

DOI: 10.20103/j.stxb.202308311876

林丽, 李杰霞, 李本措, 兰玉婷, 司梦可, 张法伟, 李以康, 曹广民, 樊博. 祁连山东段南麓高寒嵩草草甸群落特征变化及其与家庭牧场管理的关系. 生态学报, 2024, 44(22): 10106-10118.

Lin L, Li J X, Li B C, Lan Y T, Si M K, Zhang F W, Li Y K, Cao G M, Fan B. Changes in plant community characteristics of alpine *Kobresia* meadow at the south-east Qilian Mountains and the relationship with their family pasture management. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(22): 10106-10118.

祁连山东段南麓高寒嵩草草甸群落特征变化及其与家庭牧场管理的关系

林 丽^{1,2,3}, 李杰霞^{1,2}, 李本措^{1,2}, 兰玉婷^{1,2}, 司梦可^{1,2}, 张法伟^{1,2}, 李以康^{1,2}, 曹广民^{1,2}, 樊 博^{1,2,*}

1 中国科学院西北高原生物研究所 青海海北高寒草地生态系统国家野外科学观测研究站, 西宁 810008

2 中国科学院西北高原生物研究所 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室, 西宁 810008

3 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:以相同地形及气候条件下高寒嵩草草甸关键稳态为研究对象, 对其植物群落数量特征、家庭牧场经营管理特征进行调查分析, 探讨家庭牧场植物群落数量特征同牧场管理之间的耦合关系, 解析导致牧场植物群落特征分异的社会学和经济学根源, 结果表明: (1) 牧民的放牧管理同草地总生产能力及其年际间的稳定性存在关联关系, 过度放牧可以导致植被生产能力降低, 过低放牧强度会导致家庭牧场总收益降低。 (2) 研究区域绝大多数牧民控制草地处于牧草生产能力中等 (优良可食性牧草产量 (129.1 ± 28.3) g/m²)、草地生产能力稳定性 (植物群落地上生物量年际间的变异系数 19.9%) 较高和家庭牧场收益/投资比 (1.69—1.74) 较高的小嵩草草甸草毡表层加厚期。 (3) 家庭牧场经济行为符合小农场经济行为特征, 研究区域家庭牧场草畜平衡补偿金仅占家庭牧场总收入的 0.06%—1.25%, 且该区草畜平衡补偿金同草地所处演替稳态无关。维持草地的高水平生态服务功能需要牺牲一部分牧场经济收入, 导致牧民在牧场经营过程中更注重草地的生产服务价值。因此, 牧民选择小嵩草草甸不同稳态作为该区主流植被是当地牧民对草地畜牧业生产成本和家庭收益权衡的结果。未来畜牧业生产及管理模式应从草地自身特征出发, 依托技术和管理的创新, 以提高草地生产资料、生产关系和生产力之间的匹配度, 同时以增加草地单位面积生产附加值为目标, 从根本上实现草地的可持续发展利用。

关键词:退化草地恢复; 牧区经济发展; 草地退化原因; 高寒嵩草草甸

Changes in plant community characteristics of alpine *Kobresia* meadow at the south-east Qilian Mountains and the relationship with their family pasture management

LIN Li^{1,2,3}, LI Jiexia^{1,2}, LI Bencuo^{1,2}, LAN Yuting^{1,2}, SI Mengke^{1,2}, ZHANG Fawei^{1,2}, LI Yikang^{1,2}, CAO Guangmin^{1,2}, FAN Bo^{1,2,*}

1 Qinghai Haibei National Field Research Station of Alpine Grassland Ecosystem, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China

2 Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China

3 University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China

Abstract: The study selected the key steady stages of alpine *Kobresia* meadow under the same geographical and climatic to

基金项目:青海省科技厅青年项目 (2023-ZJ-967Q); 2023 年度青海省“昆仑英才·高端创新创业人才”培养拔尖人才项目 [青人才字 (2024) 1 号]

收稿日期: 2023-08-31; 网络出版日期: 2024-08-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fanbo@nwipb.cas.cn

conduct field investigation and questionnaire survey on the characteristics of plant communities and economic characteristics of pastures in the Northeast Qing-Tibet Plateau. The reasons and motivations for overgrazing in those pastures were discussed based on the characteristics of plant communities in pastures and income and consumption of those families. The results showed that: (1) More than 50% of herdsmen in the study area controlled the meadow in the succession stage with *Kobresia pygmaea* as dominant species. The income/investment showed a slow fluctuating decline trend with grazing intensity increasing. In this process, the highest point of the income/investment appeared in Gramineae-*Kobresia humilis* meadow steady stage, the lowest point appeared in the *K. humilis* meadow steady stage, and the medium level (1.69—1.74) appeared in *K. pygmaea* meadow steady stage. With grazing intensity increasing, the forage production capacity of the meadow first slowly decreased and then rapidly decreased, and the succession stage with *K. pygmaea* as dominant species had relatively medium forage production ($(129.1 \pm 28.3) \text{ g/m}^2$). 2) Herdsmen's grazing management objectively controlled the capacity of plant community production in stability among different years, and higher stability of the forage production was appeared in the succession stage with *K. pygmaea* as dominant species (interannual variation coefficient of total aboveground biomass was 19.9%). 3) Overgrazing could lead to the reduction of vegetation production and service capacity, so in order to maintain a high level of ecosystem ecological service value required the sacrifice of a part of pasture economic income, and the government compensation for family occupied only 0.06%—1.25% of the total income in the same area with no difference between the succession stages, therefore the combined result of these facts led to weaken the motivation of herders to improve the ecological service function in pastures. Thus, the vast majority of herders controlling the meadows in the stage of *K. pygmaea* meadow was a result of tradeoff in the health of the meadow and the income of the family. Considering the existing forage production and management mode of pasture, restoring pastures to a highest ecological service function could help achieve a win-win situation between its economic and ecological value, and based on the characteristics of meadows, we should rely on the innovation of technology and management to realize the matching degree between the means of production, production relations and productivity of plant communities, and increase the added value of meadows per unit area, then fundamentally realize the sustainable development and utilization of the meadows.

Key Words: grassland restoration; sustainable development in alpine meadows; causes of grassland degradation; Tibet alpine *Kobresia* meadow

草地生态系统占陆地生态系统总面积的 40%,主要用于畜牧业生产^[1]。我国是世界公认的草原大国,其天然草地主要分布于西藏、内蒙古、新疆、青海、甘肃五省^[2],是我国畜牧业生产的重要基地^[3]。高寒嵩草草甸占青藏高原总可利用草地面积的 50%以上,是我国西北地区草地畜牧业生产的主体,其生态和生产服务功能的维持,不但关系到当地农牧民的生产生活,同时对维持区域生物多样性、碳容/碳汇功能、水源涵养、防风固沙,以及维护区域生态安全均具有重要意义^[4]。由于高寒嵩草草甸所处区域海拔高,气候条件恶劣且气候波动频繁^[5-6],导致该区草地生态系统脆弱,一旦退化极难恢复^[7]。

