆盖的影响
Table 5 Effects of forage land construction on grassland vegetation coverage

草地植被覆盖度 Grassland vegetation coverage	模型(a) Model (a)	模型(b) Model (b)	模型(c) Model (c)	模型(d) Model (d)	模型(e) Model (e)
是否建设饲草地 Whether to have a forage land	0.604 ** (0.025)				
饲草地面积 Forage land area		-0.006 (0.942)	-9.810 ** (0.038)	-4.133 (0.405)	-0.003 (0.991)
饲草地面积平方 Square of forage land area		0.000 (0.986)	5.099 * (0.057)	0.708 (0.373)	0.000 (0.994)
户主年龄 Age of household head	0.236 ** (0.028)	0.231 ** (0.032)	0.123 (0.635)	0.761 * (0.098)	0.240 (0.586)
户主年龄平方 Age square of household head	-0.002 ** (0.039)	-0.002 ** (0.048)	-0.001 (0.653)	-0.008 * (0.088)	-0.002 (0.621)
性别 Gender	-0.054 (0.853)	-0.044 (0.881)	-1.262 (0.254)	-1.238 (0.145)	1.684 (0.377)
户主受教育水平 Education year of household head	0.025 (0.588)	0.024 (0.603)	-0.079 (0.563)	-0.108 (0.354)	0.001 (0.992)
嘎查干部 Gacha cadre	0.037 (0.921)	0.026 (0.946)	0.185 (0.905)	17.093 *** (0.000)	-0.161 (0.844)
放牧人口 Grazing population	0.298 ** (0.026)	0.302 ** (0.028)	0.545 (0.495)	1.689 ** (0.013)	0.755 (0.183)
饲草料支出 Fodder expense	-0.000 (0.580)	-0.000 (0.316)	0.000 (0.690)	-0.000 ** (0.033)	0.000 (0.365)
载畜率 Stocking rate	-0.460 *** (0.008)	-0.422 ** (0.010)	-0.871 ** (0.049)	-0.360 (0.427)	-0.734 ** (0.034)
羊价 Sheep price	-0.109 (0.774)	0.004 (0.992)	1.759 (0.130)	-0.923 (0.450)	1.243 (0.298)

***、**、* 分别表示在 1%、5%和 10%的水平上显著;括号内为概率值

将建有饲草地牧户分成小规模户、中规模户和大规模户,三类牧户的计量分析结果见表 5 中的模型(c)、模型(d)和模型(e)。模型(c)显示小规模户饲草地建设规模对草地植被覆盖度的影响呈现 U 型变化趋势,饲草地面积小于 1 hm^2 ($-\frac{b}{2a} = -\frac{-9.810}{2 \times 10.198} = 0.962$,图 3 所示的拐点),即占牧户总草地经营面积约 0.26% (图 3 所示的下降组),草地植被覆盖度随饲草地面积增加而降低。而当饲草地面积超过 1 hm^2 即占牧户总草地经营面积约 0.64%时(图 3 所示的上升组),饲草地建设则显著提升草地植被覆盖度。模型(d)和模型(e)的结果显示,当饲草地面积超过 1.67 hm^2 即占牧户总经营面积 2.78%时,饲草地建设对草原生态的影响不显著。

3.3 典型嘎查草地的 NDVI

为验证牧户问卷中饲草地建设对草原植被覆盖状况的影响,提取了典型嘎查草原的 NDVI 值(图 4,表 6)。从典型嘎查 2010 年和 2020 年草地 NDVI(图 4)来看,不同嘎查的草地植被覆盖差异显著。而且,在 2010—2020 年间,所有嘎查草原的 NDVI 平均值都呈上升趋势,但该值的上升幅度在嘎查间有显著差异(表 6)。

