

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2020.05.001

黄河上游草地生态现状及功能提升技术

郭 婧^{1,2,7}, 张 骞^{1,7}, 宋明华³, 师 燕⁴, 周秉荣⁵, 王文颖⁶, 李以康¹, 赵新全¹, 周华坤¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海省寒区恢复生态学重点实验室, 青海 西宁 810008; 2. 青海省社会科学院, 生态环境研究所, 青海 西宁 810000; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 西宁市城市规划编制研究中心, 青海 西宁 810006; 5. 青海省气象科学研究所, 青海 西宁 810001; 6. 青海师范大学, 青海 西宁 810008; 7. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:草地生态系统不仅是自然系统重要的天然安全屏障,也是畜牧业发展的关键依托。黄河上游草地生态质量关系到整个黄河流域的生态保护和区域可持续发展。然而,近年来黄河上游草地生态环境向着不利于人类发展的方向演化,草地退化问题日趋严重,加速了土地荒漠化进程,同时引发自然灾害、河流断流等问题,制约了地区经济健康稳定的发展。本文综述了黄河上游重要水源涵养区域草地退化现状、成因和草地退化的主要特征,提出了草地生态功能提升技术模式及草地适应性管理机制,并对未来草地恢复治理新技术进行了展望,旨在为三江源、祁连山和甘南等典型水源涵养区的生态恢复和治理提供理论和技术支撑,以期对有效推动黄河流域生态保护和高质量发展及助力国家构建完善的生态安全体系提供科学参考。

关键词:黄河上游;草地;生态现状;功能提升;技术模式

中图分类号:S812

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2020)05-1173-12

Status and Function Improvement Technology of the Grassland Ecosystem in the Upper Yellow River Basin

GUO Jing^{1,2,7}, ZHANG Qian^{1,7}, SONG Ming-hua³, SHI Yan⁴, ZHOU Bing-rong⁵,
WANG Wen-ying⁶, LI yi-kang¹, ZHAO Xin-quan¹, ZHOU Hua-kun¹

(1. Key Laboratory of Restoration Ecology of Cold Area in Qinghai Province, Northwest Institute of Plateau Biology, CAS, Xining, Qinghai Province 810008, China; 2. Research Department of Ecological Environment, Qinghai Academy of Social Sciences, Xining, Qinghai Province 810000, China; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 4. Bureau of Programming and Construction, Xining, Qinghai Province 810006, China; 5. The Qinghai Institute of Meteorological Science, Xining, Qinghai Province 810001, China; 6. Qinghai Normal University, Xining, Qinghai Province 810008, China; 7. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Grassland ecosystem is not only an important natural security barrier of natural system, but also the key support of animal husbandry development. The ecological quality of grassland in the upper reaches of the Yellow River is related to the ecological protection and regional sustainable development of the whole Yellow River Basin. However, in recent years, the grassland ecological environment in the upper reaches of the Yellow River has evolved in a direction that is not conducive to human development. Grassland degradation has accelerated the process of land desertification. At the same time, it has caused natural disasters and river cutoff, which has restricted the healthy and stable development of regional economy. In this paper, the present situation, causes and main characteristics of grassland degradation in important water conservation areas in the upper reaches of the Yellow River were summarized. The technical model of grassland ecological function improvement and grassland adaptive management mechanism were put forward, and the new technologies of grassland restoration and management in the future were prospected.

收稿日期:2020-05-08;修回日期:2020-06-10

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0501901);国家社会科学基金青年项目(16CJY012);青海省自然科学基金面上项目(2019-ZJ-908);中国科学院科技服务网络计划(STS计划KFJ-STZ-ZDTP-056-2);第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0302);青海省重大科技专项专题(2016-NK-A7-BA-02;2019-SF-A12;2018-SF-136);中科院泛第三极专项子课题专题XDA2005010405;国家自然科学基金面上项目(31672475);青海省“高端创新人才千人计划”项目资助

作者简介:郭婧(1989-),女,青海西宁人,助理研究员,博士研究生,主要从事生态经济、环境生态学研究,E-mail:352097314@qq.com; *通信作者 Author for correspondence, E-mail:hkzhou@nwipb.cas.cn

The purpose of this study was to provide theoretical and technical support for ecological restoration and governance of typical water conservation areas such as Sanjiangyuan, Qilian Mountain and Gannan, so as to provide scientific reference for effectively promoting ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin and helping the country to build a sound ecological security system.

Key words: The upper reaches of the Yellow River; Grassland; Ecological status; Function promotion; Technology pattern

黄河流域是中国重要生态屏障和经济地带^[1-2]。黄河上游地区是一个自然生态脆弱、多民族聚居和欠发达格局交织的人地关系地域系统,年径流量占全河的 54%,年来沙量占全河年来沙量的 8%,其水源涵养功能对黄河的水量 and 水质起到至关重要的作用^[3-4]。而草地作为生态系统的一个重要组成部分,草地植被的逆行演替加快会直接引发土壤侵蚀严重、水土流失加剧等一系列生态问题,从而导致生态系统功能的衰退和恢复能力减弱^[5]。随着黄河上游地区经济的迅速发展,人类活动对流域内生态环境的影响逐渐增强,生态环境承载压力不断加大。因此,流域内草地生态环境健康状况关系到整个黄河流域的生态安全与地区经济的可持续发展。

目前对于黄河上游草地生态环境的研究主要集中在草地退化的现状和机理^[6]、重大生态功能区草地逆型演替及植物多样性的变化^[7]、高寒草地全氮含量与地理环境因子的相关性^[8]、草地沙化的分类与防治^[9]、黄河流域草地景观的面积变化与时空演变特征以及对整个流域景观的结构与功能的响应^[10]等方面,但对于草地生态现状及功能恢复技术方面的研究尚缺乏。总体来看,草地退化的后果是引起草地生产能力下降、植物群落多样性减少、水源涵养量减小、生态服务能力减弱,进而制约区域工农业健康发展。基于此,本文以黄河上游地区重要的水源涵养区三江源、祁连山和甘南等区域的草地生态系统为研究对象,对其生态系统发展现状、存在的主要问题等进行了系统归纳总结,力求全面了解该地区草地生态,为理论和实践研究做好铺垫。同时,通过提炼和归纳文献中相应生态问题的解决方案,概括性地梳理总结了黄河上游典型生态系统本底调查、不同生态系统功能提升技术、生态恢复效果与生态功能提升能力监测评估、草地综合利用调控及适应性创新管理机制等技术模式,以期能在有效促进黄河上游地区草地生态全面系统研究和现存问题解决的同时,为其他区域草地生态问题的研究、解决提供一些可借鉴的理论经验和方法,从而有效

