

DOI: 10.20103/j.stxb.202208162359

乔斌,王乃昂,王义鹏,赵航,程弘毅,刘锐,孙德浩,祝存兄.山地-绿洲“共轭型”生态牧场理念源起、概念框架与发展模式——以祁连山牧区为例.生态学报,2023,43(21):8917-8932.

Qiao B, Wang N A, Wang Y P, Zhao H, Cheng H Y, Liu R, Sun D H, Zhu C X. Concept origin, conceptual framework and development mode of Mountain-Oasis “Conjugate” Ecological Pasture: Empirical demonstration in Qilian Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(21): 8917-8932.

山地-绿洲“共轭型”生态牧场理念源起、概念框架与发展模式

——以祁连山牧区为例

乔斌^{1,2,3}, 王乃昂^{1,*}, 王义鹏¹, 赵航¹, 程弘毅¹, 刘锐^{1,4}, 孙德浩¹, 祝存兄^{2,3}

1 兰州大学资源环境学院, 冰川与沙漠研究中心, 沙漠与冰川野外科学观测研究站, 兰州 730000

2 青海省气象科学研究所, 西宁 810001

3 青海省防灾减灾重点实验室, 西宁 810001

4 巢湖学院旅游管理学院, 合肥 238000

摘要:区域协调发展空间布局及耦合效应是国土空间治理现代化、区域生态保护和高质量发展绕不开的重要命题。本研究利用 146 户牧户访谈和 21 次管理部门调研资料, 结合卫星遥感数据和文献资料, 从“三生”(生产、生活、生态)视角爬梳祁连山草地畜牧业、河西走廊饲草种植业、牧户生计路径策略的历史源起和发展历程。在生态系统服务流理论指导下深入刻画了祁连山与河西走廊农牧耦合系统的空间联系, 诠释了祁连山-河西走廊“共轭型”生态牧场概念框架与发展模式。研究认为: (1) 2011 年“草原生态奖补政策”实施以来祁连山地区植被覆盖度增加显著 ($P < 0.05$); 传统牧业户、生态移民户的生计多样化指数分别是 2.22 和 2.69, 生计能力脆弱; 外购草料、舍饲养殖、人工种草、异地借牧(秸秆补饲)、流转草原等是牧户落实草畜动态平衡的基础性生计策略, 实现了祁连山草地畜牧业由超载过牧到“超载不过牧”的跨越式转型; (2) 祁连山山地系统将生态系统服务(淡水资源供给)外溢至河西走廊绿洲系统以支撑饲草种植业发展, 河西走廊饲草种植业提供优质饲草“反哺”祁连山草地畜牧业发展, 二者构成了山地-绿洲“共轭空间”; 借助外界物质能量输入路径的“虚拟草场”模式将祁连山牧业系统和河西走廊农业系统有机链接起来, 既发挥了祁连山草地生态功能, 又提升了祁连山牧区牧户维持可持续生计的能力, 通过重构“生态-生产-生活”多功能协同权衡机制维持了祁连山生态畜牧业的高质量发展; (3) 山地-绿洲“共轭型”生态牧场包括草地畜牧业、饲草种植业、“虚拟草场”三个子系统, 通过构建子系统间的多维耦合、虚实交融和共生共存, 实现了祁连山-河西走廊“共轭空间”农牧耦合系统的资源共享、优势互补和效益联动, 是一种依据自然规律和经济规律探索出的迭代创新式生态牧场发展模式。

关键词:共轭空间; 草地畜牧业; 饲草种植业; 虚拟草场; 生态系统服务流; 牧户生计; 生态牧场

Concept origin, conceptual framework and development mode of Mountain-Oasis “Conjugate” Ecological Pasture: Empirical demonstration in Qilian Mountains

QIAO Bin^{1,2,3}, WANG Nai'ang^{1,*}, WANG Yipeng¹, ZHAO Hang¹, CHENG Hongyi¹, LIU Rui^{1,4}, SUN Dehao¹, ZHU Cunxiong^{2,3}

1 College of Earth and Environmental Sciences, Center for Glacier and Desert Research, Scientific Observing Station for Desert and Glacier, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

2 Qinghai Province Institute of Meteorological Sciences, Xining 810001, China

3 Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation of Qinghai Province, Xining 810001, China

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFC0507402)

收稿日期: 2022-08-16; 网络出版日期: 2023-06-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangna@lzu.edu.cn

4 College of Tourism Management, Chaohu University, Hefei 238000, China

Abstract: Spatial layout for coordinated regional development and its coupling effect is an important proposition that cannot be bypassed in the modernization of territorial spatial governance, regional ecological protection and high-quality development. Based on the data of 146 pastoral interviews and 21 management surveys, and combined with satellite remote sensing data and literature, this study compares the historical origins and development of grassland animal husbandry in the Qilian Mountains, forage farming in the Hexi Corridor (or Gansu Corridor), and herding households' livelihood strategies from the perspective of "production-living-ecology" space. Under the guidance of the ecosystem service flow theory, the spatial linkage of the Qilian Mountains-Hexi Corridor coupled agro-pastoral system is deeply portrayed, and the conceptual framework and development model of its "conjugate" ecological pasture is interpreted. The research shows that: (1) Since the implementation of the grassland ecological award and compensation policy in 2011, the vegetation coverage in Qilian Mountains has increased significantly ($P < 0.05$). The livelihood diversity index of traditional pastoralists and eco-migrant pastoralists is 2.22 and 2.69 respectively, and their livelihood capacity is vulnerable. The basic livelihood strategy for herding households to implement dynamic balance of grass and livestock is to purchasing forage, forage breeding, artificial grass planting, borrowing grazing from other places (straw supplemental feeding) and transferring grassland, through this grass storage balance model to achieve the Qilian Mountains grassland animal husbandry from over-grazing to "overload but not grazing" leapfrog development. (2) The mountain system of the Qilian Mountains overflows ecosystem services (fresh water supply) to the oasis system of the Hexi Corridor to support the development of its forage planting. Meanwhile, the forage cropping of the Hexi Corridor provides high-quality forage for the grassland animal husbandry of the Qilian Mountains, which forms the "conjugate space" between the mountain and oasis. The "virtual grassland" grass storage balance model with external material and energy input pathways organically links the animal husbandry system of the Qilian Mountains with the agricultural system of the Hexi Corridor, bringing into play the ecological functions of the Qilian Mountains grasslands and enhancing the ability of pastoral households in the Qilian Mountains to maintain sustainable livelihoods. High-quality development of ecological animal husbandry in the Qilian Mountains is maintained by reconstructing the multifunctional "production-living-ecology" trade-off mechanism. (3) The mountain-oasis "conjugate" ecological pasture includes three sub-systems: grassland animal husbandry, forage planting and "virtual grassland", building a multi-dimensional coupling, virtual-real integration and co-existence between sub-systems, realising the Qilian Mountains-Hexi Corridor "conjugate space" agro-pastoral coupling system of resource sharing, complementary advantages and benefit linkage, is an iterative innovative ecological pasture development model explored according to the laws of nature and economy.

Key Words: conjugate space; grassland animal husbandry; forage planting; virtual grassland; ecosystem service flow; Pastoralist livelihoods; ecological pasture

国土空间是人类生存与发展的环境集合体,也是区域人地关系及其相互耦合的容器^[1]。从土地功能视角出发,土地资源划分为生产空间、生活空间和生态空间(简称“三生空间”),促进生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀^[2-4],成为统筹、优化和协调国土空间治理的重要体现。空间治理对象是一个动态、多维的复杂系统,有现实空间和虚拟空间之别^[5]。在“以人为本”生态文明理念引领下,生态环境保护议题开始回溯人类福祉本源^[6]。就草地保护议题而言,草地的“生产-生活-生态”多功能需求日益受到重视^[7],兼顾和协调草地资源的生态和生产属性,对于整合草地保护与牧民福祉之间的对立冲突具有现实意义^[8]。目前,有关受损草地生态系统修复技术的研究成果并不少见,围栏禁牧、减畜轮牧、施肥及人工播种是最常用的恢复措施^[9]。从生态修复人文学视角看,生态环境问题也是社会治理问题,其兼具系统性、复杂性^[10]、多维性、人文性等特征,然而生态环境治理碎片化^[11]、行政壁垒及政策失灵^[12]等现实问题,迫切需要

以宏观生态系统科学理论及知识进行指导^[13]探索重塑跨域生态环境治理空间模式。当下,跨域生态协同治理理念创新“顶层设计”钝化,跨域生态协同空间治理方案“基层匹配”缺乏先导性和操作性。因此,探索跨域生态协同治理模式既是理论创新又是实践需求。

祁连山地区蕴含丰富的草地、林地、湿地、冰川等生态资源,是重要的水源涵养生态功能区和国家生态安全屏障,对维护青藏高原生态平衡、维持河西走廊绿洲稳定、保障北方地区生态安全具有重要意义。作为“山地水库”、“生态半岛”和“气候湿岛”的祁连山,通过石羊河、黑河、北大河、疏勒河、党河等水系将祁连山山地系统与河西走廊绿洲系统链接起来,共同构成了祁连山-河西走廊“生态地理综合体”。祁连山山地系统和河西走廊绿洲系统在空间功能上耦合,在空间结构上嵌套,是一个具有明确互补性的复合地域单元。河流水系一头连着祁连山牧区,一头连着河西走廊农区,通过生态系统服务流作为“纽带”构成了一个典型的“共轭空间”。祁连山-河西走廊“共轭空间”位于我国地形三大阶梯分界线,属于第一阶梯向第二阶梯的过渡区域,时空分异性^[14]、系统复杂性、民族多元性和不确定性等特征显著,是探索跨域地理空间治理模式与经验样板的关键区域,也是开展人地系统耦合格局与演变过程研究的天然场所。树立祁连山-河西走廊协同治理生态安全观,设计重塑山地-绿洲“共轭型”生态协同治理发展模式,以此丰富和发展跨域生态协同治理理论体系与实践框架也提上了日程。可见,回答和探索祁连山牧区草地生态功能与生产效益的权衡协同耦合效应,在理论上寻求解决促进草地资源科学保护和合理利用的空间治理模式,推进人地关系地域系统协调和高质量发展,成为地理学视域下推进国土空间规划和空间治理现代化的科学命题。