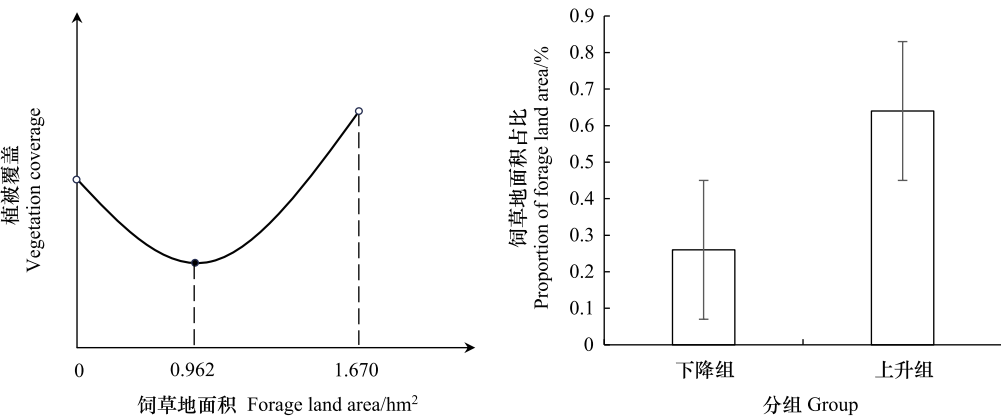


图 3 小规模户饲草地建设对草地植被覆盖的影响

Fig.3 Impact of the forage land construction on grassland vegetation coverage in small scale households

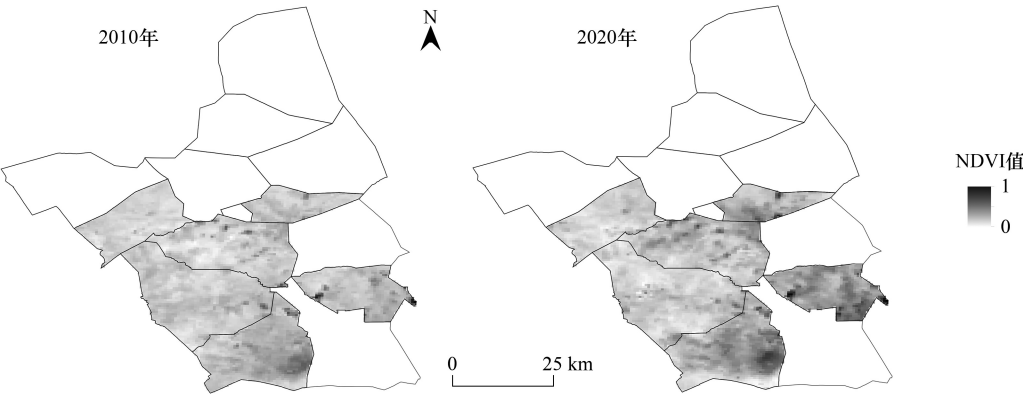


图 4 典型嘎查草原 NDVI 图差异

Fig.4 Differences in NDVI in typical Gachas

表 6 2010 年和 2020 年典型嘎查草原 NDVI 平均值及其变化

Table 6 The values and changes of grasslands' NDVI in typical Gachas in 2010 and 2020

典型嘎查 Typical Gachas	2010 年	2020 年	变化 (2020—2010) Difference	典型嘎查 Typical Gachas	2010 年	2020 年	变化 (2020—2010) Difference
嘎查 G ₁₁ Gacha G ₁₁	0.158	0.213	0.054	嘎查 G ₂₂ Gacha G ₂₂	0.187	0.311	0.124
嘎查 G ₁₂ Gacha G ₁₂	0.173	0.263	0.090	嘎查 G ₂₃ Gacha G ₂₃	0.198	0.279	0.081
嘎查 G ₂₁ Gacha G ₂₁	0.168	0.247	0.079	嘎查 G ₂₄ Gacha G ₂₄	0.171	0.218	0.047