助力国家生态文明体系建设,促进区域经济、生态协调发展。

1 研究区概况

黄河上游是指从河源到内蒙古自治区托克托县河口镇以上的黄河河段,流域面积达 42.8 万 km²,占黄河流域总面积的 53.8%^[1]。借鉴现有研究成果,将青海、甘肃、宁夏、内蒙古呼和浩特都市圈以西的地区界定为黄河上游地区^[1],本文重点研究黄河上游地区重要的水源涵养区三江源、祁连山和甘南等区域的草地生态系统。三江源(31°39′~36°12′N, 89°45′~102°23′E)位于青海省南部,是长江、黄河、澜沧江的发源地^[11-12],是中国重要生态安全的重要屏障^[13]。三江源流域面积 31.6×10⁴ km²,草地占流域总面积的 65.4%^[14],是中国主要的草地畜牧区之一。祁连山(93°30′~103°00′E, 35°43′~39°36′N)地处内蒙古高原、黄土高原、青藏高原 3 大高原交汇带,不仅是重要的水源涵养地和集水区^[15],也是典型生态脆弱区的结合部。草地面积占祁连山总面积的 52.9%^[16],在提供重要生产资料的同时,也对保护生物多样性、维持生态系统平衡发挥着重要的生态功能^[17]。甘南藏族自治州(100°46′~104°44′E, 33°06′~36°10′N)处于青藏高原东北边缘与黄土高原的接壤地带,是甘肃省重要的畜牧业生产基地^[18]。同时,甘南州也是黄河及其主要支流洮河、大夏河的发源地和重要的水源涵养区^[19]。州内草地占总土地面积的 95.86%,面积约为 2.60×10⁶ hm²;耕地占甘南州土地总面积的 2.01%,面积约为 7.66×10⁴ hm²^[20]。

2 草地生态现状

草地生态系统具有水源涵养、气候调节、生物多样性维持和基因库等重要的生态服务功能,不仅为当地畜牧业发展提供物质基础,而且在区域营养物质循环、废弃物降解、环境污染净化过程中也有重要作用^[21-22]。黄河上游地区生境条件复杂多变,主要植被类型的自

然地理因素及其组合过渡性和区域分异明显^[23]。

2.1 草地退化现状

21 世纪初,受各种自然因素和社会人文因素的影响,中国近 90% 的草地出现了不同程度的退化,不仅影响了畜牧业的发展,而且开始严重威胁中国的生态安全^[24-25]。黄河上游地区生态环境较为脆弱,草地资源的不合理利用使得草地生态环境退化

严重,严重影响了中下游地区的可持续发展^[6]。因此,学者们对黄河上游地区草地退化与修复开展了广泛研究。黄河上游不同区域草地退化现状及特征见表 1。草地退化总体表现为草地植被稀疏、盖度减少,生产力和载畜量逐渐降低。根据引起草地退化的原因和特征,黄河上游退化草地可分为“黑土滩”型退化草地、鼠虫害型退化草地、荒漠型退化草地和毒杂草型退化草地几种类型^[26-28]。

表 1 黄河上游不同区域草地退化现状及特征

Table 1 Present Situation and Characteristics of Grassland Ecological Environment in Different Regions of Upper Yellow River

地区 Regions	海拔范围 Elevation/m	草地类型 Grassland types	优势种 Dominant species	存在问题 Existing problem	主要原因 Main reason	来源 Source
三江源 Sanjiangyuan	2 800~ 6 564 ^[29-30]	高寒草原、高寒草甸、沼泽化高寒草甸、温性草原、高寒荒漠类草地	紫花针茅 (<i>Stipa purpurea</i> Griseb.)、莎草科 (<i>Cyperaceae</i>)、西藏嵩草 (<i>Kobresia tibetica Maximowicz</i>)、华扁穗草 (<i>Blysmus sinocompressus</i> Tang et Wang)、西北针茅 (<i>Stipa sarpentana</i> Becher var. <i>krylovii</i> (Roshev.) P. C. Kuo et Y. H. S)、疏花针茅 (<i>Stipa penicillata</i> Hand. - Mazz.)、大针茅 (<i>Stipa grandis</i> P. Smirn.)、芨芨草 (<i>Achnatherum splendens</i> (Trin.) Nevski)、垫状驼绒藜 (<i>Ceratoides compacta</i> (Losinsk.) Tsien et C. G. Ma)、亚菊 (<i>Ajania pallasiana</i> (Fisch. ex Bess.) Poljak.) 等	草地单位面积产草量下降,草地盖度减少,毒杂草比例增加,草地退化和沙化严重,荒漠化加剧;水土流失日益加剧,生态平衡失调;草地鼠、虫害增加;草地生物多样性遭到破坏;“黑土滩”面积大、退化速度快	气候变化、人口激增、长期超载过牧	[29-33]
祁连山 Qilian Mountain	1 595~ 5 573 ^[34]	高寒草原类、高寒荒漠类、高寒草甸类	紫花针茅 (<i>Stipa purpurea</i> Griseb.)、垫状驼绒藜 (<i>Ceratoides compacta</i> (Losinsk.) Tsien et C. G. Ma)、亚菊 (<i>Ajania pallasiana</i> (Fisch. ex Bess.) Poljak.)、细叶亚菊 (<i>Ajania tenuifolia</i>)、铺散亚菊 (<i>Ajania khartensis</i>)、红景天 (<i>Rhodiola rosea</i> Linn.)、高山嵩草 (<i>Kobresia pygmaea</i> (C. B. Clarke) C. B. Clarke)、矮生嵩草 (<i>Kobresia humilis</i> (C. A. Mey ex Trautv.) Sergievskaya.)、线叶嵩草 (<i>Kobresia capillifolia</i> (Decne.) C. B. Clarke)、藏嵩草 (<i>Kobresia tibetica</i> Maximowicz)、糙喙苔草 (<i>Carex scabrirostris</i> Kukenth.) 等	天然草地大面积退化,草地生产力下降,尤其是冬春草地退化更为严重;水土流失严重,草地植被退化、沙化加速	气温上升、人类活动、草地开垦程度大、过渡放牧、森林资源破坏严重、矿产资源不合理开发	[34-39]
甘南 Gannan	1 100~ 4 800 ^[40]	高寒草甸类、山地草甸类、高寒草原类、温性草原类、高寒荒漠类、低地草甸类	鹅观草 (<i>Roegneria kamoji</i> Ohwi)、剪股颖 (<i>Agrostis matsumurae</i> Hack. ex Honda)、委陵菜 (<i>Potentilla chinensis</i> Ser.)、披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i> Turcz.)、蓼 (<i>Polygonum</i>)、短柄草 (<i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) Beauv.)、风毛菊 (<i>Saussurea japonica</i> (Thunb.) DC.) 等	草地退化、沙化严重,草地生产力下降	气候旱化、降水量下降、过度开垦、破坏和不合理利用、人类进行的各项减灾工程	[40-43]