2017年祁连山生态环境问题专项督查以来,祁连山开启了“由乱到治”的绿色发展机遇期。祁连山生态环境专项整治遏制并扭转了生态环境恶化的趋势,有效控制了不合理的人类活动,治理取得初步成效^[15]。目前,探索祁连山牧区草地生态功能与生产效益的权衡协同路径,寻求祁连山牧区草畜平衡及畜牧业可持续发展,总结形成一套针对性强、易操作实施的祁连山生态保护先导性经验模式,成为科技工作者和管理决策者需要共同对话、交流和商议的迫切话题。“孪生空间”理念^[16]、国土空间规划^[17]、“三生空间”优化配置^[18]、国土空间治理现代化^[19]等为区域耦合效应研究提供了新视角,有助于具象化、靶向性诠释跨域生态协同治理理论框架和实践模式。因此,本研究基于祁连山-河西走廊“共轭空间”复合系统,结合牧户访谈、管理部门调研资料论证分析,从发展视角阐述了祁连山-河西走廊农牧耦合系统“生产-生活-生态”多功能空间关联与生态牧场源起,从实践视角诠释了生态系统服务流理论指导下祁连山-河西走廊“共轭型”生态牧场概念框架与路径模式。本研究引入“虚拟草场”概念作为表征山地-绿洲“共轭空间”人地协同的重要刻度,通过“虚拟草场”子系统将河西走廊绿洲饲草种植业“反哺”和祁连山山地生态系统服务“源头担当”有机衔接起来,将两个割裂的局域网整合为“共轭”全域网,以期为实现复杂系统耦合分析与系统集成研究、寻求跨域生态协同治理方案提供理论范式和实践探索。

1 研究对象与研究方法

1.1 牧户访谈和管理部门调研

本研究采用参与式农村评估方法(Participatory Rural Appraisal, PRA)中的半结构访谈方式进行牧户调研^[20],围绕牧事活动调研主题向被采访者进行开放式提问。课题组于2022年1月21日至1月24日在天祝藏族自治县牧业社区进行预调研,并与天祝县农牧局管理人员进行座谈,在此次调研基础上修正了调研提纲和调查问卷。于2022年4月27日至5月7日、6月5日至6月14日先后深入天祝、肃南、肃北、祁连、门源、天峻等地区的牧业社区进行访谈调研工作,调查采取随机抽样和典型抽样(村长、村支书、生态管护员、牧业合作社带头人)相结合的方法。牧户访谈主要从微观尺度了解祁连山草地畜牧业发展现状及草地保护情况,管理部门调研主要从宏观尺度了解祁连山生态修复与畜牧业发展、农牧民生计与草原保护意愿、生态补偿措施及实施情况等,牧户访谈和管理部门调研互相验证。通过赠送水杯、脸盆等小礼品的方式拉近与牧户的距离,提高了被调查牧户的积极性,采取“一对一”方式与牧户面谈,当场填写问卷,保证了访谈信息的可靠性。

牧户访谈共获取问卷 146 份,通过对问卷进行整理、甄别和剔除,共获取有效问卷 133 份,有效率为 91.10%。同时,课题组先后前往乡(镇)政府、林草局、农牧局、国家公园管理分局、生态管护站等管理部门调研座谈 21 次,人员涵盖分管草原工作的乡(镇)长、局长、站长、干事等综合管理人员和负责草原监测、牲畜防疫、牧区振兴、草畜平衡、生态补偿、农牧技术推广、自然保护区管护等方面的专业技术人员。

1.2 监测数据来源与处理

1.2.1 生计多样化指数

通过生计多样化指数(D)表征牧户生计多样化程度。根据牧户从事的生计活动类型赋值,如果牧户从事草地畜牧业、餐饮服务业 2 种生计活动,则生计多样化指数(D)为 2。生计多样化指数计算公式如下^[20]:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$$

式中, d_i 为第 i 个牧户的生计多样化指数, n 为该类型牧户的个体数, D 为该类型牧户的生计多样化指数。

1.2.2 植被覆盖度计算

本研究选用的植被监测遥感数据为美国国家航空航天局 MOD13Q1 数据产品,时间分辨率为 16 d,空间分辨率为 250 m,研究时段为 2000—2021 年植被生长季(5—9 月)。首先对 MOD13Q1 数据进行格式转换、投影转换等预处理;然后采用最大值合成法(Maximum Synthesis Method, MVC),计算得到年 $NDVI$ 时序数据;最后利用像元二分模型计算植被覆盖度(Fractional Vegetation Cover, FVC)。植被覆盖度计算公式如下^[21—22]:

$$FVC = \frac{(NDVI - NDVI_{soil})}{(NDVI_{veg} - NDVI_{soil})}$$

式中,FVC 代表植被覆盖度, $NDVI$ 代表目标像元 $NDVI$, $NDVI_{soil}$ 代表无植被像元的 $NDVI$ 值; $NDVI_{veg}$ 代表纯植被像元 $NDVI$ 值。

2 发展事实:“三生空间”视角下“共轭型”生态牧场源起

2.1 生态视角下祁连山草地畜牧业演化变迁事实

天祝藏族自治县和肃南裕固族自治县地处祁连山国家公园中东部,是祁连山地区传统的牧业大县。为落实草原生态保护补助奖励政策,天祝、肃南先后实施完成了两轮(2011—2015 年、2016—2020 年)草原生态奖补措施,目前第三轮(2021—2025 年)草原生态保护补助奖励政策已经启动实施。从生态奖补草原面积统计来看,天祝、肃南可利用草场面积分别为 3914.07 km² 和 13946.00 km²,禁牧区面积占比分别为 27.25% 和 32.12%,人均草场面积分别为 2.78 hm² 和 53.44 hm²(表 1)。将可利用草原划定为禁牧区和草畜平衡区,对禁牧草原给予适当补助,对草畜平衡草原进行奖励,调动了牧民保护草原的积极性,促进了天然草原生态保育和恢复。

表 1 祁连山牧区典型牧业县生态保护奖补政策草原面积统计(第二轮)

Table 1 Grassland area statistics of typical grazing counties in the Qilian Mountains under the ecological protection supplement policy (second round)

行政区 Administrative regions	可利用草原面积 Available grassland area/km ²		禁牧区面积比例 Proportion of grazing prohibited area/%	家庭户人口 Population of households/ persons	人均草场面积 Per capita grassland area/hm ²
	禁牧区 Grazing forbidden area	草畜平衡区 Grass and livestock balance area			
天祝藏族自治县	1066.67	2847.40	27.25	141447	2.78
肃南裕固族自治县	4479.27	9466.73	32.12	26226	53.44

家庭户人口来自第七次全国人口普查公报

从 2000—2021 年植被覆盖度的空间分布可以看出(图 1),祁连山国家公园中东部(天祝、肃南、中牧公司山丹马场)植被覆盖度总体上呈现东南高西北低、由东南到西北递减的空间分布特征;2000—2021 年平均植

被覆盖度为 47.70%,其中天祝、山丹马场、肃南的平均植被覆盖度分别为 66.39%、69.79%和 37.30%。从时间序列来看(图 1),2000—2021 年祁连山国家公园中东部植被覆盖度呈现波动增加趋势,增加速率为 0.42%/a ($R^2=0.60, P<0.05$),其中天祝植被覆盖度增加速率为 0.38%/a ($R^2=0.44, P<0.05$),山丹马场植被覆盖度增加速率为 0.43%/a ($R^2=0.50, P<0.05$),肃南植被覆盖度增加速率为 0.44%/a ($R^2=0.63, P<0.05$)。

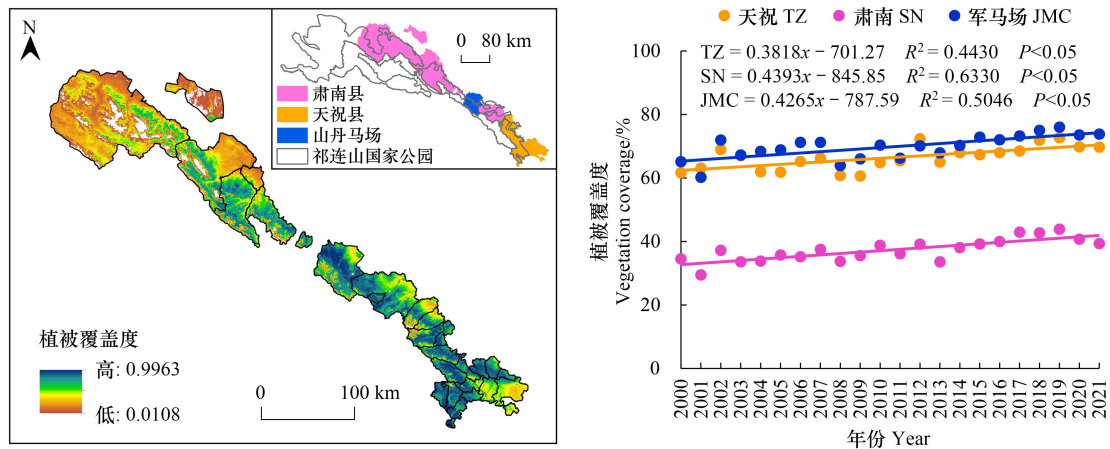


图 1 祁连山牧区典型牧业县植被覆盖度时空变化

Fig.1 Spatial and temporal changes in vegetation cover in typical grazing counties in the Qilian Mountains