各嘎查拥有饲草地的牧户占比分别为 22.6%、27.2%、24.5%、48.0%、32.9% 和 19.5% (表 1)。从 2010—2020 年的变化来看,各嘎查的 NDVI 变化值分别为 0.054、0.090、0.079、0.124、0.081 和 0.047 (表 6)。从典型嘎查饲草地建设与 NDVI 的关系来看,饲草地占比高的嘎查不仅 2010 与 2020 年的 NDVI 平均值更高,而且 2010—2020 年 NDVI 的上升幅度也显著高于饲草地占比低的嘎查,这表明嘎查有饲草地牧户占比与 NDVI 及其变化值存在正向的线性关系 (图 5)。无论是同一苏木不同嘎查 (分别以 G₁₁ 和 G₂₄ 为基准组),还是不同苏木嘎查 (均以 G₂₄ 为基准组) 的比较,NDVI 变化的比较值均与有饲草地牧户之比呈正相关,即拥有饲草地的牧户占比越高,其 NDVI 变化的比较值也越大 (图 5)。由于饲草地面积占比不足 1%,例如川井苏木沙布格嘎查,其饲草地面积占比仅为 0.09%,饲草地本身对 NDVI 的直接影响可以忽略。换言之,饲草地建设主要是通过提供饲草料减轻天然草场的放牧压力,从而间接改善草原生态的。

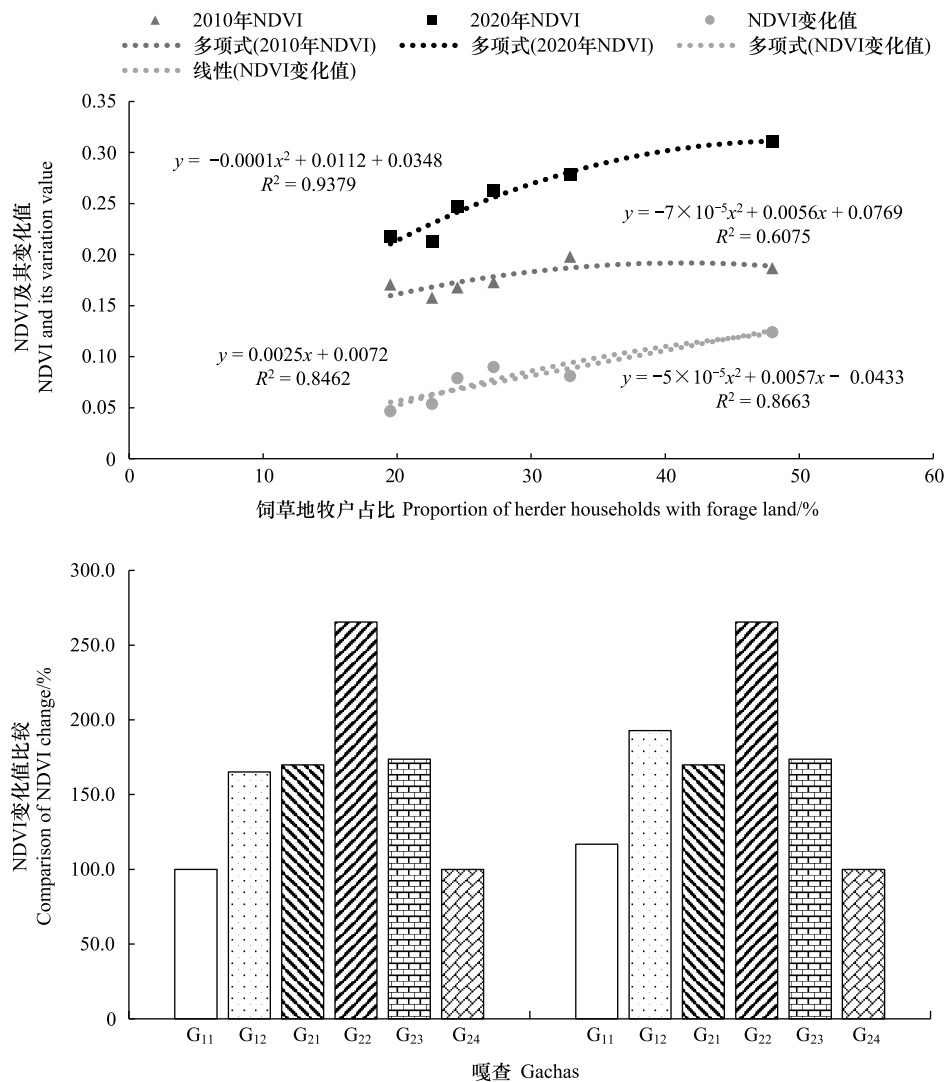


图5 饲草地建设对典型嘎查 NDVI 的影响

Fig.5 Impacts of forage land construction on grassland NDVI and its changes over 2010–2020