导致高寒嵩草草甸功能退化的原因大体可以归结为气候变化和不合理人类活动。从大的时空尺度上看,气候急剧变化和极端气候事件是造成物种灭绝、稳态转化及系统功能退化的重要原因^[7-8]。自全新世以来,地球总体气候变化趋于平稳,但仍处于一定强度的冷暖交替变化中^[9-10],气候变化可以引起生态系统生产力的急剧变化,其变化的总体趋势表现为:当气候向暖湿化方向演变时,生态系统向生产能力提高的方向演替;当气候向冷干化方向演变时,生态系统向生产能力降低的方向演替^[11-12],但谱系地理学分析发现,高寒嵩草草甸优势种及主要伴生种的形成、扩散及占据目前分布区的时间早于全新世,说明该类植物群落组分对气候变化具有一定的自适应调节能力。尽管 19 世纪 80 年代以来,地球的年均气温和地表温度呈上升趋势,且青藏高原增温速率高于全球平均增温尺度^[12],但研究表明,气候的暖干化对草地总生产能力的影响并非体现在生产力上^[13]。

放牧是青藏高原草地资源最主要的利用模式^[1,14],青藏高原规模化放牧历史悠久^[15]。但受到多种因素的影响,青藏高原在解放前绝大多数时间内人口密度和家畜数量均处于较低水平,客观上维持了该区生态系统的原生原貌^[16-18]。改革开放后,青藏高原全域范围内先后采用了以家庭为基本单元的家庭承包经营或联合经营模式^[19],并实施了以家庭为单位的牧场“定置管理模式”,经过数十年的累积效应,逐步在相同地理和气候单元下形成以围栏为界限的植物群落多稳态共存现象^[20-23]。经典植物地理学理论认为,相同地理单元(海拔高度、坡度、坡向等)和气候条件(水热通量及配比等)下容易形成相同或相似的植被类型,相同地理和气候单元下以围栏为单位的植物群落多稳态共存现象形成的根源是本研究的重点

从草地资源的角度看,青藏高原放牧型畜牧业生产属于劳动密集型产业^[24]。合理放牧强度可以维持草地生产能力稳定和系统养分收支平衡,稳定动物产品输出量,促进草地和放牧家畜的协同健康发展,实现草地经济和有效的可持续利用^[25]。当放牧强度超过草地自然承载力时,草地自稳定性维持能力将被破坏,加之青藏高原所处环境恶劣,草地生态系统自我恢复能力弱,因此长时间高强度放牧必然导致草地下垫面及植物群落数量特征的改变^[26],形成相同地理和气候单元下以围栏为界植物群落的多稳态共存特征^[13]。从牧场经济管理的角度看,导致牧民过度放牧的原因大致可以归结为稀缺与价格、成本与收益、权利与义务的脱节、行为与结果的背离、人口发展与生产力的不匹配、市场调控失效与政府调控失效等^[27-31]。而将两者结合,以不同放牧干扰强度下高寒嵩草草甸草地资源生产稳定性及家庭牧场畜牧业管理为基础特征,探讨牧场管理对家庭牧场草地植物群落特征的影响,有助于剖析牧民经济管理行为对放牧生态系统稳定性维持的影响及贡献。

本研究以祁连山东段南麓相同地理单元及气候条件下的高寒嵩草草甸家庭牧场为研究对象,通过家庭牧场植物群落地上生物量年际间稳定性同其放牧管理和牧场经营策略进行对比分析,探讨高寒嵩草草甸植物群落特征分异与牧场管理之间的耦合关系,以及家庭牧场经营对草地植物群落特征形成的影响及贡献,以期对青藏高原高寒草地退化机理研究及脆弱生态系统可持续发展政策制定提供理论及数据支撑。

1 材料与方法

1.1 调查区域及对象

调查区域位于青海省海北藏族自治州门源县皇城蒙古族乡(简称皇城乡)。皇城乡下辖马营村、东滩村、北山村和西滩村4个行政村。其中,马营村和西滩村冬季牧场彼此相连,草地类型相似,植被类型以高寒嵩草草甸为主^[32],而北山村和东滩村位于祁连山冷龙岭山前洪积扇,原生植被为高寒灌丛草甸。

样地和采样点的选择主要遵循以下三个原则:第一,选择距离公路或居民房屋100m以上,且坡度 $<5^{\circ}$ 的区域;第二,选择海拔高度在3200—3300m的丘陵地带或山间台地;第三,选择植被类型为高寒嵩草草甸及其不同演替稳态的草场^[33-34]。依据以上三个原则,皇城乡只有位于马营村和西滩村73户家庭冬季牧场符合要求。为保证草场地形、地貌及所处气候特征的相似,选择了彼此临近或相邻的60个家庭牧场作为调查对象,以满足被调查家庭牧场占符合条件家庭牧场数量的80%以上。

1.2 调查内容

1.2.1 家庭牧场经营管理特征调查

家庭牧场经营特征调查采用半结构化问卷调查、访谈、参与式调查等方法进行。调查项目主要包括家庭成员、牧场牧草资源基本情况、牧场经营、牧场建设等。其中,家庭成员基本情况调查包括:受访牧民性别、年龄、文化程度、家庭牧场人口总数、从事畜牧业生产的人口数量及其年龄结构等。草场的基本情况调查包括:自有天然草场面积、人工草地面积、租赁草场面积及租金。家畜养殖经营基本情况调查包括:家畜的种类、年龄结构、种群数量;家畜补饲饲料的种类、购买来源、购买单价及数量;补饲起始阶段、补饲量;自种人工草地牧草种类、产量及种植面积;家畜健康监测、草场围栏等基础设施维护等相关费用;种公畜更换频率、价格及使用年限;繁殖母畜更换频率、购买价格及使用年限。草地基本建设调查包括:围栏建设投资周期,投资频度及资金量;草地农业机械购买或租赁费用及购买机械的使用年限;家畜暖棚投资及维护费用。草地经济收入:每年家

畜出栏数量、年龄/月龄,家畜售卖价格,家畜存栏数量及年龄;家畜繁殖季;家庭牧业收入及总收入;其他收入及类别。牧户家庭支出包括:每年的生活支出、子女教育支出、医疗卫生支出、购买/建设固定资产(如房屋等)支出;购买动产(如汽车等)支出;文化体育支出。政府补贴:补贴金额及来源。草地生态保护意愿调查项目包括:草地健康自我评估,牧民在牧业生产过程中如何看待生态保护和经济收入,牧民认为草地退化的原因,牧场从业者为什么从事牧场经营管理,牧民对自己和下一代发展的生活憧憬等。调查时间为2020年9月—2021年5月。

1.2.2 家庭牧场草地现状调查

以上述牧户冬春草场为调查研究对象,选择牧场远离羊棚、人工草地、围栏等区域且坡度 $<5^{\circ}$ 的最大矩形区域为采样单元,分别对采样单元的四个顶点及对角线交点进行植物经济类群(禾本科、莎草科、豆科、杂类草和凋落物)特征调查,样方面积为 $25\text{cm}\times 25\text{cm}$,采用刈割法确定每种经济类群地上生物量,以经济类群地上生物量干重的算术平均值计算草场每种经济类群植物产量、凋落物产量及植物群落地上总生物量。采样时间为2020年9月。

1.3 数据统计及计算方法

演替稳态的确定:根据“高寒小嵩草草甸退化状态评估”(DB63/T1413—2015)和“高寒嵩草草甸退化状态评估”(DB63/T1414—2015),确定家庭牧场植物群落所处演替稳态,并计算每种稳态占有调查牧场数量的比例,作为该稳态在该区域出现的频度。