由表 2 可知,祁连山牧区典型乡镇可利用草原面积资源禀赋差异显著,其中哈溪镇可利用草原面积最小 (216.97 km²),祁丰藏族乡可利用草原面积最大(4705.02 km²),其中禁牧草原面积比例较高的乡镇是祁连镇和祁丰藏族乡,分别为 58.80%和 56.53%,其次是毛藏乡、康乐镇、抓喜秀龙镇和大河乡,禁牧草原面积占比分别是 40.81%、36.90%、36.60%和 27.07%,马蹄藏族乡的禁牧草原面积占比最小,为 3.67%。此外,哈溪镇和皇城镇的可利用草原全部被划定为草畜平衡区;从植被覆盖度来看,不同乡镇植被覆盖度在草原补奖政策实施前(2000—2011 年)和实施后(2012—2021 年)均表现为增加趋势,变异系数均呈现下降趋势;在草原补奖政策实施前大多数乡镇的植被覆盖度变化率(除哈溪镇和祁丰藏族乡)呈现不显著的波动增加趋势($P>0.05$),在草原补奖政策实施后所有乡镇的植被覆盖度变化率均呈现显著的波动增加趋势($P<0.05$),说明草原补奖政策实施后植被覆盖度年际波动变小,草地系统抗风险能力增强,生态系统稳定性显著增加。整体来看,祁连山国家公园中东部植被覆盖度明显增加,植被生态质量趋于改善,草原保护成效显著,生态环境呈现稳中向好的变化趋势。

从草地生态质量演化来看,我国草原从 20 世纪 70 年代开始出现不同程度退化和沙化,20 世纪 80 年代开始草原大面积退化,到 20 世纪末最为严重,退化草地已占到草原总面积的 90%左右,草地开垦导致优良草地面积减少,造成牲畜超载程度严重^[23—25]。21 世纪以来,为推动草原牧区可持续发展和促进农牧民收入增加,2003 年开始实施“退牧还草”工程,2011 年开始实施“草原生态保护补助奖励政策”,一系列草原生态修复工程实施增加了草地植被覆盖度和牧草产量,草原生态恢复取得阶段性成效^[26—29]。2017“祁连山生态事件”开启了草地畜牧业发展的新时代,祁连山草地畜牧业进入了“生态生产协同发展”的生态型发展阶段。

2.2 生产视角下河西走廊饲草种植业发展变迁脉络

河西走廊地势开阔、气候干旱、光照充足,来自祁连山的灌溉水源丰富^[30],发展饲草种植资源禀赋优良;从中国草原划分来看,河西走廊属于西北山地盆地草原区,草地类型以温性荒漠草原为主^[31];从中国草地农业气候区划来看,河西走廊位于荒漠饲草气候系统和草原饲草气候系统^[32]。可见,河西走廊发展饲草种植业顺应自然规律、具备区位优势。当前,甘肃已发展成为全国重要的商品草生产基地和储备供应集散中心,商品草种植面积 27.23 万 hm²,年产商品草 531.87 万 t^[33],形成了以永昌片区种植苜蓿为主和以山丹片区种植燕

麦草为主的河西走廊优质牧草生产基地。以三大人工饲草之一的苜蓿为例,在河西走廊已有 2000 多年的栽培历史^[34],甘肃苜蓿种植面积位居全国第一^[35],其中 2016 年种植面积为 19.61 万 hm²^[36]。值得注意的是,人工草地单产远高于天然草地^[37–38],既可以增加农牧民收入,又可以缓解天然草地“非产草季”饲草存量不足的困境^[39]。祁连山发育的河流水系是支撑河西走廊绿洲的命脉和基础,利用河西走廊绿洲耕地资源建立人工草地,种植优质牧草“反哺”祁连山牧区,可以缓解天然草原放牧压力,兼顾生态安全和生产发展。

表 2 祁连山牧区典型乡镇植被覆盖度变化统计

Table 2 Statistics on changes in vegetation cover in typical townships in the Qilian Mountains pastoral area

乡镇 Villages and towns	可利用草原面积 Available grassland area/km ²			植被覆盖度 Vegetation coverage/%		变异系数 Coefficient of variation		变化率 Changing rate/a ⁻¹	P
	禁牧区 Grazing forbidden area	草畜平衡区 Grass and livestock balance area							
抓喜秀龙镇	84.50	146.40	2000—2010 年	76.19±1.57	↑	0.0206	↓	0.0671	>0.05
			2011—2021 年	78.65±1.30		0.0165		0.3026	<0.05
哈溪镇	0	216.97	2000—2010 年	70.12±2.19	↑	0.0533	↓	0.4097	<0.05
			2011—2021 年	75.08±1.36		0.0349		0.2630	<0.05
毛藏乡	145.85	211.57	2000—2010 年	64.43±1.34	↑	0.0209	↓	0.1694	>0.05
			2011—2021 年	67.69±1.25		0.0184		0.2417	<0.05
祁连镇	165.33	115.85	2000—2010 年	53.76±4.05	↑	0.0753	↓	0.1005	>0.05
			2011—2021 年	61.28±2.48		0.0404		0.4497	<0.05
皇城镇	0	2046.00	2000—2010 年	65.31±3.48	↑	0.0533	↓	0.1898	>0.05
			2011—2021 年	70.45±2.46		0.0349		0.5689	<0.05
马蹄藏族乡	41.09	1079.62	2000—2010 年	53.42±3.32	↑	0.0621	↓	0.4219	>0.05
			2011—2021 年	58.61±2.27		0.0387		0.3241	<0.05
康乐镇	643.85	1100.85	2000—2010 年	56.48±3.20	↑	0.0566	↓	0.4769	>0.05
			2011—2021 年	61.31±2.31		0.0376		0.3940	<0.05
大河乡	662.97	1786.32	2000—2010 年	36.20±3.18	↑	0.0877	↓	0.4827	>0.05
			2011—2021 年	41.70±3.06		0.0734		0.4030	<0.05
祁丰藏族乡	2659.97	2045.05	2000—2010 年	22.55±2.55	↑	0.1130	↓	0.4654	<0.05
			2011—2021 年	27.22±2.35		0.0864		0.4499	<0.05
山丹马场	—	—	2000—2010 年	67.67±3.62	↑	0.0535	↓	0.3244	>0.05
			2011—2021 年	71.90±2.99		0.0415		0.7785	<0.05

2000—2010 年指草原补奖政策实施前,2011—2021 年指草原补奖政策实施后

基于牧户调研和管理部门访谈资料系统梳理河西走廊商品饲草输出路径(图 2)。具体来说,祁连山东部牧区(门源、天祝等)人工饲草供应以石羊河灌溉农区(民勤、凉州、古浪、永昌、金川等)为主,牧户提到最多的饲草输入地为武威市凉州区,调查出现频次占比为 34.78%;祁连山中部牧区(肃南、祁连、天峻等)人工饲草供应以北大河-黑河灌溉农区(山丹、民乐、高台、甘州、临泽、肃州、金塔、嘉峪关等)为主,牧户提到的饲草输入地主要为张掖市下辖县区,其中甘州、山丹和高台的出现频次占比分别为 34.67%、13.33%和 10.67%;祁连山西部牧区(肃北、阿克塞等)人工饲草供应以疏勒河-党河灌溉农区(玉门、敦煌、瓜州等)为主,玉门、敦煌、瓜州作为饲草输入地被农户提到的频次占比分别为 25.00%、25.00%和 16.67%。概括来看,河西走廊饲草产业基地包括武威绿洲饲草产业带、张掖-酒泉绿洲饲草产业带和玉门-敦煌绿洲饲草产业带,分别对应石羊河绿洲、黑河-北大河绿洲和疏勒河-党河绿洲。需要指出的是,河西走廊种植业内部结构中粮食比例偏高^[34],这也为发展饲草种植业提供了有利条件和可能性。伴随畜牧业产业分工精细化、市场化的调控,在祁连山“草-畜-人”人地关系地域系统中,牧民复合型、多元化的生计方式^[40–41]正在形成和发展,外购草料、舍饲养殖等新型生计路径在草原牧区得到普遍推广,这也为河西走廊发展饲草种植业提供了外销市场。可见,在生产实践层

面构建以河西走廊为核心的优质饲草种植产业带,延伸牧草种植、加工、销售、研发产业链,提升河西走廊“陇草”品牌影响力,培育辐射祁连山乃至西北牧区的饲草产业示范高地迎来了发展机遇期。