G_{11} 、 G_{12} 、 G_{21} 、 G_{22} 、 G_{23} 、 G_{24} 指代的嘎查详见表 1;柱状图左侧为同苏木不同嘎查 NDVI 变化的比较值($\Delta \text{NDVI}_{G_{ij}}/\Delta \text{NDVI}_{G_{11}}$ 、 $\Delta \text{NDVI}_{G_{2j}}/\Delta \text{NDVI}_{G_{24}}$),右侧为不同苏木不同嘎查 NDVI 变化的比较值($\Delta \text{NDVI}_{G_{ij}}/\Delta \text{NDVI}_{G_{24}}$)

4 讨论与结论

4.1 讨论

本文发现在北方农牧交错带建设饲草地有助于改善牧户草原生态(表 5,模型(a))。该结果支持了“以小保大”的牧区草牧业发展理论^[14,23]。由于饲草地的牧草产量为天然草原的 10 倍以上^[12],将牧区不足 10% 水热条件适宜土地建设成饲草地,可望在满足畜牧业发展的同时,解决草畜供需矛盾^[15],实现对其余 90% 天然草场的保护、恢复和科学利用。其理论逻辑为:基于植物补偿性生长理论^[33–34],草地的生长水平与牲畜采食程度呈倒 U 型关系,适度采食可促进植物生长,但过度采食则会降低草地生产力,使草地再生生物量处于欠补偿生长状态^[35–36]。建设饲草地可通过补饲,减轻牲畜对天然牧草的依赖,降低放牧强度,利于草地从欠补偿生长转变为超补偿与等补偿生长^[36–38],从而提高草地植被覆盖度。

饲草地建设虽然总体上提高了草地植被覆盖度,但不同规模饲草地对草原植被具有异质性影响。这可能

是由于饲草地建设通过扩大牧户牲畜养殖规模,从而影响草原生态。在牲畜对牧草消耗量一定的情况下,饲草地建设可以促进牧户种养一体化,减少外购饲草量与交易环节,从而降低牲畜养殖成本及面临的饲草供给不足与价格波动的市场风险^[39]。在利润最大化原则下,养殖成本下降可能鼓励牧户扩大养殖规模^[40],如表 3 显示,有饲草地牧户每百 hm^2 草地供养的牲畜数量比无饲草地牧户平均多 9 个标准羊单位。由于建设不同规模饲草地牧户所增加的牲畜数量存在差异,草地植被覆盖状况可能因饲草地面积的扩大而改善、恶化或保持不变。当饲草地面积较小,养殖规模超出饲草地供养能力时,草地植被状况将恶化;当其面积适中,饲草地足以供养增加后的牲畜,草地植被状况将有所好转;当其面积过大,虽然饲草地可供养更多牲畜,缓解天然草地的生态压力,但大面积草地开垦破坏草地植物群落,降低植被覆盖度^[25],草地植被覆盖因正负效应相互抵消而基本保持不变。表 5 的模型(c)、模型(d)和模型(e)验证了以上结论,即饲草地建设面积与草地植被之间存在非线性关系。具体而言,建设 1 hm^2 以下饲草地牧户的草地植被因扩大的养殖规模抵消了补饲对草原生态的积极影响而发生了退化;建设 $1\text{—}1.67 \text{ hm}^2$ 饲草地牧户的草地植被覆盖显著改善;建设 1.67 hm^2 以上饲草地牧户的草地植被覆盖则未发生明显变化。这表明,较大规模的饲草地建设对草地植被覆盖的积极作用可能受其他因素的影响而减弱。需要说明,由于研究区乌拉特中旗 90% 以上的草场为荒漠草原,饲草地建设的最佳规模仅为牧户草地总经营面积的 0.6% 左右。中国草原面积广大、类型多样且条件各异,因此在制定饲草地开发政策时,需要综合考量其他因素以确定适宜的饲草地建设比例。