2.2 草地退化成因

2.2.1 气候变化 气候变化导致草地资源面临着越来越多的问题,其中以草地退化、荒漠化以及草地毒杂草蔓延为主。相关研究得出三江源地区气候变化不利于草地植被的生长,表现为草地退化加剧,草

地生物量显著下降,植被发育期变化明显(返青期提前,黄枯期推迟,生长季延长)等^[12,30,32]。气候变化直接导致祁连山地区草地植被生态平衡被打破、草原植被逐渐减少、植被春季返青提前、枯草期滞后,草地生长周期、鲜草产量、植被覆盖率都有所变

化^[36,44]。甘南地区气候的变化对植被产生了较大影响,草地生态环境遭到破坏,主要表现为草地退化、荒漠化和草畜平衡失调等^[45-46]。此外,气候变化导致的草地退化,往往会引起社会经济发展与环境的矛盾冲突^[47]。

2.2.2 生产活动 学者们普遍认为生产活动导致生态环境快速恶化,尤其是草地生态系统退化日益严重。分地区来看,受生产活动的影响造成了三江源地区草地退化现象极为严重,出现了大面积次生裸地——“黑土滩”^[48-49]。同样,祁连山地区的草原发展和建设(尤其是大量的草地植被破坏、长期的超载放牧及开垦等不合理开发利用)导致了天然草地退化严重,呈现典型的土地沙化及盐碱化问题,原有的草原植被受到巨大的威胁^[50-51]。此外,甘南地区长期以来形成的重生产轻生态的草地利用模式导致草地生产力、经济潜力与服务功能的降低^[52]。

综上所述,草地资源是牧区发展的基础,草地退化将使牧区陷入无序化与非持续性^[53]。草地退化的因素包含多方面共同作用,例如自然因素是影响草地可持续发展的基础条件;人文因素和经济因素也是影响草地退化的重要因素,主要通过牧民经营行为、牧业劳动力转移、牧业内部结构调整等方面影响草地利用数量及强度的变化^[54]。

2.3 草地退化的研究方法及其主要特征

2.3.1 研究方法和技术手段 在研究方法和技术手段方面,涉及常规生态学研究方法(植被、土壤、微生物、鼠害等方面的研究)、遥感及信息化技术、数量模型、同位素及生物技术等^[55-57](图 1)。

从地面角度来看:①诸多学者基于数量模型展开了系列研究。例如刘洁等^[58]基于 CASA(Carnegie-Ames-Stanford approach)模型,得出甘南地区大部分草地 NPP(Net Primary Productivity)稳定不变,且 NPP 呈增加趋势的区域占草地面积的 22.63%;张颖等^[12]同样借助 CASA 模型和气候生产力模型,定量评估了气候变化、LUCC(Land-Use and Land-Cover Change)和草地管理措施对三江源草地净初级生产力(NPP)变化的影响;肖桐等^[14]运用 Cs 方法评估了退化草地土壤侵蚀模数变化,表明三江源区高寒草甸退化程度加剧了土壤侵蚀。②专家学者们采用同位素和生物技术方法进行了不同程度的研究。例如段中华等^[59]对黄河源区理化性质和碳氮组成及其稳定同位素特征进行测定和分

析,湿地土壤的容重、全磷、有效磷、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}$ 低于草地土壤;胡雷等^[60]采用了磷脂脂肪酸方法对三江源区不同退化演替阶段的高寒草甸土壤酶活性和微生物群落结构进行分析,得出土壤酶活性、土壤微生物群落结构可以作为一个综合指标,来指示高寒草甸的演替阶段和退化程度。③有少数研究者通过对青海三江源自然保护区参与式结构问卷调查研究,并运用 Tobit 模型分析,探讨了影响牧户生态退化感知的主要影响因素^[61]。

从空间视角来看,学者们利用 Landsat TM 资料、遥感解译数据和 ArcGIS 10.0 空间统计分析工具等从不同角度分析了三江源地区草地退化的空间变化,发现该区草地退化和黑土滩扩展趋势已得到有效遏制,草地生态较上世纪 70 年代呈现出明显好转态势^[62-65]。

综上所述,在诸多科技项目、生态工程支持下,目前黄河上游地区草地退化和修复的研究涉及范围较广,研究出了比较明确有效的恢复技术途径,但对草地恢复能力的研究较缺乏,尤其是针对黄河上游地区内草地功能恢复的技术和模式尚显不足,且从研究范围看,大部分研究均集中在三江源,以黄河上游地区为整体的生态功能研究较少。

2.3.2 修复效果 上世纪 70 年代中后期至今,三江源草地的退化过程一直在继续发生,总体上不存在上世纪 90 年代至今的草地退化急剧加强现象^[66]。三江源地区从 2000—2010 年,生态系统经历了显著的退化和恢复过程^[67]。在生态恢复过程中,高覆盖度草地和湿地面积逐渐增加,这在一定程度上减轻了生态系统退化的趋势,单位面积土壤保持量达到 $0.93 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \sim 1.11 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。甘南退化高寒草地植被演替的方向将是杂类草取代禾草的优势地位,草地利用价值下降,草地也将继续退化^[68]。此外,还有一些学者对草地退化的认知度开展了一系列的研究,发现加大牧民环境保护和生态安全意识,能有效控制草地退化问题,并最终实现牧户生活幸福—自然资源可持续利用的良性循环^[52,69]。

2.3.3 草地退化过程中的主要特征 近年来,在自然和人为双重作用的影响下,黄河上游地区生态环境向着不利于人类发展的方向演化,草地退化问题日趋严重,草地退化使草地植被变得稀疏、低矮、地表裸露,易受水蚀、风蚀,加速了土地荒漠化进程,草地生态环境日趋恶化。基于此,专家学者们对黄河上游不同区域草地生态环境开展了研究(表 1)。