在上述调查牧户中选择分布于相同区域且具有相同地形和气候条件下的典型演替稳态牧场,进行完全禁止放牧和1/2放牧强度放牧(以该牧场牧民控制的放牧强度为基础,进行放牧强度减半放牧)两种处理^[22],以牧民控制放牧强度草场为对照,对草地地上生产能力进行年际动态监测,监测时间为2013—2021年每年8月底—9月初,采样方法采用五点采样法,即选择禁牧区、减牧区和对照区(远离围栏、牧道、人工草地、生活区、羊圈等区域,且与禁牧区和减牧处于相同地形、地貌条件下的 1hm^2 区域)为研究对象,以距离禁牧和减牧区10m范围内某点为中心做交叉线,以交叉线的端点和交叉点为中心 4m^2 区域设置采样点,样方面积与草地植物群落数量特征调查方法和家庭牧场草地现状调查方法相同,每个采样点采用五点数据平均值作为采样点植物群落数量特征调查值(图1)。以植物群落数量特征为基础进行草场生产能力稳定性分析,采用变异系数法($cv=sd/\text{mean}\times 100\%$,其中 cv 为变异系数, sd 为不同年份地上总生物量的标准偏差, mean 为所有年份地上总生物量的平均值)计算草地生产能力年际间稳定性。

2 结果分析

2.1 调查区域家庭牧场所处演替状态频度分析

按照高寒嵩草草甸不同演替稳态划分标准(DB63/T1413—2015和DB63/T1414—2015)分析,调查区域共存在四个演替稳态,分别为禾本科-矮嵩草草甸、矮嵩草草甸、小嵩草草甸草毡表层加厚期和小嵩草草甸草毡表层开裂期。调查区66.7%的家庭牧场处于小嵩草草甸,因此,该区出现频度最大的草地为小嵩草草甸(包括小嵩草草甸草毡表层加厚期和开裂期)。小嵩草草甸中处于草毡表层加厚期的家庭牧场占小嵩草草甸家庭牧场总量的75%,因此,该区小嵩草草甸以草毡表层加厚期占绝对优势。此外,调查区域处于禾本科-矮嵩草草甸的牧场最少,占全部调查牧场的8.3%。处于矮嵩草草甸的家庭牧场次之,占全部调查牧场的25%(图2)。

2.2 家庭牧场草地生产能力及稳定性评估

从草地总生产能力的角度看,不同演替稳态草地地上总生物量显著不同,其中,禾本科-矮嵩草草甸地上生物量为 $(489.4\pm 13.3)\text{g}/\text{m}^2$,显著高于其他稳态($P<0.05$)。小嵩草草甸草毡表层开裂期地上总生物量为 $(186.9\pm 21.4)\text{g}/\text{m}^2$,显著低于其他稳态($P<0.05$),而矮嵩草草甸和小嵩草草甸草毡表层加厚期之间差异不显著。

由于调查区域为冬春草场,草地利用时间为当年10月—翌年5月,此时能够为家畜提供饲料的植物类群

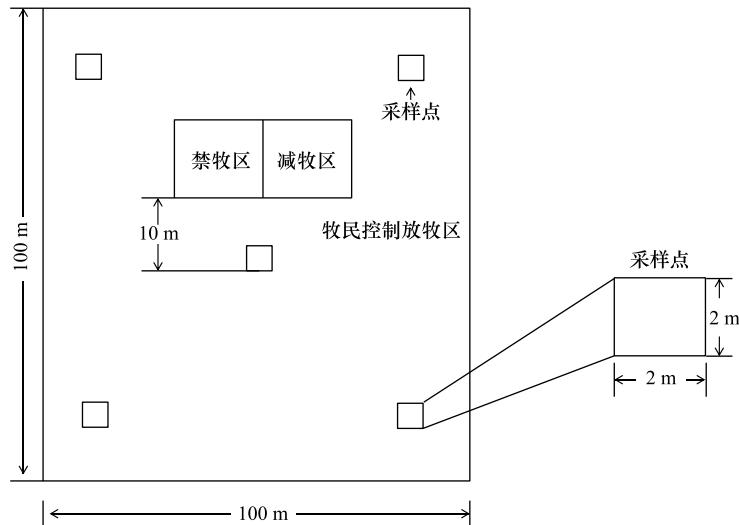


图1 家庭牧场各处理采样点设置示意图

Fig.1 The sample sites in different treatments in different steady stages

草地牧业生产服务能力的确定;以植物群落地上总生物量、禾本科+莎草科地上总生物量分别评估草地地上植物生产能力和草场质量

主要包括禾本科和莎草科立枯物,因此,采用禾本科和莎草科植物地上生物量之和作为牧场优良牧草生产能力的评估指标。不同演替稳态优良牧草占草场地上总生物量的 39.8%—45.7%,且该比值在不同演替稳态之间差异不显著 ($P>0.05$)。但由于不同演替稳态地上总生物量差异显著,导致优良牧草地上生物量在不同演替稳态之间发生了明显的分异。具体表现为,禾本科-矮嵩草草甸中禾本科+莎草科植物地上生物量变化范围为 163.8—250.2g/m²,显著高于其他演替稳态 ($P<0.05$)。禾本科+莎草科植物地上总生物量在矮嵩草草甸、小嵩草草甸草毡表层加厚期和开裂期的变化范围依次为 72.7—200.3g/m²、80.9—158.1g/m² 和 60.1—90.2g/m²,禾本科+莎草科地上生物量在不同演替稳态之间有交叉,但在禾本科-矮嵩草草甸和矮嵩草草甸中其平均值显著高于小嵩草草甸的两个演替稳态 ($P<0.05$);此外,禾本科-矮嵩草草甸中禾本科+莎草科地上生物量平均值显著高于其他演替稳态 ($P<0.05$) (表1)。

对不同演替稳态草地进行减牧和禁牧处理,并以减牧和禁牧围栏外草场(牧民控制放牧草场)为对照,分析不同处理及对照草场总生物量年际间的变异特征,牧民控制放牧区域草地地上总生物量的变异系数随草地总生产能力的增高而从 15.2%增高到 25.0%;1/2 减牧条件下的草地地上总生物量变异系数随草地生产能力的降低先降低到 26.9%,再增高到 29.5%。禁牧条件下不同演替稳态草地地上总生物量变异系数呈现“N”字型变化,两个低谷值出现在禾本科-矮嵩草草甸和小嵩草草甸草毡表层加厚期,其变异系数依次为 31.6%和 31.5%,在此过程中,矮嵩草草甸植物地上生物量年际间的变异系数最高。小嵩草草甸草毡表层加厚期中禾本科+莎草科地上生物量年际间的变异系数处于中等水平(19.9%)。从不同演替稳态地上生物量年际间的变