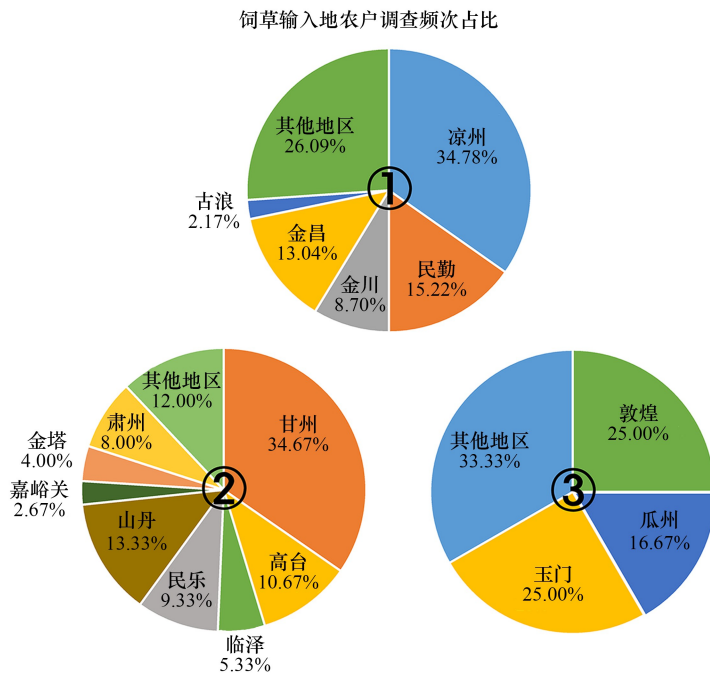
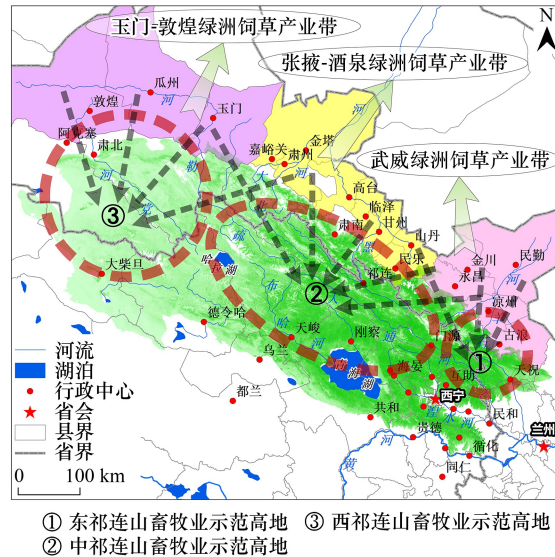


图2 河西走廊商品饲草输出路径示意

Fig.2 Illustration of the commercial forage export pathway in the Hexi Corridor

2.3 生活视角下牧户生计策略实践探索论证

2.3.1 祁连山牧区牧户特征及生计方式

祁连山牧区牧户调查人口学特征显示(表3),祁连山地区牧民民族有藏族、裕固族、蒙古族、回族、土族、汉族等民族,牧户类型可以划分为传统牧业户和生态移民户,其中生态移民户为祁连山国家级自然保护区核心区和祁连山国家公园核心保护区迁出的生态移民。从家庭人数来看,传统牧业户和生态移民户平均每户家庭人口为4.44人/户和4.38人/户,表现为三代同堂的大家庭占主体地位;从生计方式来看,传统牧业户生计类型主要包括草原放牧和国家补助,生计多样化指数为2.22,生计方式单一,生计能力脆弱。生态移民户生计

类型主要为外出务工、舍饲养殖和国家补助,生计多样化指数为 2.69,生计方式较为多元化,生计策略较为灵活,具备一定抵御生计风险的能力;从人均毛收入来看,2021 年传统牧业户人均毛收入为 3.2755 万元,生态移民户人均毛收入为 2.1494 万元,畜牧业收入是当地牧户的主要收入来源,牲畜存栏数量直接影响牧民收入,生态移民户致富诉求强烈,但外出务工人员大多数从事建筑、餐饮等低收入行业,生计技能水平较低,致富能力不足。

表 3 被访牧户生计特征

Table 3 Livelihood characteristics of pastoral households interviewed

类型 Type	数量 Quantity/household	家庭人口数 Population of households/persons	生计多样化指数 Livelihood diversification index	人均毛收入 Per capita gross income/10 ⁴ yuan
传统牧业户 Traditional pastoralists	112	4.44	2.22	3.2755
生态移民户 Eco-migrant pastoralists	21	4.38	2.69	2.1494

2.3.2 农户访谈视角下执行草畜平衡政策的微观调查证据

典型牧户执行草畜平衡政策案例分析表明(表 4),对照祁连山牧区现行载畜量核算标准,2021 年草畜平衡区可利用草原实际载畜量均高于理论载畜量,牧业户 A、牧业户 B、牧业户 C、牧业户 D 的可利用草原超载率分别是 76.00%、11.50%、66.06%和 180.05%,这与张福平等^[42]研究认为祁连山天然草地超载率为 149.22%的结果相互印证。为了实现草畜动态平衡,牧户主要通过购买草料、流转草原、异地借牧、人工种草等多元化生计策略,补充天然草地生产力基本恒定不变的状况,进而提高收入和促进生计可持续发展。

表 4 典型牧户草畜动态平衡生计策略

Table 4 Livelihood strategies for the dynamic balance of grass and livestock of the typical pastoralist

典型牧户 Typical pastoralist	可利用草 原面积 Available grassland area/hm ²	理论载畜 量/羊单位 Theoretical carrying capacity/ sheep unit	实际载畜 量/羊单位 Actual carrying capacity/ sheep unit	超载率 Overloading rate/%	草畜动态平衡方式 Dynamic balance of grass and livestock				
					舍饲养殖 Forage breeding		流转草原 Transfer grassland/hm ²	异地借牧 Borrowing grazing/hm ²	人工种草 Artificial grass planting/ hm ²
					饲草 Forage grass/kg	饲料 Fodder/kg			
传统牧业户 A Traditional pastoralist A	220.43	425	748	76.00	20000	15000	—	—	0.60
传统牧业户 B Traditional pastoralist B	117.12	226	252	11.50	15000	10000	27.14	—	—
传统牧业户 C Traditional pastoralist C	56.55	109	181	66.06	28000	10000	—	134.00	—
传统牧业户 D Traditional pastoralist D	49.45	95	267	180.05	46000	10000	71.42	32.56	—
生态移民户 E Eco-migrant pastoralist E	—	—	37	—	4320	3700	—	—	0.27

从被访牧户调研分析发现(图 3),牧户扩大畜牧业生产规模的生计策略主要包括外购草料、人工种草、流转草原和异地借牧(秸秆补饲)等外界物质能量输入路径。其中,2021 年传统牧业户和生态移民户中外购草料牧户比例分别为 100%和 61.90%,传统牧业户和生态移民户外购草料平均支出分别为 2.83 万元/a 和 3.07 万元/a。通过外界物质能量输入路径作为“虚拟草场”拓宽生产资料来源,增加了饲草总量,成为牧户生计策略选择的基础性路径。草地畜牧业收入直接关系到当地牧户生计能力和生活质量,牲畜存栏数量和出栏率直接关系到牧民的收入水平。1983 年“包产到户”政策实施以来,祁连山地区牧户承包的草地资源基本维持不变,草地资源是重要的生产资料且为固定常量,牧民为了提高收入增加载畜量,造成天然草地超载过牧,多地出现了草原退化现象。显然,这是一种不可持续的生计方式。2011 年进行“草畜平衡”时代以来,可利用草原面积和理论载畜量作为固定常量不变的情况下,依靠“虚拟草场”作为新增变量提高了实际载畜量,成为牧户

提高生计能力的必然路径,这很好地解释了祁连山地区实际载畜量超载,但祁连山地区植被覆盖度反而呈现波动增加的变化事实。

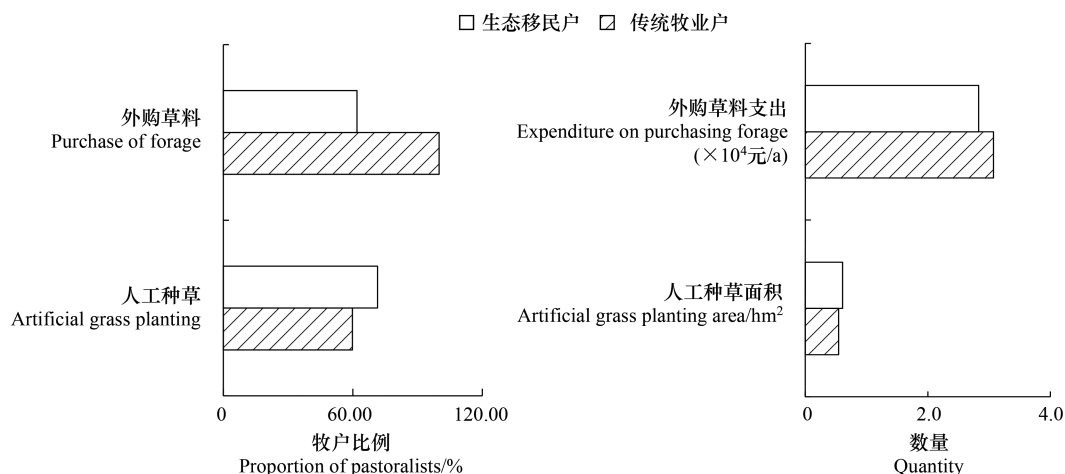


图3 被访牧户外购草料和人工种草统计

Fig.3 Statistics on purchased forage and artificially planted grass by the interviewed pastoralists

2.3.3 管理部门调研视角下落实草畜平衡政策的案例追踪

典型乡镇草地畜牧业调研分析发现(图4),祁连镇和毛藏乡按照草原生态保护补助奖励政策实施方案将可利用草原划定为禁牧区和草畜平衡区。在村域尺度上,华山村的禁牧草原面积最大,为79.44 km²,毛藏村的草畜平衡草原面积最大,为79.48 km²。天山村的可利用草原面积全部为禁牧区,祁连村的可利用草原禁牧比重最小(10.50%);在现行载畜量核算标准下所有行政村实际载畜量均大于理论载畜量,出现了不同程度的超载情况,其中祁连村超载率最小(14.65%),石达坂村超载率最大(655.58%),毛藏乡和祁连镇的可利用草原面积超载率分别是95.01%和158.38%;为了对标现行草畜平衡政策,所有行政村均采取外购草料补饲方式维持畜牧业生产平衡,其中祁连村外购草料最多(74.10×10⁴ kg),泉台村外购草料最少(9.20×10⁴ kg)。董海宾等^[43]研究也证实了外购草料降低了天然草地载畜率,缓解了天然草场生态压力。除天山村外,其余行政村均有人工牧草地,人工种草面积在0.12—0.66 km²。可见,基于乡镇尺度的调研映射出祁连山地区天然草地开发利用强度大,超载程度较为严重,与莫国兴等^[44]的研究结果一致。因此,借助外界物质能量输入路径的“虚拟草场”模式,促进了畜牧业生产资料的优化配置和时空匹配,成为祁连山牧区实现草畜平衡的优选路径。