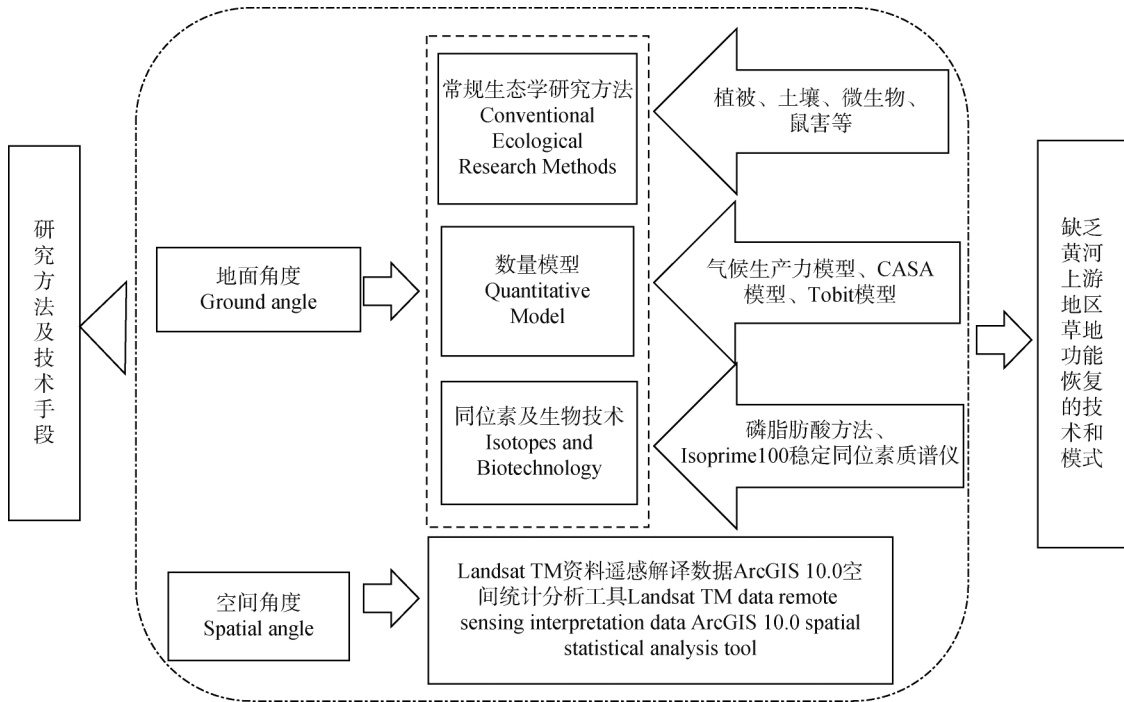


图 1 研究方法及技术手段

Fig. 1 Research methods and technical means

随着草地退化程度的加剧,三江源地区莎草科植物的盖度、地上/地下生物量、植被种类组成、多样性及重要值均受到影响,呈现明显降低趋势,毒杂草类占群落的比例随着退化程度的加剧呈上升趋势,草地生产力呈下降趋势,同时也引起了土壤性质的明显变化,诱发土壤侵蚀等问题^[59,70]。研究还发现不同程度退化也会导致土壤养分含量降低,引起土壤理化性状的改变,水源涵养量减少,生态服务功能减退^[14,63]。还有一些学者针对不同退化草地对土壤微生物和土壤微量元素的影响进行了研究,发现在不同退化草地土壤中的微量元素含量随退化程度的减轻逐渐增高^[71]。

祁连山草地生态环境依然存在如下问题:随着草地退化程度的加大,草地生态系统会发生优良牧草比例明显呈下降趋势,毒杂草比例明显上升,草地质量指数明显下降,生物多样性降低,群落结构向单一趋势演替等变化^[72-73]。其次,研究结果显示草地退化使土壤养分逐渐减少,土壤理化特性和酶活性也逐年恶化^[74-75],草地水源涵养供给能力也逐渐减弱^[76-77]。

甘南地区由于杂类草和毒害植物侵入以及气候条件的影响,造成草地生产力下降、水土流失、沙化严重等问题^[43,78],加上近年来人类过度放牧导致草地生态失衡,研究表明甘南州的草地覆盖率从 85% 以上逐渐降低为不足 45%,许多植物物种也濒临灭

绝^[79]。因为草地退化,一些优质的牧草也在减少,将造成家畜生长不平衡、家畜的质量下降等问题^[45]。

此外,由于草地植被退化导致的生态环境破坏,还会使黄河流域自然灾害的发生日益频繁。同时,草地退化后水分涵养能力降低,加上全球气候变暖,蒸发量增大,时逢枯水期就会造成江河断流^[80],进而严重影响地区工农业的正常生产和经济发展。

综上所述,草地退化普遍引起黄河上游地区杂草类植物比重增加、植物种类组成减少、群落结构逐渐单一、草地质量下降、生产力水平降低等变化,对地区土壤理化性质、土壤养分和酶活性产生直接的负面影响,使土壤含水量下降,同时引发自然灾害、河流断流等问题,制约地区经济健康稳定的发展。

3 草地生态功能提升技术模式

党的十八大以来,习近平总书记从新时代自然资源和生态系统管理的宏观视野提出了“山水林田湖草是生命共同体”原则^[81]。在该理念的指导下,统筹兼顾生态系统各要素,对生态系统进行整体保护、系统修复和综合治理,成为中国当前生态保护修复的重点任务^[82-83]。现阶段黄河上游生态工程实施主要包括建立国家级自然保护区、生态保护建设一

期、二期工程的实施以及生态保护与建设综合治理 规划等项目的启动和实施,具体见表 2。

表 2 黄河上游生态工程实施主要内容

Table 2 Main contents of ecological project implementation in the upper Yellow River

时间 Time	地区 Region	生态工程/项目 Ecological engineering/project
2003	三江源 Sanjiangyuan	青海省三江源国家级自然保护区建立
2005	三江源 Sanjiangyuan	三江源生态保护和建设一期工程开始实施
2012.12	祁连山 Qilian Mountains	国家发展改革委员会正式印发了《祁连山生态保护与建设综合治理规划》
2014	三江源 Sanjiangyuan	三江源生态保护和建设二期工程开始实施
2014.8	祁连山 Qilian Mountains	青海省祁连山生态保护与建设综合治理工程近日全面启动实施 甘南州发展和改革委员会将继续加大《甘南黄河重要水源补给生态功能区生态保护与建设规划》项
2016	甘南州 Gannan	目的实施;力争启动《甘肃“两江一水”区域综合治理规划》、甘南州国家生态文明先行示范区建设工作 和甘南州国家主体功能区建设试点工作
2019	祁连山 Qilian Mountains	祁连山工程生态监测项目前期准备工作已完成

为很好地推动黄河上游地区草地生态系统的整体保护、系统修复和综合治理,本文提出以下技术模式(图 2):①设置野外监测样带,结合遥感、模型方法和无人机技术,进行草地环境资源本底调查。②开展全球变化对不同类型高寒草地生态系统水土保持和水源涵养功能影响的过程和机理研

究,因地制宜、分类施策,研发自然恢复、人工干预和其他适应性退化草地恢复技术,提升土壤水土保持和水源涵养功能,增强草地生态系统适应性和承载力。③集成生态适应性综合管理与调控模式,建立长期监测平台,进行适应性管理体制机制创新及政策咨询。