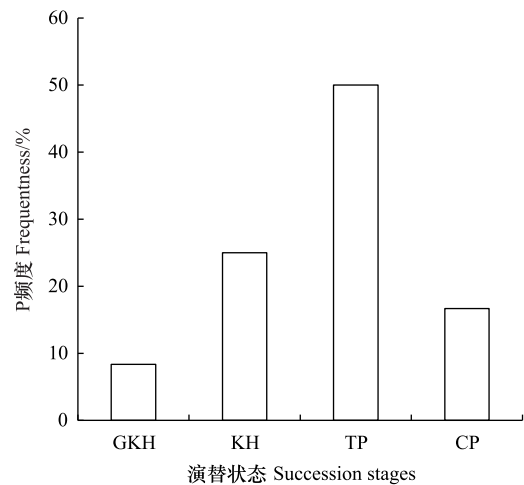


图2 家庭牧场所处演替状态比例

Fig.2 The proportion of steady stages in the study area

GKH:禾本科-矮嵩草草甸稳态,KH:矮嵩草草甸稳态,TP:小嵩草草甸稳态草毡表层加厚期,CP:小嵩草草甸稳态草毡表层开裂期,P代表频度

异系数在不同放牧处理下的变化特征看,四个演替稳态均表现为牧民控制放牧处理对照区年际间地上总生物量的变异系数最小(图3)。

表 1 调查区域家庭牧场草地生产能力分析

Table 1 Characteristics of pasture yield				
演替状态 Steady stages	样本数 Number	禾本科+莎草科生物量 (均值±标准差) Biomass of Gramineae and Cyperaceae (mean±sd)	地上总生物量 (均值±标准差) Total aboveground biomass (mean±sd)	禾本科+莎草科植物与植物群落 地上总生物量之间的比例/% Ratio of Biomass of Gramineae and Cyperaceae to total aboveground biomass
GKH	5	207.0±61.1a	489.4±13.3a	42.1±11.3a
KH	15	140.9±64.1b	343.1±81.9b	39.8±11.9a
TP	30	129.1±28.3b	282.6±56.3b	45.7±5.9a
CP	10	77.9±14.5c	186.9±21.4d	41.4±3.3a

GKH:禾本科-矮嵩草草甸稳态 Gramineae-Kobresia humilis meadow steady stage;KH:矮嵩草草甸稳态 K. humilis steady stages;TP:小嵩草草甸稳态草毡表层加厚期 mattic epipedon thickening in K. pygmaea meadow steady stage;CP:小嵩草草甸稳态草毡表层开裂期 mattic epipedon cracking in K. pygmaea meadow steady stage

2.3 草地放牧管理特征

研究区域冬春草场放牧家畜主要为藏羊,其中,单纯以藏羊为放牧家畜的草场占全部被调查草场的85.8%;没有单纯养殖牛的牧户;养牛牧户的畜群均为羊—牛混合类型,这类畜群组成类型占全部被调查牧场的14.2%。藏羊畜群主体为繁殖母羊,一般占种群数量的97.5%—97.8%。繁殖母羊的利用年限一般为8年,繁殖特性以一年一胎为主,极少数为两年三胎;产羔时间一般集中在春季牧草返青前(3月份),成年母羊的活体体重一般为25—30kg。调查区域存在简单的划区轮牧,但多数情况下轮牧区的放牧顺序和时间长短是固定的,且受到牧场面积的限制,畜群在每块轮牧区中停留的时间一般超过一个月。在每个轮牧区停止放牧时间一般为所放牧的草地地上立枯和凋落物被采食完全(表2)。

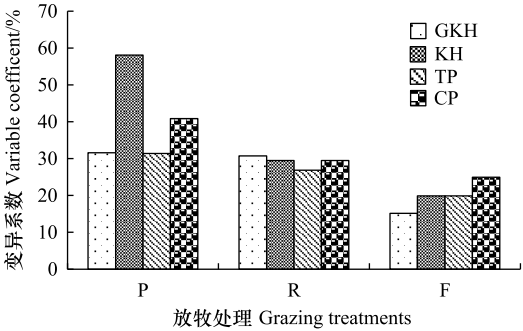


图 3 草地稳定性评估

Fig.3 Estimate stability of the steady stages

P:禁牧草地,R:减牧草地,F:牧民控制放牧草地

表 2 研究区域畜群结构及放牧特征

Table 2 Structure and grazing characteristics of herds					
项目 Item	放牧时间 Grazing time	冬季牧场放牧密度 Grazing density/ (羊单位/hm ²)	放牧家畜 Livestocks	性别比例 (种公羊:繁殖母羊) Sex ratio	放牧模式 Grazing model
放牧特征 Characteristics of livestock grazing	11月初—翌年	6—20	藏羊 或牦牛+藏羊 或西门塔尔牛+藏羊	1:40—1:45	一次性轮牧

研究区域位于青藏高原东北缘,祁连山东段南麓,400mm 年降水量分界线上缘,海拔相对较低,水热条件较为优越,是青海省牧草产量和质量较为优良的草场。该区由于处于农牧交错带上缘,人口密度在青海省牧区处于较高水平,因此,每个家庭牧场的草场面积相对较小。一般冬春草场的面积在11.3—37.4hm²之间。此外,当牧户家庭牧场面积小于6.7hm²时,草场一般会被牧民租借给其他牧户,但该区域可以被租借的冬春草场很少。最后,由于研究区域海拔较低,雨水相对充沛,自然环境条件相对优越,90%的牧户会预留小面积草场作为人工草地。人工草地种植的牧草主要包括单播一年生燕麦、单播多年生老芒麦或披碱草、混播老芒麦

或/和披碱草+草地早熟禾等,其中一年生燕麦为人工草地种植的主要牧草品种,这类牧草主要作为青干草进行冷季牛羊补饲。研究区域绝大多数牧户会在牧场中预留一块草场作为雪灾牧草储备地或繁殖母羊产羔地(牧民一般把此类草地称之为接羔地)(表3)。

表 3 调查区域家庭牧场特征

Table 3 Characteristics of pastures

夏季牧场面积 Area of summer plots/hm ²	冬季牧场面积 Area of winter plots/hm ²	租用夏季牧场面积 Area of rented summer plots/hm ²	租用冬季牧场面积 Area of rented winter plots/hm ²	人工草地主要类型 The type of artificial grassland	人工草地面积 Area of artificial grassland/hm ²	人工草地产草量 Yield of artificial grassland/ (kg/hm ²)
23.3—106.7	11.3—37.4	0—40.0	0—13.3	燕麦人工草地	0.133—2.33	65.3

调查区域夏季牧场采用无补饲型放牧管理模式;冬季牧场采用放牧加补饲型管理模式。不同牧户用于补饲饲料的种类存在较大差别,主体补饲饲料为青干草(主要为燕麦),绝大多数牧民在冬季补饲期间会使用玉米、青稞等籽粒作为饲料对家畜进行饲喂。少数牧民也会采用豆饼、酒曲或购买青贮饲料对家畜进行饲喂(表4)。调查区域牧户无自建青贮窖等设施,但绝大多数牧民会建设全封闭或半封闭青干草饲草料储备仓库。

表 4 调查区域家庭牧场家畜饲料类型及家庭牧场使用比率

Table 4 Feed type and using proportion to livestock in pastures

项目 Item	青干草 Dry and green hay	颗粒饲料 Pellet feed	粮食作物 (玉米、青稞等) Food crop (Including corn, highland barley, etc.)	青贮饲料 Silage	豆饼、酒曲等工业 副产物饲料 Soybean, koji and other industrial by-production
饲料饲喂比例 Feed ratio/%	100	14.8	62.9	3.7	7.4