需要说明,本研究将草地植被覆盖度分成 5 级不够细化,这可能导致每个牧民感知的较为准确的植被覆盖度在加总之后与真实情况产生一定偏差,即高于或低于真实值。如根据表 4 不同牧户草地植被覆盖状况计算得出的草地植被覆盖度主观评价的加权平均值为 46.7%,其中,草地植被覆盖度为 (40%, 60%] 的牧户比例为 34.23%,这一等级的加权值为 17.12%。但若这一等级样本中,一半的覆盖度为 41%,另一半为 45%,那么这一等级实际草地植被覆盖度为 14.72%,较加权值低约 2.4%。相反,如果这一等级样本中,一半的覆盖度为 51%,另一半为 55%,那么这一等级实际草地植被覆盖度为 18.14%,较加权值高约 1.02%。今后的研究中最好能够借助先进的遥感技术手段,更准确客观地反映牧户草地植被覆盖度状况。此外,在嘎查层面的研究中,用“嘎查饲草地面积”比“拥有饲草地的牧户占比”更合适且更一致。遗憾的是,在向嘎查询问其饲草地面积时,有些嘎查不太清楚各牧户饲草地实际面积,也不太愿意告知其种植的作物种类等详情(可能担心问及面积时打听作物种类,因有的偏好种油葵和玉米等作物而非牧草),只告知有饲草地的牧户数量。因此,我们只能用“拥有饲草地的牧户占比”作为“嘎查饲草地面积”的代理变量。未来的研究可通过技术手段获取各嘎查饲草地面积的准确数据。

4.2 结论

基于内蒙古自治区乌拉特中旗的牧户实地调研数据,本文以草原植被覆盖度为指标,采用多元有序 Logistic 模型,实证分析了饲草地建设对草原生态的影响,并运用典型嘎查归一化植被指数 (NDVI) 的空间数据,通过 ArcGIS 分析,对牧户问卷结果进行佐证,研究支持了饲草地建设“以小保大”的原理。研究发现,(1) 调研区 61.2% 的牧户建有饲草地,其中年长的和草地经营面积较小的牧户更多建有饲草地;(2) 相较于无饲草地的情况,饲草地建设总体上促进草地植被覆盖度提升。但饲草地建设对草原生态保护存在经营规模的异质性影响,饲草地占经营草地的 0.6% 即面积为 $1\text{—}1.67 \text{ hm}^2$ 时,最利于草原生态的改善;(3) 嘎查层面的证据佐证了这一结论,即拥有饲草地牧户的占比越高,其 NDVI 值增长幅度也越大,说明饲草地建设有利于提高 NDVI。据此,本文建议不同地区应因地制宜地确定饲草地建设的合理比例,促进草原生态改善。

参考文献 (References):

- [1] Bardgett R D, Bullock J M, Lavorel S, Manning P, Schaffner U, Ostle N, Chomel M, Durigan G, L Fry E, Johnson D, Lavallee J M, Le Provost G, Luo S, Png K, Sankaran M, Hou X Y, Zhou H K, Ma L, Ren W B, Li X L, Ding Y, Li Y H, Shi H X. Combatting global grassland degradation. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2021, 2(10): 720-735.
- [2] Zhang R X, Tan S H, Hannaway D, Dai W Z. Multi-household grassland management pattern promotes ecological efficiency of livestock production. *Ecological Economics*, 2020, 171: 106618.