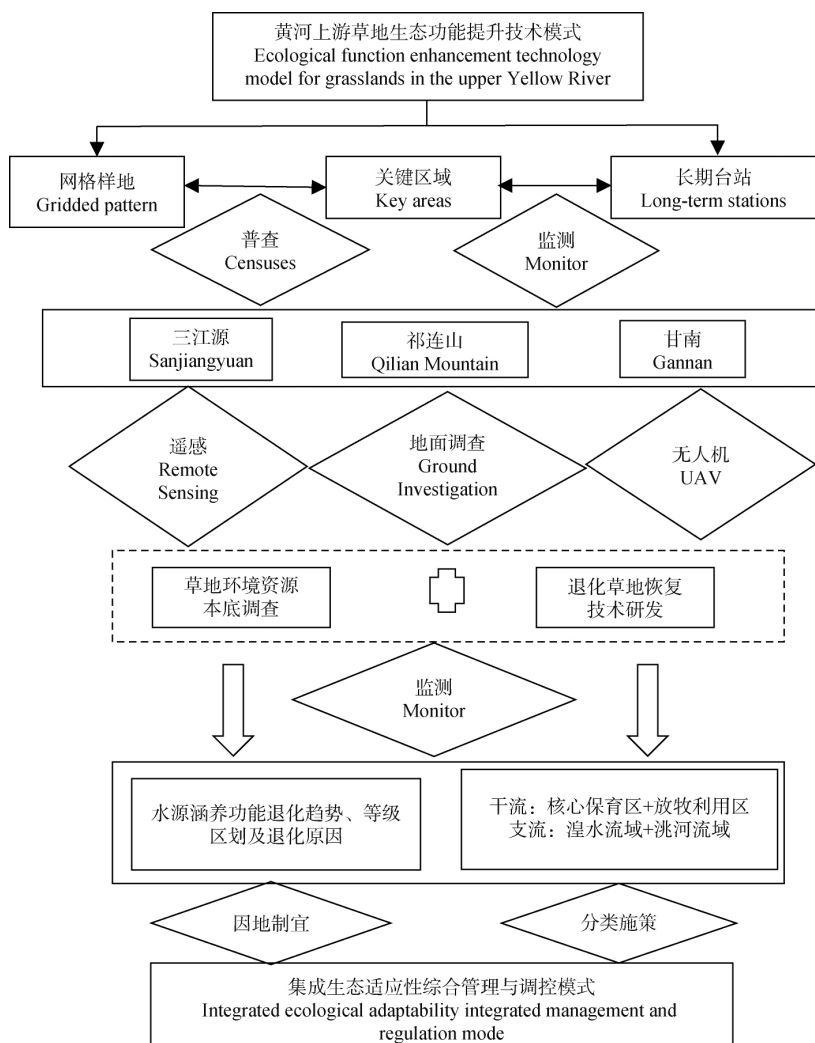


图 2 黄河上游草地生态功能提升技术模式流程图

Fig. 2 Technical model of ecological function improvement in the upper Yellow River Basin

3.1 本底调查

本底调查意在建立草地生态环境条件的起始值,有助于确定合理的草地恢复目标。同时,在生态工程实施前开展本底调查,对工程欲开展区域的水资源量、植被状况、土壤环境等基本环境因子进行调查,获得基础资料,可便于对比工程后期的实施效果。本底调查关键技术如图 3 所示,在黄河上游三江源国家公园黄河源区核心保育区(以下简称“核心保育区”)、三江源国家公园黄河源区传统利用区(以下简称“传统利用区”),祁连山(湟水流域)和甘南

(洮河流域)等典型草地生态系统设置野外监测样带,调查水资源量、植被状况以及其他资源环境基础数据。利用物种多样性、植物群落结构、物候、覆盖度、生产力以及土壤理化特征,分析高寒草地退化和沙化趋势,制定退化等级标准,确定等级区划。利用水资源量、植物生产力、人口、家畜数量及其分布格局,分析导致草地退化的生物和非生物驱动因素。全面评估黄河上游草地生态系统水土保持和水源涵养功能现状,并利用各地水资源禀赋分析水源涵养潜力。

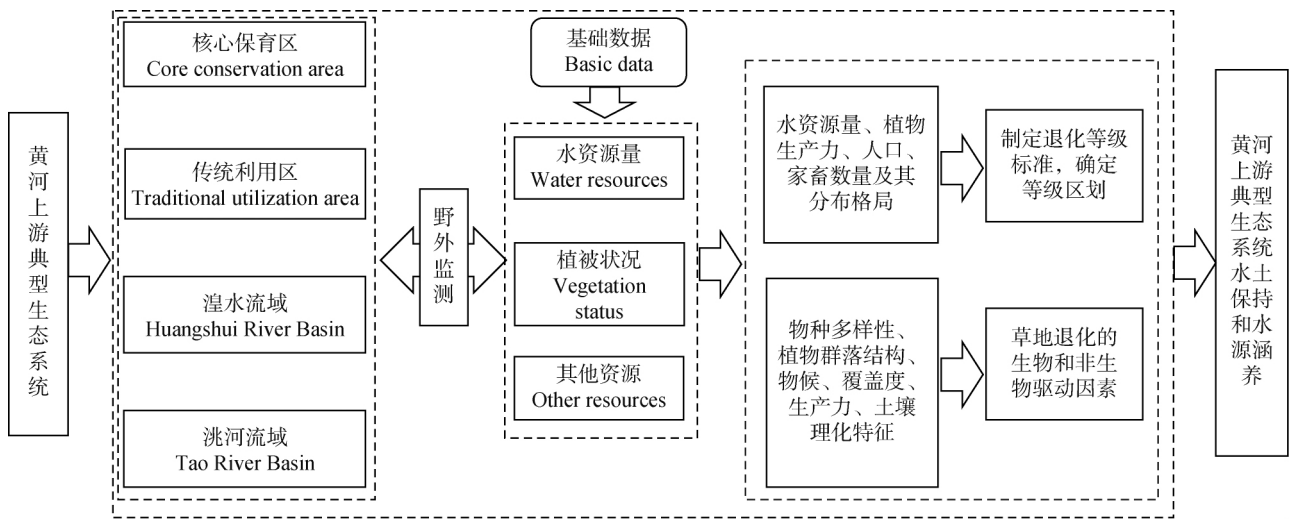


图 3 本底调查流程图

Fig. 3 Background investigation flow chart

3.2 草地恢复关键技术

3.2.1 草地恢复的生态学理念 草地退化是草地生态系统在其演化过程中,其结构特征和能流与物质循环等功能过程的恶化。草地恢复是促进草地生态系统可持续发展的重要途径,恢复方式主要取决于草地退化的程度。对尚未退化的草地进行合理的生态系统管理,控制草地载畜量,实行草地合理放牧管理;对于轻度退化的草地,应及时排除导致草地退化的因素,并进行适当的草地封育管理,通过演替自然恢复;对于严重退化的草地,可选用人工促进恢复^[84]。

3.2.2 核心保育区草地生态恢复关键技术 当前,在核心保育区,存在自然因素(气候暖干化、风蚀、鼠虫害、水土流失、沙化等)和人为因素(毁草种田、超载过牧、滥挖药材、工程建设、捕杀野生动物等)所导致的系列生态问题^[85]。针对该区生态问题,相关学者展开了大量关于草地生态恢复的技术研究,主要集中在高寒草地退化分级、农艺学措施建植、种质资源选育、驯化以及人工辅助等方面。例如李苗