按照饲料特性和营养价值大体可以将上述饲料归类为高纤维素含量饲料(主要为青干草、酒糟、青贮饲料等)和能量饲料(主要为玉米和青稞等植物的籽粒)。补饲时间一般开始于11月前后到转夏季牧场前或牧草返青期,50%以上家庭牧场的饲料补饲时间跨度在半年左右。对于能量饲料而言,主要补饲的对象是藏羊;牧民根据自身养殖牛的体况决定是否补饲能量饲料和补饲量。研究区域家庭牧场饲养的繁殖母羊除牧场放牧外,100%的牧户会选择饲喂能量饲料,饲喂量根据繁殖母畜个体所处妊娠阶段和体况进行综合评估确定,一般母羊妊娠早中期开始补饲,妊娠后期加量30%—50%不等;同时饲喂量也受到家庭牧场饲料种类配比的影响,如青干草饲喂相对较多时,籽粒饲料饲喂量就会减少(表5)。因此,不同类型的饲料补饲量在不同家庭牧场之间差异较大。

表 5 调查区域家庭牧场家畜饲喂特征

Table 5 Feeding characteristics of livestock in pastures

项目 Item	青干草 Dry and green hay		其他饲料 Other fodder	
	补饲时间跨度 Dry and green hay feed span	补饲量 Feeding quantity	补饲时间跨度 Other feed span	补饲量 Feeding quantity
牦牛 Yak	11月—12月份开始到翌年4月底—5月中旬	0—428g/头	11月—12月份开始到翌年4月底—5月中旬	0
繁殖母羊 Ewe	11月—12月份开始到翌年4月底—5月中旬	0—364g/只	11月—12月份开始到翌年4月底—5月中旬	56—356g/头
西门塔尔牛 Simmental	11月—12月份开始到翌年4月底—5月中旬	0—430g/头	11月—12月份开始到翌年4月底—5月中旬	0

调查区域家庭牧场核心家庭成员人口数量一般在 2—6 人,28.6%的家庭三代同堂,71.4%家庭两代同堂,家庭牧场中全职从事畜牧业生产的劳动力为 1—2 人,80%以上的家庭牧场全职从事畜牧业生产的劳动力为 2 人;75%的家庭牧场全部收入来源于畜牧业生产,生活成本主要包括以满足家庭成员衣、食、住、行、教育、医疗等生活成本支出,以满足社会交往过程中产生的人情礼往等费用的支出,购买/修缮房屋等支出以及用于家畜饲料的购买、围栏的修缮和建设、羊棚/草料棚的修缮和建设、家畜健康维护等生产成本支出。其中生产成本支出占家庭牧场总支出的 50%以上(表 6)。草场补贴占草场收入的比例不足 2%(调查区域不同演替稳态的草场补贴均为 2.5 元/亩),且草场补贴总量的高低同草场所处演替稳态无关(表 6)。

表 6 家庭牧场成本核算分析
Table 6 Cost analysis of family pastures

项目 Item	数量特征 Characteristics
生活成本 Living cost	1.15—4.08 万元/人
生产成本 Cost of production	329.4—1181 元/羊
生活成本比例 Living cost ratio	16.1%—40.7%
生产成本比例 Production cost ratio	59.5%—83.1%
冬季牧场草原补贴占牧业收入比例 Grassland subsidies as a proportion of livestock husbandry revenue	0.06%—1.25%

从草地畜牧业生产总收益同畜牧业成本之间的比较发现,草场生产能力越高,其收益/成本比越高(表 7),且较种植业而言,研究区域绝大多数家庭牧场草地牧业生产收益/生产成本比高于种植业^[34]。

表 7 草地生产能力同草地生产成本比例之间的关系
Table 7 The relationship between the yield of the pasture and the cost in the family

演替状态 Steady stage	生产成本比例/% Proportion of production cost	总收益/畜牧业生产成本比 Ratio of total revenue to livestock production cost
GKH	74.2±2.1	1.82—1.85
KH	67.9±1.3	1.71—1.88
TP	66.3±7.9	1.69—1.74
CP	83.1±13.0	1.16—1.39

3 讨论

3.1 导致过度放牧的原因之一为牧场经济外部服务性同牧场经济收入之间的弱关联性

青藏高原高寒嵩草草甸,不但具有服务于当地畜牧业生产的经济服务功能,同时它还具有涵养水源、保持水土、保护生物多样性、维持系统碳容/碳库等多种生态功能,这些生态功能是维持草地经济外部服务功能的基础,因此,草地生态系统健康与否对当地农牧业生产及中国乃至亚洲周边地区生态安全均具有重要意义^[35—36]。

大量研究将中国北方牧区草地生产功能退化的原因归结为管理不当、人口压力、放牧系统养分供需失衡等。从管理的角度看,建国初期在“以粮为纲”的政策引导下,部分不宜耕的草地被开垦^[26],加之同期的机械性大移民^[15],导致包括高寒嵩草草甸在内的高寒草地生态系统承载压力增大,打破了草地-家畜-人之间原有的平衡,加剧了草畜矛盾,导致了草地功能退化等生态环境问题^[26]。

从经济学角度看,青藏高原高寒草地生态系统同时具有服务于当地牧民生产生活和周边地区生态安全的功能(经济的外部性服务功能)^[36]。由于合理的植物群落组成、结构和稳定的生产力是形成和维持草地生态功能的基础,使得草地生态系统生产同生态服务功能之间存在正关联关系^[37—38]。而家庭牧场经济来源单一,生产方式相对传统^[36],且以目前草地产草量计算,该区家庭牧场不足以支撑当前牧场所饲养的家畜;加之,家庭牧场普遍存在人工草地面积小,人工草地牧草供给能力有限,牧民既要维持家畜数量及健康,以保证一定的

家庭经济收入;又要维持草地生产能力的相对稳定,以降低牧场经营成本,导致该区 100%牧民在进行草地畜牧业生产中以购买饲草料来解决冬季天然草场饲草料供给不足的问题,使得该区草地畜牧业生产符合小农场经济行为特征。虽然已有研究证明小农场经济规模对发展中国家传统农业资源利用效用更高、利用效率更强^[39],但由于近几年来,饲草料价格呈上涨趋势而畜牧产品价格趋于平稳,家庭牧场只能采用扩大家畜饲养规模(经营规模)、增加资金(如购买饲料等)和设施(如建设围栏等)投入等方式实现规模效益^[24],但这种以规模效益代替规模经济的扩大再生产会出现边际成本随放牧家畜数量增高而先降低后增高的变化过程^[36],长此以往,必然导致草场资源被过度消耗以及小农场经济效益的萎缩^[24]。又由于天然高寒嵩草草甸生态系统生产服务能力同生态服务能力之间存在正关联关系^[37],以目前家庭牧场的畜牧业生产力水平,维持草地处于最高生态服务价值需要牺牲家庭牧场的部分经济服务功能。且受到青藏高原地形地貌复杂、面积巨大、监测技术等因素的影响,基于家庭牧场的生态及生产功能评估实施难度巨大,导致草地健康奖补措施的实施很难以草地实际健康状况为准绳,对不同演替稳态和健康状况的草场进行差别化奖补,这种现象容易降低牧民维持或提升草地经济外部性服务价值的积极性,降低牧民主动改善牧场生态功能的投资热情^[37]。