- [3] Liu J G, Diamond J. China's environment in a globalizing world. *Nature*, 2005, 435: 1179-1186.
- [4] Zhang Z H, Gong J R, Li X B, Ding Y, Wang B, Shi J Y, Liu M, Yang B. Underlying mechanism on source-sink carbon balance of grazed perennial grass during regrowth: insights into optimal grazing regimes of restoration of degraded grasslands in a temperate steppe. *Journal of Environmental Management*, 2021, 277: 111439.
- [5] 莫兴国, 刘文, 孟铖铖, 胡实, 刘苏峡, 林忠辉. 青藏高原草地产量与草畜平衡变化. *应用生态学报*, 2021, 32(7): 2415-2425.
- [6] Wang Z Q, Zhang Y Z, Yang Y, Zhou W, Gang C C, Zhang Y, Li J L, An R, Wang K, Odeh I, Qi J G. Quantitative assess the driving forces on the grassland degradation in the Qinghai - Tibet Plateau, in China. *Ecological Informatics*, 2016, 33: 32-44.
- [7] Briske D D, Coppock D L, Illius A W, Fuhlendorf S D. Strategies for global rangeland stewardship: assessment through the lens of the equilibrium-non-equilibrium debate. *Journal of Applied Ecology*, 2020, 57(6): 1056-1067.
- [8] 方精云, 景海春, 张文浩, 高树琴, 段子渊, 王竑晟, 钟瑾, 潘庆民, 赵凯, 白文明, 李凌浩, 白永飞, 蒋高明, 黄建辉, 黄振英. 论草牧业的理论体系及其实践. *科学通报*, 2018, 63(17): 1619-1631.
- [9] 徐田伟, 赵新全, 张晓玲, 王循刚, 耿远月, 胡林勇, 赵娜, 毛绍娟, 刘宏金, 康生萍, 马力, 韩学平, 贾功雪, 赵亮, 董全民, 柴沙驼, 徐世晓. 青藏高原高寒地区生态畜牧业可持续发展:原理、技术与实践. *生态学报*, 2020, 40(18): 6324-6337.
- [10] 张春辉, 赵亮, 赵新全. 草地多功能目标管理的理论基础、技术原理及实现途径. *草业学报*, 2023, 32(3): 212-223.
- [11] 沈海花, 朱言坤, 赵霞, 耿晓庆, 高树琴, 方精云. 中国草地资源的现状分析. *科学通报*, 2016, 61(2): 139-154.
- [12] 张新时. 内蒙古草原陷入发展困境. *瞭望新闻周刊*, 2005, 24(23): 58.
- [13] 张新时. 我国必须走发展人工草地和草地农业的道路. *科学对社会的影响*, 2010, 1(3): 18-21.
- [14] 方精云, 潘庆民, 高树琴, 景海春, 张文浩. “以小保大”原理:用小面积人工草地建设换取大面积天然草地的保护与修复. *草业科学*, 2016, 33(10): 1913-1916.
- [15] 贺金生, 刘志鹏, 姚拓, 孙书存, 吕植, 胡小文, 曹广民, 吴新卫, 李黎, 卜海燕, 朱剑霄. 青藏高原退化草地恢复的制约因子及修复技术. *科技导报*, 2020, 38(17): 66-80.
- [16] 张立中, 辛国昌. 澳大利亚、新西兰草原畜牧业的发展经验. *世界农业*, 2008, 30(4): 22-24.
- [17] 李娜. 国外草地农业发展实践及模式借鉴. *世界农业*, 2017, 39(1): 142-147.
- [18] 张洁冰, 南志标, 唐增. 美国苜蓿草产业成功经验对甘肃省苜蓿草产业之借鉴. *草业科学*, 2015, 32(8): 1337-1343.
- [19] 刘玉凤, 王明利, 胡向东, 石自忠. 美国苜蓿产业发展及其对中国的启示. *农业展望*, 2014, 10(8): 49-54.
- [20] 古琛, 贾志清, 杜波波, 何凌仙子, 李清雪. 中国退化草地生态修复措施综述与展望. *生态环境学报*, 2022, 31(7): 1465-1475.
- [21] 侯向阳, 尹燕亭, 王婷婷. 北方草原牧户心理载畜率与草畜平衡生态管理途径. *生态学报*, 2015, 35(24): 8036-8045.
- [22] 谭淑豪, 杜辉, 戴微著, 王硕. 以集体行动促牧区草地资源走出治理困境. *中国人口·资源与环境*, 2023, 33(2): 176-187.