等^[86]、尚占环等^[57]开展了种质资源选育、驯化研究,提出了分级、分类治理的思想;在此基础上,研发了生态恢复与生态衍生产业发展的综合技术体系,完善了生态恢复及产业发展模式评估和监测技术体系^[87]。董全民等^[56]将退化草地分为 3 种类型,针对不同类型提出适宜草种组合及相应的农艺措施。在种植资源选育方面学者们做了大量的试验,综合得出在黑土滩恢复治理过程中,禁止单播牧草植物,应至少有 2 种牧草以上的混播^[88-89]。赵新全等^[90]系统研发和集成了退化草地生态恢复重建技术,创建了兼顾生态保护和生产发展的管理新范式。综合来看,虽然研究技术取得了一定成果,但相比生态脆弱的环境现状,仍需要研发多种技术,例如植物根系固本复壮技术、冻土生态保育技术、毒杂草资源化利用、大型食草野生动物与放牧家畜调整技术等(图 4)。结合针对性较强的研发技术能够达到快速恢复退化草地植被同时持久性维护草地生态系统平衡的目的。

3.2.3 放牧利用区草地生态恢复关键技术 从相

关研究结果来看,黄河上游放牧利用区草地生态恢复的关键技术主要涉及高寒草地植被季节性放牧以及不同强度放牧对植物生长状况^[91]、土壤理化性质^[92-93]、土壤微生物^[94]、土壤呼吸^[95]以及群落结构、群落多样性^[96-97]等方面的影响。畜牧业技术制约着黄河上游草地畜牧业的发展。因此,亟需研发基于功能耦合理论、草畜平衡模式、季节营养动态的高寒牧区天然草地合理放牧技术和高寒牧区饲草资源高效利用及放牧家畜加速出栏技术,集成黄河上游典型区域适宜畜牧业可持续发展模式(图 4)。

3.2.4 不同生境区草地生态恢复关键技术(湟水流域、洮河流域) 不同生境区草地生态系统关键技术主要涉及典型草地生态系统对全球变化的响应、典型退化草地生态系统修复及稳定性维持、草地生态系统水源涵养空间特征、矿产废弃地草地生态环境修复与重建等方面关键技术(图 4)。

从典型草地生态系统对全球变化的响应来看,针对全球变化引起祁连山地区的降水增加、气温升高、水华暴发等生态问题^[98-99],关键技术主要涉及 3 个方面:①模拟增温和氮素添加以及二者互作对草地生态系统生态过程的影响。相关研究结论均得出模拟增温、添加氮素以及两者之间的交互效应对植物生长(如群落高度、地上生物量等)有促进作用^[20,100]。同时,氮素的添加能够增强土壤微生物的氮素转化,有利于草地的可持续利用。②植物活体、凋落物、根系、土壤碳含量变化对高寒草地生态系统碳截获的影响以及自然因素对氮素调控碳库的作用^[101-103];③土壤微生物群落生物量、群落多样性差异及功能^[104-105],从而揭示高寒草地退化对土壤微生物特性以及氮素转化和循环具有重要影响。

从典型退化草地生态系统修复及稳定性维持技术来看,针对高寒草地生态系统生产力下降、高覆盖草地面积减少、毒杂草蔓延、草地生态系统功能退化,草地载畜能力、固碳能力下降等问题,相关学者主要研发了人工辅助技术,即退化草地的分级分类治理技术。针对不同等级的退化高寒草地,共发展了 3 类综合配套技术:①近自然恢复技术,采用减轻放牧压力的方式,去除干扰、依靠自然恢复功能,适用于轻度退化草地;②免耕人工补播为主的半自然恢复技术,除杂草、有害生物防控,适用于中度和重度退化高寒草地;③人工改建辅助围栏封育技术,适用于极度退化的黑土滩^[106-107]。

从草地生态系统水源涵养空间特征研究来看,主要集中在草地生态系统服务功能价值评估及水源

涵养变化的驱动因素。例如,周传猛等^[19]综合评价了甘南天然草原健康状况,发现各县草地生态系统有向崩溃域方向发展的趋势;赵苗苗等^[108]对草地生态系统固碳释氧、水文调节、土壤保持、生物多样性等 16 种生态系统服务功能价值进行了全面的评估;雷声剑^[109]建立了生态服务价值估算模型,对祁连县高寒草地各项生态服务价值进行估算,并对其草地退化等级进行划分。以上结果表明,虽然评估结果的差别较大,但对认识草地生态系统服务功能的重要性和完善草地生态服务价值评估方法具有重要的科学的决策依据。

矿产废弃地草地生态环境修复与重建配套技术是当前应用性较强的恢复技术,但相关研究较少。主要是针对重要矿产废弃地形成的次生裸地,建立矿业废弃地土壤改良技术,筛选适宜、高效的乡土植物,建立适宜的物种搭配模式。例如,张江华等^[110]依据矿区自然条件及当地已有人工草种生物学特征,选择当地耐寒、耐土壤养分贫瘠的垂穗披碱草进行地质环境治理恢复。开展人工植被重建和植被管护的技术研究的同时,可开展重建植被自然恢复过程和监测重建植被与土壤协同演化过程的相关研究。

3.3 草地生态功能监测评估

开展区域草地生态系统服务功能的监测评估并优化生态补偿机制,形成生态适应性的综合管理模式与示范,对改善区域牧民生计与区域可持续发展具有现实意义。具体来看,研究主要集中在对草地生态系统服务功能及其价值的评估。例如,徐瑶等^[111]研究得出草地生态服务功能远大于其提供的生物量价值,因此必须从生态服务功能的理念出发去经营草地,从而实现草地的可持续发展。赵同谦等^[112]选取侵蚀控制、截留降水、土壤 C 累积、废弃物降解、营养物质循环和生境提供等主要生态系统服务功能,估算了中国草地生态系统服务的间接价值。陈颖等^[113]采用影子工程法、市场价值法、机会成本法等同样评估了草地生态系统服务功能的间接价值。根据现有对草地生态功能评估的结果,需要加强以下两方面的研究:一是研究受损草地生态系统工程治理的有效方法,探究景观格局与草地生态功能、生态健康的关系,确定维持生态系统健康的最大可干扰度(放牧、旅游),进而提出草地生态环境结构优化模式;二是针对草地生态结合草地生态系统的生态健康、稳定性、脆弱性、保护区功能、受损生态