因此,建立合理、有效和精准的基于家庭牧场生态和生产价值评估及监管的体系,是推动当地牧民主动维持/提升草场健康水平,提高草场经济外部性服务价值的基础。

3.2 牧民控制草地处于小嵩草草甸是对草场收益和投资的权衡

从草地经营的角度看,草地畜牧业是当地牧民经济收入的主要来源。青海省几大牧业生产区,海北州的畜牧业发展较为迅速,通过对本研究区域牧户的问卷调查发现,该区牧民能够清楚地认识到草地生产功能退化的事实;为了草地能够维持较高的牧草生产能力,政府相关部门亦组织了定期的草场灭鼠、灭毒杂草、采摘上繁草种向草地更广阔的区域撒播等草地保育措施;牧民也会根据家庭牧场牧草的生产能力,进行饲料的购买;为家畜健康和生产性能维持而建设家畜暖棚和家畜饮水设施;绝大多数牧民具有基本的家畜常见疾病辨识能力,可以对家畜进行简单的疾病治疗;但除人工草地外,草地未实施外源养分和外源繁殖体(如种子)添加等措施。

从目前调查结果看,草地畜牧业生产过程中生产成本低,占家庭牧场全部开支的 50%以上,并且从总收益和家庭总支出之比上看,随着草地退化程度的增高,草地收益/支出比呈先缓慢下降后快速下降趋势,其中,处于小嵩草草甸的草场其收益/支出比相对较高,草场总的生产服务能力和牧草生产能力稳定性均处于中等水平,导致该区草地主要处于小嵩草草甸演替稳态,导致该区草地以小嵩草草甸为优势类型的社会学和经济学原因是:1)本研究中的劳动人口年龄较为集中的分布在 40—60 岁年龄段内,牧场从业人员文化水平多处于初中以下水平,劳动力在行业间的转移能力较差,导致家庭牧场经济收入主要或唯一依赖草地畜牧业生产。2)受到近年来市场对牛羊肉需求量走高的影响,同一区域家庭牧场间的经济收入只同家畜售卖数量相关,本研究发现,一定范围放牧强度的增加会造成家庭牧场收益/投资比的降低,但不一定降低总收益,如本研究中的禾本科-矮嵩草草甸具有最高的收益/投资比,但不拥有最高的家庭牧场收入;且在家庭牧场面积和牧草供给能力一定的条件下,长时间的过度放牧会导致牧草生产能力下降。要维持草地牧草生产和畜产品生产的相对稳定,牧民不得不采用增加饲料投资的方式形成规模效益以提高家庭牧场经济收入,这客观导致饲料的购买和家庭牧场经营成本的增加。依据草地“主动—被动退化假说”,小嵩草草甸草毡表层加厚期和开裂期(即本调查区域中最常见的两种演替稳态)是草地退化内外因转换的关键稳态^[34],在此基础之上的高强度放牧,会导致草地退化主控因子由外因(单纯的放牧干扰)转化为内因(系统养分供需失衡)(图 4),草地退化风险增加^[34]。由此推断,即便目前家畜数量不变,只要减少家畜饲料上的资金投入,草场的放牧强度亦会增高,那么处于高寒小嵩草草甸的草场退化风险将加大。因此,牧民经过权衡选择牧草生产能力中等,但收益/投资比较高的小嵩草草甸作为放牧草场,以实现家庭牧场处于投资成本较低但收益较高的状态。因此,绝大多数牧民控制草场处于小嵩草草甸稳态,是牧民对草地健康和家庭牧场生产收益权衡的结果,但如果这种经营模式控制不当,草地退化风险将加大(图 4)。

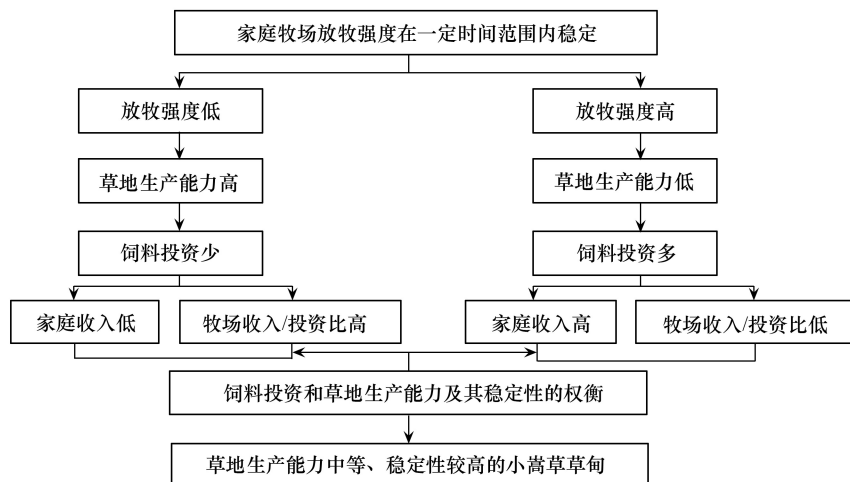


图4 放牧强度同草地生产及系统稳定性的耦合关系

Fig.4 Tradeoff between investment-income ratio and plant community productivities in the pasture

3.3 草地生态系统现有生产力、生产关系和生产资料的不匹配是造成草地退化的根源之一

青藏高原早期游牧是以人为组织者,以保障家畜生产能力稳定和维持草地可持续发展为基础的草地畜牧业生产,它在客观上实现了特定资源和生产力水平下“人—草—畜”和谐发展^[18,37—38]。研究发现牧区持有传统生态观点的放牧从业者以年老者居多^[40],而目前草场实际管理者以60—70年代出生的人群为主体,少部分出生于80—90年代,他们是家庭牧场财富的主要创造者。有研究认为70年代以后出生的牧区劳动者,在上学期期间离开了自家经营的草地,对草地变化缺乏连续性认识,所以草地生态保护意识较弱^[40]。迫于生活压力,这部分劳动者在经营草地过程中往往更注重家庭牧场的经济收入,成为加速草地退化的潜在因素^[40—42]。但是本研究区域90%以上的牧场管理者可以清楚的意识到草地的退化。据本次调查统计发现,大约有30%左右的牧场管理者认为,导致草地退化的原因是过度放牧;40%—50%牧场管理者认为导致草地退化的原因是鼠害、虫害、毒杂草的增加;20%—30%的牧场管理者认为导致草场退化的原因是水热变化。从以往的研究结果容易得出,鼠害、虫害和毒杂草种群数量的增加是人类对草地过度利用后草地退化的特征^[41—43],而不是草地退化的原因。而绝大多数牧民选择以草地退化的标志特征作为其退化原因,一方面是基于他们对草地退化理解的局限性,一方面也是为草地退化寻找替罪羊^[44]。出现这种结果的原因一方面反映了牧民对草地退化事实的认可,另一方面反映了他们对责任的推卸。追究牧民推卸责任的原因:1)牧民具有强烈的生产意愿,但受到草地承载力、生产技术的限制,他们找不到更好的方法提高生产效率和家庭收入,只能采用简单的规模经济代替规模效益,实质体现了牧场经营者强烈的经营需求同草地有限的生产能力之间的矛盾。2)牧民受到市场经济的冲击,已经放弃了维持极简生活的传统观念,且逐步开始追求稳定而高品质的现代生活,牧场经营只是作为他们的谋生手段,对牧区环境的敬畏之情较前辈弱化,而追求经济收益的意愿较前辈增强,使得其在生产和生态效益两者的权衡上选择了生产效益。3)以经济为核心的草地畜牧业生产中牧民对牧场的经营更符合理性经济人特征,他们为维护草场健康或为畜牧业可持续发展而进行的经济投入,根本目的是为获得更高的经济收入,当这一经济收入不能平衡生产支出时,他们必然会减少资金投入,其结果导致了草地的退化。因此,这种以短期经济效益为核心的评价体系不利于草地健康的管理及系统资源可持续输出能力的维持,一旦草地退化既成事实,牧民只能寻找替罪羊来开脱。