- [23] 宋乃平, 卞莹莹, 王磊, 陈林, 杨新国, 王响, 王兴, 曲文杰. 农牧交错带农牧复合系统的可持续机制. *生态学报*, 2020, 40(21): 7931-7940.
- [24] 赵楠, 赵颖慧, 邹海凤, 白晓红, 甄贞. 1990—2020 年黑龙江省植被覆盖度的时空变化趋势及驱动力. *应用生态学报*, 2023, 34(5): 1320-1330.
- [25] 欧阳玲, 马会瑶, 王宗明, 路春燕, 王荣林, 张永生, 于显双. 基于遥感与地理信息数据的科尔沁沙地生态环境状况动态评价. *生态学报*, 2022, 42(14): 5906-5921.
- [26] 何玉杰, 孔泽, 卢晓, 张江, 王猛, 彭长辉, 朱求安. 水热条件分别控制了中国温带草地 NDVI 的年际变化和增长趋势. *生态学报*, 2022, 42(2): 766-777.
- [27] Yeh E T, Samberg L H, Gaerrang, Volkmar E, Harris R B. Pastoralist decision-making on the Tibetan Plateau. *Human Ecology*, 2017, 45(3): 333-343.
- [28] Rampa A, Lovo S. Revisiting the effects of the Ethiopian land tenure reform using satellite data. A focus on agricultural productivity, climate change mitigation and adaptation. *World Development*, 2023, 171: 106364.
- [29] Bai P P, Mancini M, Juan D, Mace R. Matching local knowledge and environmental change with policy changes in rangeland tenure. *Human Ecology*, 2021, 49(3): 341-352.
- [30] Fung T, Siu W. Environmental quality and its changes, an analysis using NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(5): 1011-1024.
- [31] 王永祥, 徐园园, 杨佳嘉, 陈裕鑫, 魏佳轩, 周娟, 张未来, 程武学. 基于 Landsat 的重庆市生态环境质量动态监测及其时空格局演变分析. *生态学报*, 2023, 43(15): 6278-6292.
- [32] 董海宾, 刘思博, 蒋奇仲, 白海花, 尹燕亭, D Bolormaa, 侯向阳. 外购干草是否缓解了天然草原的生态压力——来自内蒙古的回顾性调查. *草地学报*, 2022, 30(4): 771-777.
- [33] Belsky A J. Does herbivory benefit plants? A review of the evidence. *The American Naturalist*, 1986, 127(6): 870-892.
- [34] Trlica M J, Rittenhouse L R. Grazing and plant performance. *Ecological Applications: a Publication of the Ecological Society of America*, 1993, 3(1): 21-23.
- [35] 杨婧, 褚鹏飞, 王明玖, 白永飞. 基于牧场生产力的内蒙古典型草原载畜率研究. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(1): 76-81.
- [36] 宋伟江, 苏纪帅, 张梦迪, 赵玉金, 王忠武, 贾玉山, 白永飞. 中国北方草地植物补偿性生长与合理放牧强度:基于放牧实验的整合分析. *科学通报*, 2023, 68(11): 1330-1342.
- [37] 马红彬, 谢应忠. 不同放牧强度下荒漠草原植物的补偿性生长. *中国农业科学*, 2008, 41(11): 3645-3650.
- [38] Oesterheld M, McNaughton S J. Effect of stress and time for recovery on the amount of compensatory growth after grazing. *Oecologia*, 1991, 85(3): 305-313.
- [39] 付净瑶, 王忠武, 李治国, 韩国栋, 那顺孟克, 赵生厚. 不同经营管理策略对内蒙古家庭牧场影响的研究现状及展望. *草地学报*, 2023, 31(7): 1911-1921.
- [40] 靳乐山, 孔德师, 胡振通. 藏区畜牧业后续产业发展的差异分析——以甘肃省天祝藏族自治县不同类型牧户为例. *西南民族大学学报(人文社会科学版)*, 2014, 35(12): 139-143.