3 实践启示:山地-绿洲“共轭型”生态牧场概念框架

3.1 祁连山牧区草畜平衡发展模式内涵及实践探索

祁连山牧区牧户实现草地平衡的生计模式内涵如图5所示。概括起来,牧户生计策略主要是借助外界物质能量输入路径的“虚拟草场”模式,包括外购草料、舍饲养殖、人工种草、异地借牧(秸秆补饲)和流转草原等路径措施。“虚拟草场”模式将祁连山和河西走廊链接起来,河西走廊饲草种植业为祁连山草地畜牧业发展提供了生产资料,成为支撑祁连山草地畜牧业发展的“共轭空间”。在祁连山草地资源数量基本恒定且作为常量不变的基础上,拓展“虚拟草场”作为变量,增加了祁连山发展畜牧业所需生产资料的基数,在严格执行草畜平衡政策背景下延展了祁连山牧区的实际载畜量,为提升牧民生计能力和增加收入创造了可能性。具体来说,购买草料的舍饲养殖路径是牧户实现草畜动态平衡的主导方式和主要生计替代策略,牧民通过购买河西走廊种植的燕麦、苜蓿、玉米等青贮饲草,弥补实际载畜量超载带来的饲草不足现状,降低天然牧场的开发利用强度;流转草原主要是劳动力富足的放牧大户通过承包流转其他牧户草场扩大载畜量的生计路径;异地

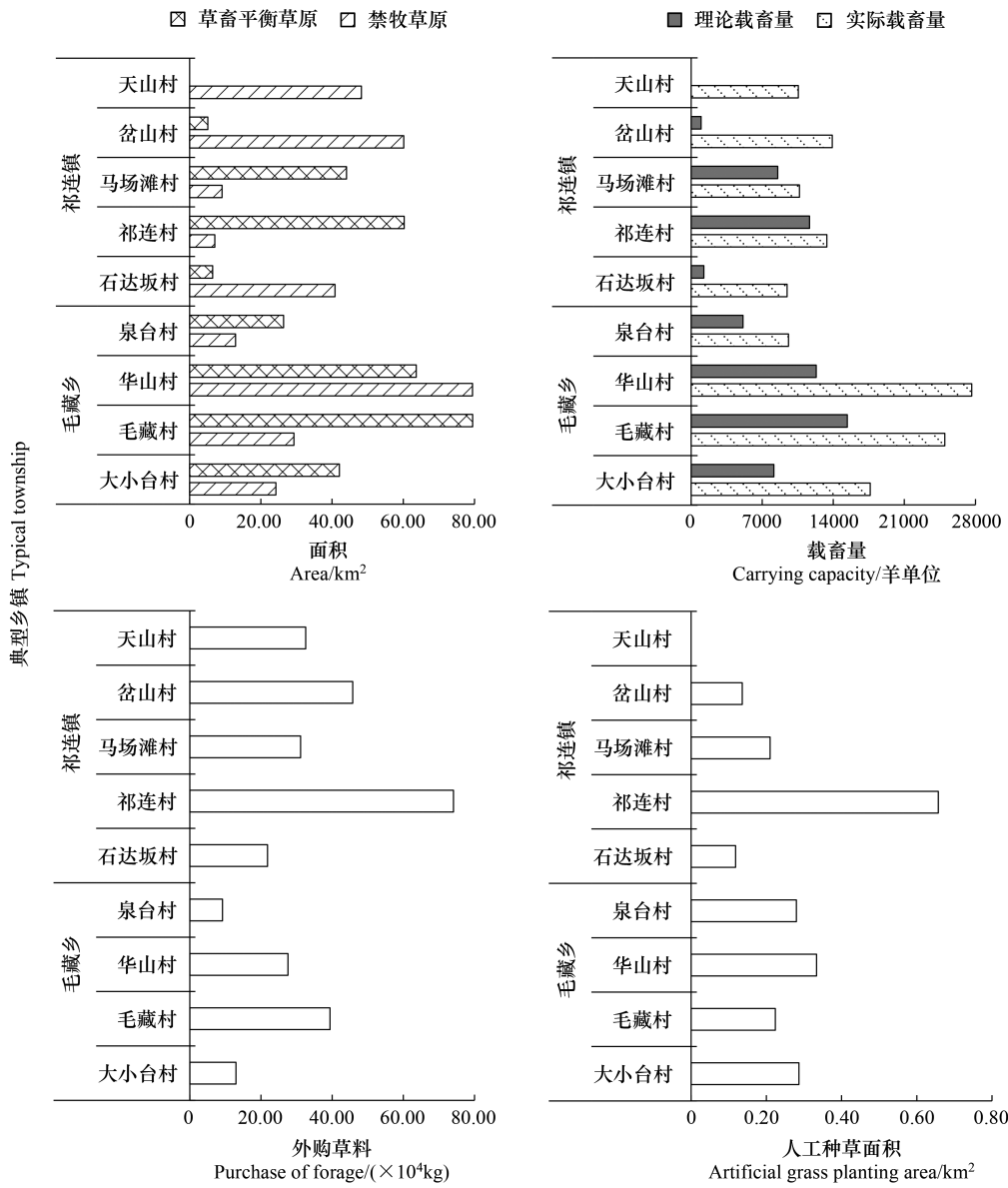


图 4 祁连山牧区典型乡镇草畜动态平衡统计

Fig.4 Statistics on the dynamic balance of grass and livestock in typical townships in the Qilian Mountains pastoral area

借牧(秸秆补饲)指的是秋冬季将祁连山牧区的放牧家畜运往河西走廊农业区休耕地放养的冷季补饲方式,如玉玉米秸秆地放牧、苜蓿留茬地放牧,肃南县的“百万牲畜下川区”属于该生计路径;人工种草主要是牧户定居点周边(一般为冬季草场附近)种植燕麦的庭院模式,每户牧民的种植规模较小但在祁连山牧区较为常见。

具体来看,祁连山牧区牧户生计模式包括传统牧业户草畜平衡模式和生态移民户禁牧搬迁模式。在传统牧业户中,牧户依赖于天然草地的自然再生产属性延续了天然草场放牧路径,这种生产方式支撑了草原牧区数千年的发展^[45]。在严格落实草原生态补奖政策、实现祁连山草畜平衡的背景下,牧户为了执行天然草场载畜标准需要减少现有放牧家畜数量,缩小天然草地放牧规模可能造成牧户短期收入减少、维持生计困难。因此,外购草料成为传统牧业户维持可持续生计的必然路径,100%的传统牧业户均需外购草料也证实了这一点。“天然草地放牧+外购草料+生态补偿”路径是传统牧业户的基本生计策略,在市场化配置、政府政策调控的浪潮下、舍饲养殖、人工种草、异地借牧(秸秆补饲)和流转草原等多元化、复合型生计路径也在祁连山牧区得到推广。在生态移民户中,14.29%的牧户通过外出务工实现了牧民身份变迁和生计转型,85.71%的牧户则

是通过购买草料的舍饲养殖模式来维持生计,进而实现牧民身份的延续和文化认同。综上,通过“虚拟草场”模式实现了牧业生产规模扩大,增加了牧民收入,牧户生产生活也得到了保障,是一种迭代创新的牧民可持续性生计策略,也是祁连山牧民探索出的先导性生计经验模式。这种借助外界物质能量输入路径的“虚拟草场”模式,保障了祁连山草地生态质量持续向好,促进了祁连山牧区畜牧业发展向生态化、饲草化的转型,提高了牧户对抗生计风险的能力,维持了牧户的可持续生计,实现了立足生态优先背景下祁连山畜牧业发展“超载不过牧”。

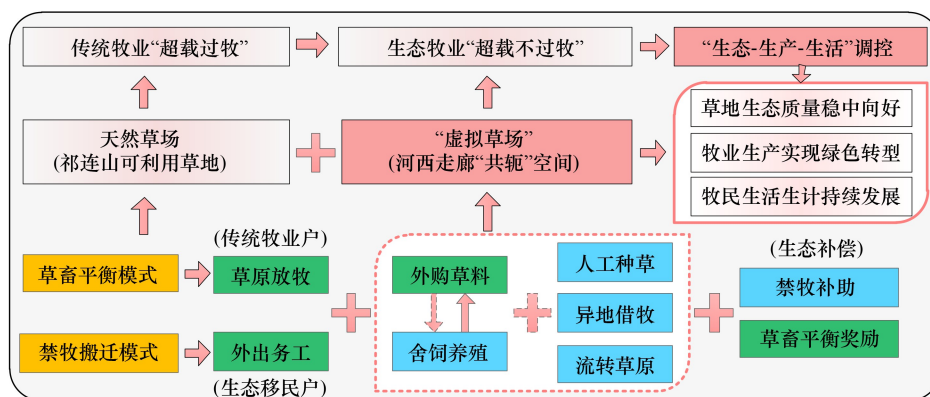


图5 祁连山牧区牧户生计典型模式

Fig.5 Typical patterns of pastoralist livelihoods in the Qilian Mountains pastoral areas