总之,传统畜牧观点是基于原始草地生产力和生产关系状态下的畜牧业生产模式,是适应于当时社会经济现状的产物;而在当代人口和畜牧业生产规模下,青藏高原高寒嵩草草甸生态系统面临以下几大挑战:1)草地经过四十年左右的高强度放牧,想要维持草地仍具有原来的生产能力是一个巨大的挑战;2)青藏高原养

活着历史上最高或接近最高数量的人口,且以草地为基础的牧草生产是该区绝大多数家庭畜牧业生产的支柱,导致草地畜牧业承载力维持成为巨大的难题;3)目前大面积的高寒嵩草草甸生态系统属于不同的国家公园体系,按照国家公园管理条例,需要留有相当面积的草地作为野生动物栖息地,最大限度的保护高原面上的生物多样性^[45],使得可利用的畜牧业生产基地进一步萎缩,成为牧区实现社会主义新农村建设的巨大挑战。

3.4 现有条件下如何解决青藏高原过度放牧引起的草地退化

需要提升牧民对草地经济外部性服务价值的认识,其核心是需要研究人员摸清草地演化规律,建立以家庭牧场为评估单元的草地生态价值评估体系,并基于草地生态服务价值的草地经济外部性服务能力对牧场进行差别化的生态补偿,进而提高牧民对草场生态保护的积极性。草地的生态服务价值同草地的演替稳态密切相关,大量研究表明,青藏高原草地生态系统在数万年演化历史中经历了多种植被类型和演替稳态^[46],且根据植物地理学分布特征看,目前青藏高原原生植被同现有植被特征不一致的面积巨大^[47]。因此,如何确定草地所处稳态的生态及生产价值,如何利用宏观经济调控手段最大限度的提升草地的综合服务能力成为未来草地可持续发展研究的重点。目前草地生态价值评估多基于遥感资料,受到技术自身局限性影响,现有的研究资料更适合大时空尺度下的草地综合服务价值评估,而以家庭牧场为单位的草地生态系统价值评估能力相对薄弱,导致放牧草地健康维护的奖补措施无法精准实施^[48-49]。因此,下一步研究需要做好以家庭牧场为单位的草地健康监测体系,确定草场现状及所处健康等级,完善草场保护奖罚制度,提高草地生态系统健康管理的科学性。

在不影响或弱影响草地生态服务价值的前提下提高草地生产服务能力。青藏高原自然环境恶劣是影响草地生产能力提升的主要限制性因子。发展以青藏高原自身特征为基础,以生产力、生产关系与生产资料适配度为核心的草地生产恢复和功能提升技术,有助于提高草地的生产效率和效益,实现草地生态系统资源可持续发展利用。

从生产流程控制,提高草地生产附加值。依据草地生产层次性特点^[50],以畜产品生产为主,牧草生产为辅,以经济效益和生态效应双赢为目的进行技术革新,采用多种经营并进策略,延伸草地畜牧业产业链,开发产业链上游及下游产品,发展多种经营,提高草地单位面积生产附加值、牧民生产收益的稳定性和抗风险能力,从根本上提升青藏高原草地畜牧业的可持续发展能力^[51]。

4 结论

造成相同地形和气候条件下草地生产能力分异的主要原因为过度放牧,随着放牧强度的增高,家庭牧场生产成本/家庭总支出比呈先降低后增高趋势,其最低点出现在小嵩草草甸草毡表层加厚期;其收益/投资比呈波动性降低趋势,其最高点出现在禾本科-矮嵩草草甸,最低点出现在小嵩草草甸草毡表层开裂期。草地牧草生产能力先缓慢降低而后迅速降低,处于小嵩草草甸草毡表层加厚期和开裂期的草场牧草生产能力中等、收益/投资比较高、牧草生产的年际稳定性较强,是导致调查区域绝大多数牧民维持草地处于小嵩草草甸稳态的原因之一;饲草料的购买及对家畜的补饲有助于维护小嵩草草甸牧草生产能力、家畜健康状况和生产性能的相对稳定,但只有放牧强度降低到一定范围才有助于牧场生产能力总体的提高或稳定。

牧草生产能力最高的草场其收益/投资比最高,但投资占家庭牧场总支出比例亦高,说明草地生产能力的维持或提升需要损失一部分家庭牧场经济收入,而这部分经济收入如果不能被有效补充,容易降低牧民维持草地处于较高生产能力水平的积极性,对提升草地经济外部性服务价值不利。

欲解决过度放牧问题需要以草地生产力、生产关系和生产资料的适配度为核心,建立适宜于高寒草地生态系统自然承载力的社会、经济、文化及生产力体系,构建和完善以家庭牧场为单位的草地经济外部服务价值评估体系及草地农业现代经济生产体系,方可从根本上解决草地的可持续发展问题。

参考文献(References):