系统修复等因素,并充分考虑多年来矿产开采、水电站建设、放牧、旅游等人类活动对地区草地生态的影响,提出表征草地生态环境质量的监测评价指标,建

立相应的评价方法和技术体系,开展草地生态环境本底、生态现状、生态承载力、稳定性、脆弱性的综合评价。

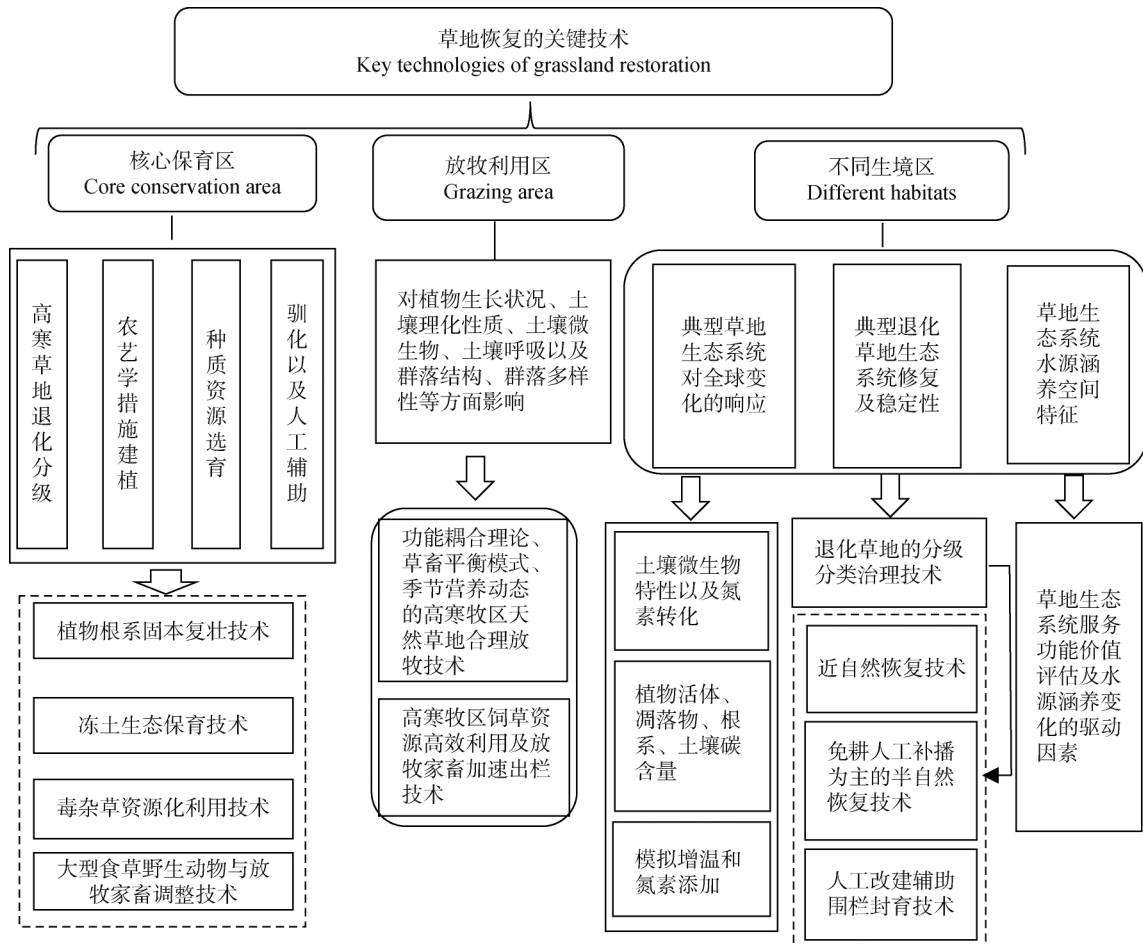


图 4 草地恢复的关键技术

Fig. 4 Key technologies of grassland restoration

3.4 草地适应性管理机制

草地适应性管理机制应以生态学理论为基础,实现草地生态系统的保护与恢复。草地资源危机的最大问题是管理,适应性管理是保障草地资源可持续利用的长久之计^[114-116]。虽然现行草地管理制度具有较好的社会效益,但牧民基层管理机制缺失,限制了生态工程的有效实施^[117],且现行的草地制度管理政策与家庭牧场差异性行为存在矛盾^[118]。通过有效管理可以促进牧民积极主动地参与生态保护,保障区域的可持续发展。有研究表明,有效地补偿牧户选择生态保护后所遭受的福利损失,是促进牧户积极主动地参与生态保护行为及区域实现生态经济可持续的关键^[119]。因此,需要开展多元共治的生态管理体制和差异化的草地区域模式研究。根据评估预警结果优化区域生态补偿机

制,建立区域适宜的生态补偿方案,从而形成生态适应性综合管理模式与示范。例如,建立保障当地居民利益的特许经营制度,这不仅能改善牧民生计,也为促进生态修复和可持续发展提供支撑和政策建议。

4 结论与展望

近年来,在国家自然保护区、国家公园等生态建设国家战略实施中,黄河上游草地生态环境的恢复和治理作为生态建设的重点工程,草地恢复的相关研究工作得到了极大进展。不论从理论、研究方法,还是技术和实际应用层面,在宏观和微观上均涉及。本文基于黄河上游草地退化、沙化,土地沙漠化,水土流失、水源涵养功能衰退、湿地萎缩和水资源减少

等诸多生态问题,系统梳理了核心保育区、传统利用区和不同生境区草地恢复的关键技术。但目前的草地生态恢复与治理的技术体系并不全面,如人工建植方式进行恢复有局限性。因此建议将更多的科研平台和资源纳入到黄河上游典型生态系统水源涵养功能维持和提升中去,提出新理论,研发更多草地恢复治理新技术,为有针对性分类施策、分类治理提供科技支撑。诸如针对高寒草地生态系统生产力下降、高覆盖草地面积减少、毒杂草蔓延、草地生态系统功能退化、草地载畜能力、固碳能力下降等问题,研发草地群落稳定性维持技术、高效农牧耦合模式技术和毒杂草人工繁育技术;开展退灌还水、旱作雨养种植技术研究,建立节水农业技术体系;研究水资源配置网络技术,提出流域内外水资源和水工程(引大济湟、引大济秦等)统一调度综合建议和措施,构建生态系统互补、丰枯调剂、循环通畅的水源涵养功能,提升水源涵养能力和保障能力;研发山区-河谷地高效农牧耦合模式技术和毒杂草人工繁育技术,探索毒杂草等有害生物资源的综合利用模式,变废、变害为宝。从而进一步改善黄河上游主要生态功能区区域性生态环境,保护动植物种质资源,为发展可持续草原畜牧业提供必要的条件,从而推进黄河上游地区生态农牧业的高质量发展。