绿色表示必选,蓝色表示可选,橙色表示牧户生计策略

3.2 祁连山-河西走廊“共轭空间”生态系统服务流理论指导及借鉴思考

近年来,越来越多的学者^[46-48]开始关注生态系统服务流研究,逐渐聚焦生态系统服务供给和需求时空匹配、流动过程及协同权衡研究。生态系统服务流理论作为生态系统服务供给区和受益区时空链接描述的桥梁和纽带,实现了生态系统服务空间位移的具象化、可视化表征,把自然生态系统与人类社会系统链接起来,有助于反映生态资源的空间配置和供需结构,实现生态资产合理和精准利用,集成生态系统服务付费和生态补偿政策,支撑管理者决策与权衡,已成为生态系统服务研究的重要议题。

本研究情景中,祁连山-河西走廊地域系统包括西祁连山山地系统-安西敦煌盆地绿洲系统、中祁连山山地系统-酒泉张掖盆地绿洲系统、东祁连山山地系统-武威盆地绿洲系统(图6)。从生态系统服务流视角看,祁连山山地系统每年有 $72.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的出山径流通过石羊河、黑河、疏勒河三大内流河水系流入河西走廊^[49],三大流域总体呈现“上游水资源供给,下游防风固沙”的生态系统服务功能分布格局。其中,2018年石羊河流域水供给服务的总产水量为 $2.39 \times 10^9 \text{ m}^3$,上游天祝县、肃南管辖区产水能力较强^[50]。可见,“富水”的祁连山生态价值盈余潜力巨大,生态系统服务价值溢出效应显著,承担着维系生态功能与生产效益权衡的“源头责任”。祁连山山地系统是生态系统服务的供给区,河西走廊绿洲系统是生态系统服务的受益区,河流水系则是生态系统服务的链接区。祁连山山地系统是河西绿洲系统生态安全的基础,维系着关键生态系统服务的供给,祁连山与河西走廊通过人流、能流、物流(水流)、生命流、价值流、信息流和文化流串联起来,二者组成了“共轭空间”地域系统,其与周边广袤的荒漠共同构成“生态地理综合体”。

目前,祁连山地区步入了生态畜牧业发展时代,然而生态生产协同发展模式尚不明晰,可供操作的国土空间生态协同治理路径尚未形成。在战略规划层面,“绿水青山就是金山银山,冰天雪地也是金山银山”和“山水林田湖草沙冰”一体化保护和系统治理理念逐渐达成共识,为祁连山-河西走廊地域系统构建“共轭型”空间治理模式提供了启示和思考;在理论支撑层面,生态系统服务流概念、草地农业^[24]或草牧业^[37]理念、山地-绿洲-荒漠系统(mountain-oasis-desert system, MODS)“生态地理单元综合体”等提供了一种解读人地系统耦合效应的思考维度和研究范式,有益于推进山地冰冻圈与人类社会(人类圈)耦合机制研究,而祁连山-河西走

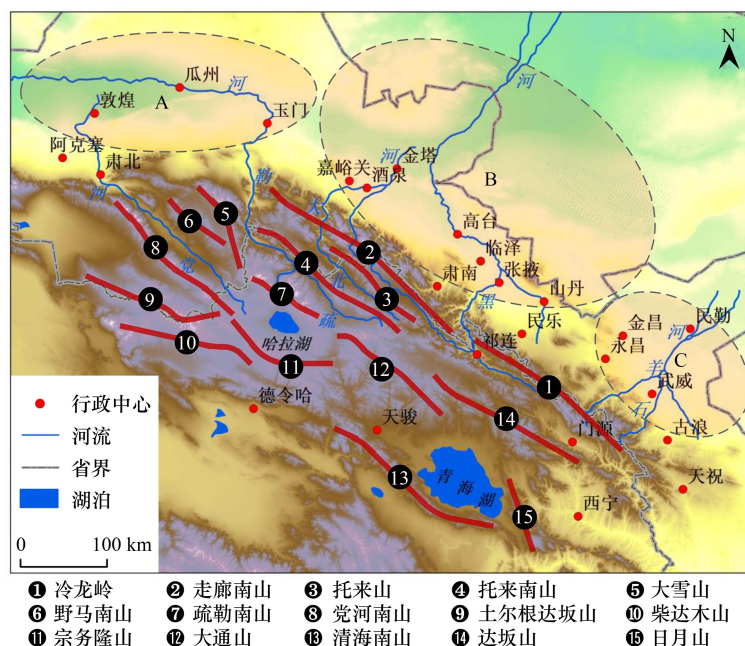


图6 祁连山-河西走廊“共轭空间”地域系统

Fig.6 “Conjugate space” regional system of the Qilian Mountains-Hexi Corridor

廊地域系统作为 MODS 关键生态系统服务多尺度识别的天然场所,可为辨析山地-绿洲“共轭型”生态牧场概念框架提供理论支撑;在技术操作层面,依据生态和经济规律设计的农牧耦合系统是支撑草地畜牧业和饲草种植业可持续发展的重要途径^[51],基于“虚拟草场”的祁连山牧户生计策略经验模式成为推进祁连山-河西走廊地域系统生态保护和高质量发展的重大实践,是山地-绿洲“共轭型”生态牧场模式的先导性实践创新。

3.3 祁连山-河西走廊“共轭型”生态牧场模式基本释义及启示意义

从中国三大自然区来看,祁连山-河西走廊地域系统地处青藏高寒区和西北干旱半干旱区的过渡地带,受亚洲季风和中纬度西风环流共同影响,对气候变化的响应敏感^[52],生境质量时空变化复杂且脆弱,是阐述山地-绿洲“共轭型”生态牧场概念框架的理想场所,可以丰富人地系统耦合格局与机理研究。一方面,祁连山山地自然生态系统属于大陆性高寒半湿润山地气候,生态系统独具特色,自然景观类型多样,高寒草地资源丰富,是传统的牧业区;在生态学意义上祁连山是一个具有明显高原地带性和地理地缘特征绿色半岛,在气象学意义上祁连山是我国东部湿润地区伸入西北荒漠中的一个湿岛。另一方面,河西走廊绿洲社会经济系统属于温带大陆性干旱气候,地形平坦开阔,耕地资源丰富,依靠祁连山的冰雪融水而成为我国重要的灌溉农业区;从生态地理格局看河西走廊绿洲系统是我国东部农区向西部牧区延伸的一个狭长绿洲灌溉农业走廊。

概括来说(图7),山地-绿洲“共轭型”生态牧场包括祁连山草地畜牧业、河西走廊饲草种植业、“虚拟草场”三个子系统,祁连山山地系统向河西走廊绿洲系统供给生态系统服务(淡水资源供给)以支撑河西走廊绿洲系统饲草种植业发展,将绿洲牧草产业基地拓展为支撑祁连山草地畜牧业发展的“共轭空间”,再借助“虚拟草场”模式和市场化机制,通过物质流、能量流和信息流将祁连山牧业系统和河西走廊农业系统有机链接起来,既维持祁连山草地生态功能,又增加祁连山及河西走廊农牧民收入,通过重构祁连山-河西走廊“生态-生产-生活”多功能协同均衡机制,实现了祁连山草地生态保护和畜牧业高质量发展。山地-绿洲“共轭型”生态牧场通过寻求祁连山天然草地(物理实体空间)、河西走廊饲草产业基地(域外实体空间)和“虚拟草场”(虚拟空间)的多维耦合、虚实交融和同生共存,实现祁连山-河西走廊农牧耦合系统的资源共享、优势互补和