- [1] Bayer W. Building resilience of human-natural systems of pastoralism in the developing world: interdisciplinary perspectives. *The Rangeland Journal*, 2017, 39(4): 401-403.
- [2] 中国林业网. 我国草原资源现状、保护建设成效和今后的工作重点. <http://www.forestry.gov.cn/main/3957/20180718/103759438556210.html>, 2018-07-18.
- [3] 董世魁, 周学丽, 土旦加, 史德军, 杨明岳, 任继周, 尚占环, 赵昕月, 董全民, 刘文明. 基于放牧系统单元的草地可持续管理: 概念与模式. *草业科学*, 2020, 37(3): 403-412.
- [4] 傅伯杰, 欧阳志云, 施鹏, 樊杰, 王小丹, 郑华, 赵文武, 吴飞. 青藏高原生态安全屏障状况与保护对策. *中国科学院院刊*, 2021, 36(11): 1298-1306.
- [5] 马耀明, 胡泽勇, 田立德, 张凡, 段安民, 阳坤, 张懿铨, 杨永平. 青藏高原气候系统变化及其对东亚区域的影响与机制研究进展. *地球科学进展*, 2014, 29(2): 207-215.
- [6] 郑度, 李炳元. 青藏高原地理环境研究进展. *地理科学*, 1999, 19(4): 295-302.
- [7] Matthias K. Subtropical mountain-and highland-glaciation as ice age triggers and the waning of the glacial periods in the pleistocene. *GeoJournal*, 1987, 14(4): 393-421.
- [8] 于志刚. 海洋地质. 北京: 海洋出版社, 2009.
- [9] 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 唐领余, 王富葆, 姚檀栋, 赵希涛, 张丕远, 施少华. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件. *中国科学(B辑)*, 1992, (12): 1300-1308.
- [10] 沈永平, 刘光秀, 施雅风, 张平中. 青藏高原新仙女木事件的气候与环境. *冰川冻土*, 1996, 18(3): 219-226.
- [11] 马庆峰, 朱立平, 吕新苗, 郭允, 鞠建廷, 王君波, 汪勇, 唐领余. 花粉揭示的青藏高原西南部塔若错全新世以来植被与气候变化. *科学通报*, 2014, 59(26): 2631-2644.
- [12] 唐领余, 沈才明, 李春海, 彭金兰, 刘惠, Liu K B, Jonathan C M. 花粉记录的青藏高原中部全新世以来植被与环境. *中国科学(D辑)*, 2009, 39(5): 615-625.
- [13] Liu H Y, Mi Z R, Lin L, Wang Y H, Zhang Z H, Zhang F W, Wang H, Liu L L, Zhu B, Cao G M, Zhao X Q, Sanders N J, Classen A T, Reich P B, He J S. Shifting plant species composition in response to climate change stabilizes grassland primary production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(16): 4051-4056.
- [14] Boone R B, Conant R T, Sircely J, Thornton P K, Herrero M. Climate change impacts on selected global rangeland ecosystem services. *Global Change Biology*, 2018, 24(3): 1382-1393.
- [15] Qiu Q, Wang L Z, Wang K, Yang Y Z, Ma T, Wang Z F, Zhang X, Ni Z Q, Hou F J, Long R J, Abbott R, Lenstra J, Liu J Q. Yak whole-genome resequencing reveals domestication signatures and prehistoric population expansions. *Nature Communications*, 2015, 6: 10283.
- [16] 卓玛措. 藏族传统的生态文化. *地理教学*, 2006, (3): 2-5.
- [17] 任继周, 刘学录, 侯扶江. 生物的时间地带性及其农学涵义. *应用生态学报*, 2002, 13(8): 1013-1016.
- [18] 刘鸿彬. 马克思主义生态观视野下藏族生态文化研究. 哈尔滨: 东北林业大学, 2015.
- [19] 杨占录, 袁国军, 周磊. 草原管理与草地畜牧业可持续发展对策. *农村经济与科技*, 2016, 27(24): 29.
- [20] Qian D W, Li Q, Fan B, Guo X W, Du Y G, Cao G M. Landscape pattern changes across alpine shrub meadows gradient in warm-season pastures on the Qinghai-Tibet Plateau. *Ecological Complexity*, 2022, 49: 100979.
- [21] Qian D W, Li Q, Fan B, Lan Y T, Cao G M. Characterization of the spatial distribution of plateau pika burrows along an alpine grassland degradation gradient on the Qinghai-Tibet Plateau. *Ecology and Evolution*, 2021, 11(21): 14905-14915.
- [22] 林丽. 高寒草甸不同演替状态下植物、土壤对放牧强度的响应与适应[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.
- [23] 林丽, 李本措, 樊博, 兰玉婷, 司梦可. 高寒嵩草甸植物群落对牧场主“控制放牧”分异的响应与适应. *中国草地学报*, 2022, 44(9): 19-30.
- [24] 孙海梅, 杜长鸿, 郑永琴, 房玉双. 走出畜牧业适度规模经营认识上的误区. *新疆农垦经济*, 2000(2): 44-45.
- [25] 任继周. 放牧, 草原生态系统存在的基本方式——兼论放牧的转型. *自然资源学报*, 2012, 27(8): 1259-1275.
- [26] 董世魁, 江源, 黄晓霞. 草地放牧适宜度理论与牧场管理策略. *资源科学*, 2002, 24(6): 35-41.
- [27] 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.
- [28] 沈益民. 中国人口、环境与持续发展初探. 中国社会学会. 人口与环境社会学专业委员会. 中国人口与环境(第二辑). 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [29] 李仲广, 吕振艳, 高擎. 草原环境恶化及对策的经济学分析. *内蒙古农业大学学报: 社会科学版*, 2001, 3(2): 17-20.

- [30] 王奎正. 藏族传统文化与青藏高原环境保护. 中南民族学院学报: 哲学社会科学版, 1997, (2): 55-59.
- [31] 李新. 内蒙古牧区草原土地产权制度变迁实证研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.
- [32] 吴征镒. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980.
- [33] 赵亮, 李奇, 陈懂懂, 徐世晓, 周华坤, 汪诗平, 赵新全. 三江源区高寒草地碳流失原因、增汇原理及管理实践. 第四纪研究, 2014, 34(4): 795-802.
- [34] 曹广民, 杜岩功, 梁东营, 王启兰, 王长庭. 高寒嵩草草甸的被动与主动退化分异特征及其发生机理. 山地学报, 2007, 25(6): 641-648.
- [35] 赵新全. 高寒草甸生态系统与全球变化. 北京: 科学出版社, 2009.
- [36] Mankiw N G. Principles of economics. Fort Worth, TX: Dryden Press, 1998.
- [37] 魏兴琥, 杨萍, 李森, 陈怀顺. 超载放牧与那曲地区高山嵩草草甸植被退化及其退化指标的探讨. 草业学报, 2005, 14(3): 41-49.
- [38] 任继周, 侯扶江, 胥刚. 草原文化的保持与传承. 草业科学, 2010, 27(12): 5-10.
- [39] Banerjee B N. Concepts of farm size, resource-use and productivity in agriculture-a case study. Economic affairs, 1985, 30(1): 17-22.
- [40] 张黎, 龙瑞军, 邓波, 张茂林. 内蒙古阿拉善盟 3 个旗牧民草地生态观比较分析. 草地学报, 2009, 17(6): 740-744.
- [41] 卫万荣. 高原鼠兔和高原鼢鼠种群消长规律及其与植被关系的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [42] 林丽, 龙瑞军, 赵成章, 李以康, 张法伟, 王溪, 王洪君. 阿尔泰狗哇花型退化草地植物功能群特征初探. 草业科学, 2009, 26(6): 35-40.
- [43] 欧巧明, 陈玉梁, 马丽荣, 张绪成, 罗俊杰. 基于生态位理论的作物-杂草化感作用及其关系探讨. 草业学报, 2010, 19(2): 235-240.
- [44] 李辉, 冯蛟. 多品牌危机中“替罪羊”效应对消费者信任的影响机制分析. 商业经济研究, 2017, (22): 60-62.
- [45] 李奇, 胡林勇, 陈懂懂, 贺福全, 陈昕, 曹伊凡, 徐世晓, 赵亮, 赵新全. 基于 N% 理念的三江源国家公园区域功能优化实践. 兽类学报, 2019, 39(4): 347-359.
- [46] Meyer M C, Aldenderfer M S, Wang Z, Hoffmann D L, Dahl J A, Degering D, Haas W R, Schlütz F. Permanent human occupation of the central Tibetan Plateau in the early Holocene. Science, 2017, 355(6320): 64-67.
- [47] 李以康, 林丽, 张法伟, 梁东营, 王溪, 曹广民. 小嵩草群落-高寒草甸地带性植被放牧压力下的偏途顶极群落. 山地科学学报, 2010, 28(3): 257-265.
- [48] 谢高地, 鲁春霞, 肖玉, 郑度. 青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估. 山地学报, 2003, 21(1): 50-55.
- [49] 杨倩, 孟广涛, 谷丽萍, 方波, 张正海, 蔡雨新. 草地生态系统服务价值评估研究综述. 生态科学, 2021, 40(2): 210-217.
- [50] 胡自治. 草原分类学概论. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [51] 任继周, 侯扶江. 草地农业系统是食品安全的重要保证——关于“三聚氰胺奶粉”事件的反思. 草业科学, 2009, 26(8): 6-9.