效益联动。

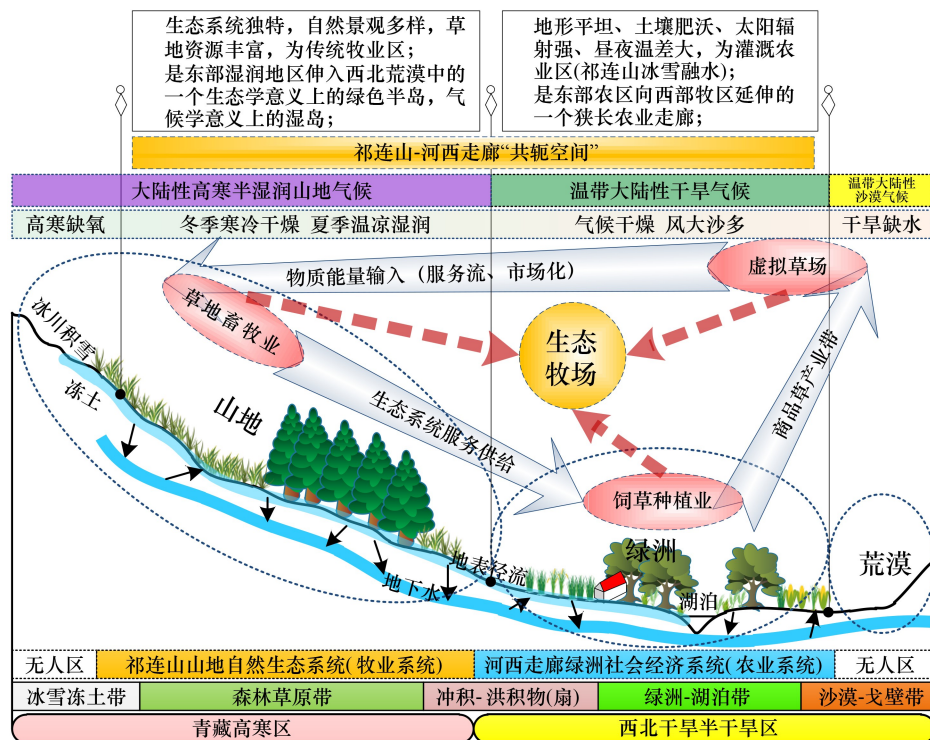


图 7 祁连山-河西走廊“共轭型”农牧耦合系统

Fig.7 Qilian Mountains-Hexi Corridor “conjugate” agro-pastoral coupled system

“三生空间”视角为诠释祁连山与河西走廊“共轭型”生态牧场概念框架及发展模式提供了明确方向。图 8 为山地-绿洲“共轭型”生态牧场模式路径。从生态视角看,祁连山高寒山区将降水、高山积雪冰川融水通过河流水系汇入河西走廊干旱区的平原绿洲,祁连山山地生态系统为河西走廊绿洲生态系统提供了淡水资源供给服务,属于定向服务流。祁连山山地生态系统通过调节气体、调节气候、净化环境、涵养水源、保持水土等将调节服务外溢至河西走廊绿洲人类社会系统。从生产-生活视角看,草地资源是支撑草地畜牧业发展的重要生产资料,是祁连山牧民生计的基础。祁连山牧业系统通过发展草地畜牧业将食物生产(牛羊肉、乳品等畜产品)、原料生产(牛羊毛、皮革等)等供给服务传递到牧区社会系统及其辐射范围其他社会系统,主要表现为原位服务流和全向服务流。祁连山牧区牧民生计主要依赖于高寒草地资源,放牧是牧民利用草地资源的主要方式^[53],牧民发展致富诉求和追求高品质生活的愿望极为强烈。借助外界物质能量输入路径作为“虚拟草场”增加了牧户生产资料,提高了畜牧业生产收益,维持了牧户可持续生计。在“粮改饲”政策指引下,河西走廊绿洲农业区农民可通过种植青贮饲料定向供给祁连山牧区,发展绿洲饲草种植业兼顾了生态和生产^[54]。河西走廊是高产优质牧草的重要生产区,草业企业的带动和外界资本的流入成为推动牧草种植、加工、销售、研发等产业化发展的重要驱动力,为饲草种植业规模化、集约化发展提供了机制支撑。

由此可见,在生态系统服务流“三生”多功能耦合机制指导下,基于“虚拟草场”路径的山地-绿洲“共轭型”生态牧场模式,深入刻画草地生态功能与生产效益的协同权衡,是祁连山-河西走廊实现生态保护和高质量发展的破题之策。通过“虚拟草场”外界物质能量输入路径重构了“生态-生产-生活”多功能调控机制,实现了祁连山草地畜牧业由超载过牧到“超载不过牧”的跨越式转型。山地-绿洲“共轭型”生态牧场作为农牧耦合复合系统,通过构建祁连山草地畜牧业和河西走廊种植业关联的社会组织体系,实现了自然生态系统和社会经济系统、牧业系统和农业系统的联动互助、效益共享、同生共荣,是一种依据自然规律和经济规律探索出的迭代创新式生态牧场模式。

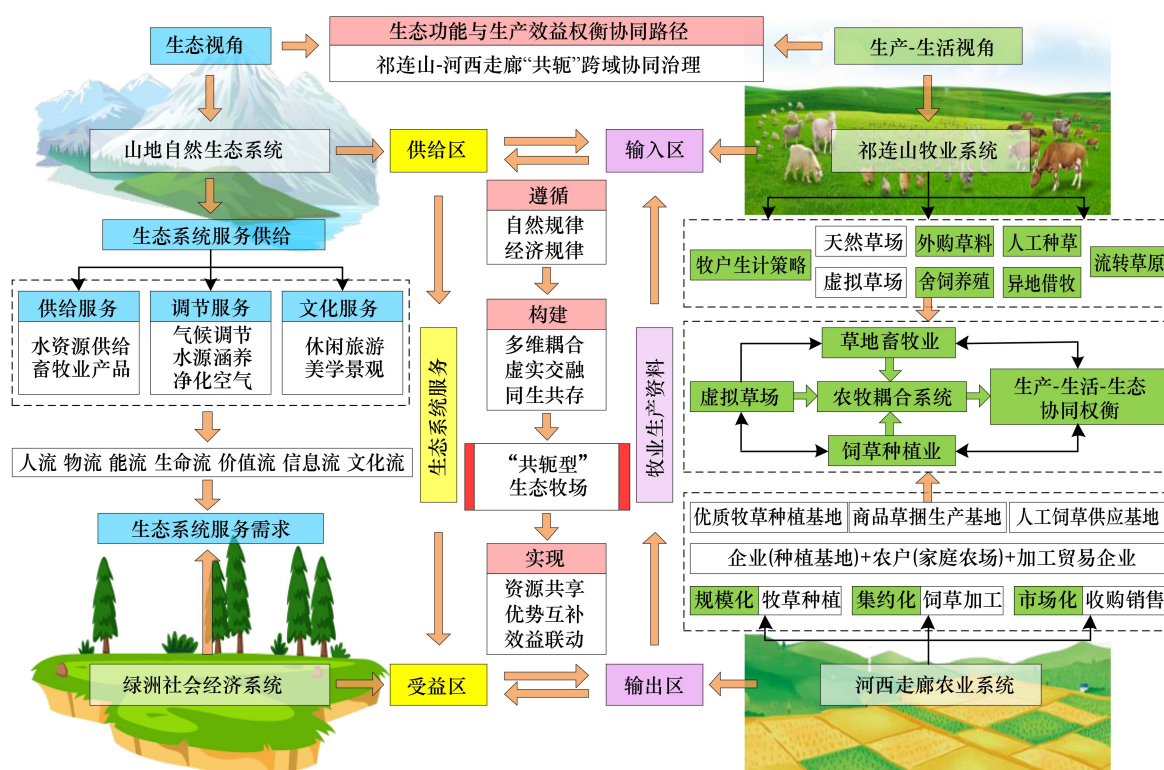


图8 山地-绿洲“共轭型”生态牧场模式

Fig.8 Mountain-oasis “conjugate” ecological pasture model

4 结论

基于牧户访谈、管理部门调研论证分析,从“三生”视角厘清祁连山牧区草地畜牧业、河西走廊农区饲草种植业、牧户生计路径策略的历史源起及发展历程。在此基础上廓清研究思路、冲破思维制约,以“虚拟草场”为载体深入刻画祁连山与河西走廊的空间联系,在生态系统服务流理论指导下提出了祁连山-河西走廊“共轭型”生态牧场概念框架与发展模式,以期促进祁连山-河西走廊地理“共轭空间”生态保护和高质量发展带来有益启示。主要研究结论如下:

第一,2000—2021年祁连山国家公园中东部(天祝、肃南、山丹马场)植被覆盖度总体上呈波动增加趋势,植被覆盖度增加速率为0.42%/a,特别是2011年“草原补奖政策”实施以来植被覆盖度增加显著,2017年以来祁连山草地畜牧业进入了“生态生产协同发展”的生态型新阶段。第二,河西走廊发展饲草种植业资源禀赋优良,顺应自然规律,契合政策要求,具备区位优势。河西走廊饲草产业基地为祁连山牧区供应饲草已是发展事实,提升河西走廊“陇草”品牌影响力,培育辐射祁连山乃至西北牧区的饲草产业示范高地迎来发展机遇期。第三,牧户访谈微观证据和乡镇调研数据追踪映射出祁连山牧区实际载畜量超过了现行草畜平衡载畜标准。外购草料、人工种草、流转草原和异地借牧(秸秆补饲)等成为牧户实现可持续性生计的基础性路径策略。借助外界物质能量输入路径的“虚拟草场”模式,促进了畜牧业生产资料优化配置和时空匹配,实现了祁连山草地畜牧业由超载过牧到“超载不过牧”的跨越式转型。

一方面,在祁连山-河西走廊“草-畜-人”人地关系地域系统中,祁连山山地天然草地是物理实体空间,河西走廊绿洲饲草种植是支撑祁连山生态畜牧业发展的“共轭空间”,人流、能流、物流(水流)、生命流、价值流、信息流和文化流是链接祁连山(物理实体空间)、河西走廊(域外实体空间)和“虚拟草场”(虚拟空间)的载体和媒介,祁连山-河西走廊“共轭型”生态牧场模式实现了人地系统耦合格局与机理研究的具象化表达,通过物理实体和虚拟世界将祁连山牧业系统和河西走廊农业系统有机联系起来,是复杂系统耦合分析与系统集成研

究的一次实践诠释。另一方面,山地-绿洲“共轭型”生态牧场包括草地畜牧业、饲草种植业、“虚拟草场”三个子系统,通过构建子系统间的多维耦合、虚实交融和共生共存,准确识别了山地-绿洲“共轭空间”联动互助、效益共享、共生共荣的耦合机制,提出了祁连山生态牧场空间治理模式的概念框架和发展模式,是人地系统耦合机理、演变过程及综合效应研究工作中的一项尝试性论证案例,为国土空间跨区生态协同治理路径提供可借鉴的模式方案。

山地-绿洲“共轭型”生态牧场空间治理模式是跨区生态协同治理的“祁连山样本”,既丰富了生态协同治理理论研究,也提高了跨区协同在环境保护议题之中的解释力。在“共轭空间”地域系统中,山地、绿洲存在差异性、互补性,从资源禀赋产业支撑、生产资料时空匹配、市场调控机制等方面探究山地-绿洲“共轭型”生态牧场的实现路径应是今后探索的方向。科技工作者应密切关注山地-绿洲“共轭型”生态牧场的实践探索和模式创新,及时归纳和总结生态牧场“草-畜-人”人地关系地域系统协调与高质量发展的实现路径,以便更好服务于祁连山国家公园时代的开启。

参考文献(References):

- [1] 邹利林,章丽君,梁一凡,文琦.新时代国土空间功能的科学认知与研究框架.自然资源学报,2022,37(12):3060-3072.
- [2] 王有小,刘少坤,陆汝成,林树高,梁庆璇,包博建.“三生”空间视角下近40a广西边疆地区景观生态风险及地形梯度分析.生态与农村环境学报,2021,37(12):1586-1595.
- [3] 勾蒙蒙,刘常富,李乐,肖文发,王娜,胡建文.“三生空间”视角下三峡库区土地利用转型的生态系统服务价值效应.应用生态学报,2021,32(11):3933-3941.
- [4] 张永蕾,栾乔林,熊昌盛,刘学.基于多源空间数据的“三生”空间异质性评价与分区划定.农业工程学报,2021,37(10):214-223,317.
- [5] 本刊特约评论员.高质量发展离不开空间治理现代化.中国科学院院刊,2020,35(7):793-794.
- [6] 乔斌,曹晓云,孙玮婕,高雅月,陈奇,于红妍,王喆,王乃昂,程弘毅,王义鹏,李甫,周秉荣.基于生态系统服务价值和景观生态风险的生态分区识别与优化策略——以祁连山国家公园青海片区为例.生态学报,2023,44(3):986-1004.
- [7] 王德利,王岭.草地管理概念的新释义.科学通报,2019,64(11):1106-1113.
- [8] 乔斌,张彦仁,何彤慧.精准扶贫背景下自然保护区周边社区发展路径构建——基于宁夏党家岔湿地自然保护区的案例论证.资源开发与市场,2018,34(5):633-637.
- [9] 武俊喜,潘影,李振男,张燕杰,赵忠旭,张宪洲,余成群.基于NPP分配的生产和生态功能协同提升模式——以西藏拉萨河谷半农半牧村为例.生态学报,2021,41(11):4596-4605.
- [10] 孙颖,易浪,尹少华.洞庭湖流域植被覆盖变化及其协同治理.经济地理,2022,42(4):190-201.
- [11] 付荣,路冠军.内蒙古草原生态安全风险的跨行政区协同治理研究.农村经济与科技,2022,33(15):18-20.
- [12] 肖攀,苏静,董树军.跨境生态环境协同治理现状及应对路径研究.湖南社会科学,2021(5):92-99.
- [13] 于贵瑞,张雷明,张扬建,杨萌.大尺度陆地生态系统状态变化及其资源环境效应的立体化协同联网观测.应用生态学报,2021,32(6):1903-1918.
- [14] 张少尧,邓伟,胡茂桂,张昊,王占韵,彭立.山区过渡性地理空间人文自然交互性识别与分异解析.地理学报,2022,77(5):1225-1243.
- [15] 李新,勾晓华,王宁练,盛煜,金会军,祁元,宋晓谕,侯扶江,李育,赵长明,邹松兵,王宏伟,郑东海,陈莹莹,牛晓蕾.祁连山绿色发展:从生态治理到生态恢复.科学通报,2019,64(27):2928-2937.
- [16] 李双成,张文彬,陈立英,梁泽,张雅娟,王铮.孪生空间及其应用——兼论地理研究空间的重构.地理学报,2022,77(3):507-517.
- [17] 陈明星,梁龙武,王振波,张文忠,余建辉,梁宜.美丽中国与国土空间规划关系的地理学思考.地理学报,2019,74(12):2467-2481.
- [18] 周昱辰,尹丹,黄庆旭,张玲,白岩松.基于生态系统服务参与式制图的“三生”空间优化建议——以白洋淀流域为例.自然资源学报,2022,37(8):1988-2003.
- [19] 樊杰.我国“十四五”时期高质量发展的国土空间治理与区域布局.中国科学院院刊,2020,35(7):796-805.
- [20] 乔斌,何彤慧,苏芝屯.典型生态保育区农户对环境变化的感知研究——基于宁夏党家岔湿地自然保护区的农户调研.干旱区资源与环境,2019,33(1):65-71.
- [21] 赵慧芳,曹晓云.三江源国家公园植被覆盖时空变化及其气候驱动因素.高原气象,2022,41(2):328-337.
- [22] 祝存兄,史飞飞,乔斌,张娟,陈国茜.基于高分1号卫星数据的青海湖扩张及湖滨沙地变化特征分析.干旱区研究,2022,39(4):1076-1089.

- [23] 潘庆民, 薛建国, 陶金, 徐明月, 张文浩. 中国北方草原退化现状与恢复技术. 科学通报, 2018, 63(17): 1642-1650.
- [24] 任继周, 胥刚, 李向林, 林慧龙, 唐增. 中国草业科学的发展轨迹与展望. 科学通报, 2016, 61(2): 178-192.
- [25] 张新时, 唐海萍, 董孝斌, 李波, 黄永梅, 龚吉蕊. 中国草原的困境及其转型. 科学通报, 2016, 61(2): 165-177.
- [26] 钱政成, 武丽雯, 王加亭, 闫敏, 李平. 草原生态保护补助奖励政策实施效果评价——基于 CNKI 数据库的计量分析. 中国草地学报, 2021, 43(8): 83-92.
- [27] 胡振通, 柳荻, 靳乐山. 草原生态补偿: 生态绩效、收入影响和政策满意度. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(1): 165-176.
- [28] 李志东, 刘某承. 我国草原生态保护补助奖励政策效应评价研究进展. 草地学报, 2021, 29(6): 1125-1135.
- [29] 杨旭东, 杨春, 孟志兴. 我国草原生态保护现状、存在问题及建议. 草业科学, 2016, 33(9): 1901-1909.
- [30] 韩天虎, 王汝富, 王俊梅. 甘肃发展草产业优势分析及对策. 草业科学, 2005, 22(9): 66-70.
- [31] 董世魁, 唐芳林, 平晓燕, 杨秀春, 杨智, 林长存, 卢欣石, 王铁梅, 纪宝明, 徐斌, 苏德荣. 新时代生态文明背景下中国草原分区与功能辨析. 自然资源学报, 2022, 37(3): 568-581.
- [32] 周道玮, 王婷, 王智颖, 李强, 黄迎新. 中国草地农业气候分区及其饲草栽培适宜性. 地理科学, 2020, 40(10): 1731-1741.
- [33] 高菲, 王铁梅, 卢欣石. 2021 年我国商品饲草生产形势分析与 2022 年趋势展望. 畜牧产业, 2022(3): 32-37.
- [34] 贺访印, 王继和, 胡明贵. 河西走廊苜蓿产业的可持续发展. 草业科学, 2000, 17(5): 41-44, 48.
- [35] 魏翔, 景建丽. 南志标: “草地农业”是甘肃发展现代农业的新方式. 甘肃农业, 2020(11): 5-10.
- [36] 郭婷, 白娟, 王建国. 刍议我国苜蓿草产业发展现状与对策. 中国草地学报, 2018, 40(4): 111-115.
- [37] 方精云, 耿晓庆, 赵霞, 沈海花, 胡会峰. 我国草地面积有多大? 科学通报, 2018, 63(17): 1731-1739.
- [38] 李新一, 尹晓飞, 周晓丽, 李平. 我国饲草产业高质量发展的对策和建议. 草地学报, 2020, 28(4): 889-894.
- [39] 张聪, 闫慧敏, 姚晓军. 甘南地区草畜平衡动态评估. 自然资源学报, 2022, 37(7): 1903-1917.
- [40] 王海飞, 马瑞丰. 河西走廊传统牧业社会的现代转型与价值观念变迁. 兰州大学学报: 社会科学版, 2022, 50(3): 67-76.
- [41] 何思源, 王博杰, 王国萍, 魏钰. 自然保护区社区生计转型与产业发展. 生态学报, 2021, 41(23): 9207-9215.
- [42] 张福平, 王虎威, 朱艺文, 张枝枝, 李肖娟. 祁连县天然草地上生物量及草畜平衡研究. 自然资源学报, 2017, 32(7): 1183-1192.
- [43] 董海宾, 刘思博, 蒋奇仲, 白海花, 尹燕亭, Bolormaa DAMDINSUREN, 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.
- [44] 莫兴国, 刘文, 孟铨铨, 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.
- [45] 刘刚, 泽柏, 张孝德. 论青藏高原草原生态文明建设. 农村经济, 2015(7): 106-110.
- [46] 马琳, 刘浩, 彭建, 吴健生. 生态系统服务供给和需求研究进展. 地理学报, 2017, 72(7): 1277-1289.
- [47] 刘慧敏, 刘绿怡, 任嘉衍, 卞子亓, 丁圣彦. 生态系统服务流定量化研究进展. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2723-2730.
- [48] 王嘉丽, 周伟奇. 生态系统服务流研究进展. 生态学报, 2019, 39(12): 4213-4222.
- [49] 王静, 尉元明, 郭铤, 张凯, 王小平. 祁连山空中云水资源开发利用效益预测与评估. 自然资源学报, 2007, 22(3): 463-470.
- [50] 刘春芳, 王佳雪, 许晓雨. 基于生态系统服务流视角的生态补偿区域划分与标准核算——以石羊河流域为例. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(8): 157-165.
- [51] 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.
- [52] 李育, 朱耿睿. 三大自然区过渡地带近 50 年来气候类型变化及其对气候变化的响应. 地球科学进展, 2015, 30(7): 791-801.
- [53] 肖建设, 乔斌, 陈国茜, 史飞飞, 曹晓云, 祝存兄. 黄河源区玛多县土地利用和生态系统服务价值的演变. 生态学报, 2020, 40(2): 510-521.
- [54] 任继周. 我国传统农业结构不改变不行了——粮食九连增后的隐忧. 草业学报, 2013, 22(3): 1-5.