参考文献

- [1] 刘小鹏,马存霞,魏丽,等. 黄河上游地区减贫转向与高质量发展[J]. 资源科学,2020,42(1):197-205
- [2] 徐辉,师诺,武玲玲,等. 黄河流域高质量发展水平测度及其时空演变[J]. 资源科学,2020,42(1):115-126
- [3] 袁丽华,蒋卫国,申文明,等. 2000—2010年黄河流域植被覆盖的时空变化[J]. 生态学报,2013,33(24):7798-7806
- [4] 唐芳芳,徐宗学,左德鹏. 黄河上游流域气候变化对径流的影响[J]. 资源科学,2012,34(06):1079-1088
- [5] 刘兴元,牟月亭. 草地生态系统服务功能及其价值评估研究进展[J]. 草业学报,2012,21(06):286-295
- [6] 张培栋,介小兵. 黄河上游甘肃段草地退化的现状及机理研究[J]. 草业科学,2007(09):1-4
- [7] 陈文业,郑华平,戚登臣,等. 黄河上游重大生态功能区草地逆型演替植物多样性变化研究[J]. 中国草地学报,2007,29(6):611
- [8] 苟照君,李英年,刘峰贵,等. 黄河上游高寒草地土壤全氮含量分布特征及其影响因素[J]. 生态学杂志,2019,38(09):2585-2594
- [9] 郑庆钟,徐先英,柳小平,等. 黄河上游玛曲草地沙化的分类及其防治[J]. 水土保持应用技术,2012(05):1-4,8
- [10] 刘彬,杨恒,徐凡,等. 基于MODIS数据的黄河流域草地景观演变分析[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版),2018,31(4):586591
- [11] 邵全琴,刘国波,李晓东,等. 三江源区2019年春季雪灾及草地畜牧业雪灾防御能力评估[J]. 草地学报,2019,27(5):1317-1327
- [12] 张颖,章超斌,王钊齐,等. 气候变化与人为活动对三江源草地生产力影响的定量研究[J]. 草业学报,2017,26(05):1-14
- [13] 邵全琴,樊江文,刘纪远,等. 基于目标的三江源生态保护和建设一期工程生态成效评估及政策建议[J]. 中国科学院院刊,2017,32(1):35-44
- [14] 肖桐,邵全琴,孙文义,等. 三江源高寒草甸典型坡面草地退化特征综合分析[J]. 草地学报,2013,21(03):452-459
- [15] 苏玉波,张福平,冯起,等. 祁连山典型小流域高寒草地生物量估算及空间分布特征[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版),2015,43(2):79-84
- [16] 宋伟宏,程慧波. 2000-2016年甘肃祁连山自然保护区土地覆被时空变化分析[J]. 安徽农业科学,2018,46(30):80-85
- [17] Lu Q, Wu S H, Zhao D S. Variations in alpine grassland cover and its correlation with climate variables on the Qinghai-Tibet Plateau in 1982-2013[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 32(2):292300
- [18] 张起鹏,王倩,张春花,等. 草地植被覆盖度变化及其驱动力:以甘肃藏族自治州玛曲县为例[J]. 中国农业资源与区划,2014,35(4):58-62
- [19] 周传猛,蒲小鹏,陈垣,等. 天然草地生态系统健康评价体系构建及定量评估:以甘肃省甘南藏族自治州草原为例[J]. 甘肃农业大学学报,2014,49(06):114-118,124
- [20] 张瑶瑶. 甘南州草地土壤有机碳、全氮空间分布特征及影响因素分析[D]. 兰州:兰州大学,2019:10
- [21] Pau S, Wolkovich E M, Cook B I, et al. Predicting phenology by integrating ecology, evolution and climate science[J]. Global Change Biology, 2011, 17(12):3633-3643
- [22] 刘晓东,许静. 黄河上游地区草地经济可持续发展探索[J]. 安徽农学通报(下半月刊),2010,16(06):3-5
- [23] 陈桂琛,刘光秀, Liu Kambiu, 等. 黄河上游地区植被特征及其与毗邻地区的关系[C]//中国科学院西北高原生物研究所. 高原生物学集刊. 北京:科学出版社,1999,14:11-18
- [24] 王庆锁,李梦先,李春和. 中国草地退化及治理对策[J]. 中国农业气象,2004(03):41-44+48
- [25] Ni J. Carbon storage in grasslands of China[J]. Journal of Arid Environments, 2002, 50(2):205-218
- [26] 郎永斌. 甘肃省肃南县天然草地资源特征及退化类型[J]. 中国草地学报,2008,30(03):100-105
- [27] 李旭谦,杜铁瑛. 青海天然草地的不同退化类型[J]. 青海草业,2015,24(03):49-52
- [28] 黄文娟. 青海省贵德县退化草地类型及治理对策[J]. 草业与畜牧,2010(07):31-32
- [29] 许茜,李奇,陈懂懂,等. 近40a三江源地区土地利用变化动态分析及预测[J]. 干旱区研究,2018,35(03):695-704
- [30] 张文娟. 气候变化与放牧管理对三江源草地生物量和土壤有机碳的影响[D]. 兰州:兰州大学,2018:1-6
- [31] 高雅灵,林慧龙,周祯莹,等. 三江源地区可持续发展的生态足迹[J]. 草业科学,2019,36(01):11-19
- [32] 耿晓平,李红梅,申正涛,等. 三江源区气候变化及其对草地植被的影响分析[J]. 青海科技,2019,26(04):83-87

- [33] Walling D E, Quine T A. Use of Caesium-137 as a tracer of erosion and sedimentation: Handbook for the application of the Caesium-137 technique(U. K. Overseas Development Administration Research Scheme R4579)[M]. Department of Geography, University of Exeter, Exeter, 1993: 15-34
- [34] 戎战磊. 气候变化对祁连山优势物种分布和植被格局的影响[D]. 兰州:兰州大学, 2019: 11-13
- [35] 刘俊杰. 围封对祁连山高寒草甸优势物种和植物群落光合特性的影响及生产力模拟研究[D]. 兰州:兰州大学, 2019: 18-20
- [36] 李肖娟. 气候变化和人类活动对祁连山草地演变影响程度的研究[D]. 西安:陕西师范大学, 2018: 11-14
- [37] 王雅琼, 张建军, 李梁, 等. 祁连山区典型草地生态系统土壤抗冲性影响因子[J]. 生态学报, 2018, 38(01): 122-131
- [38] 王顺利, 王荣新, 敬文茂, 等. 祁连山干旱山地草地生物量对水分条件的响应[J]. 干旱区地理, 2017, 40(04): 772-779
- [39] 贾文雄, 陈京华. 1982-2014年祁连山植被生长季NDVI变化及其对气候的响应[J]. 水土保持研究, 2018, 25(02): 264-268
- [40] 赵玉婷. 近13年甘南州草地生态系统健康动态评价[D]. 兰州:兰州大学, 2016: 7-10
- [41] 武瑞鑫, 刘月华, 张德罡, 等. 甘南草地现状与可持续发展问题分析——以夏河地区桑科乡为例[J]. 草业科学, 2014, 31(10): 1966-1975
- [42] 姚文杰. 甘南牧区草地生态补偿绩效评价[D]. 兰州:兰州大学, 2017: 10-14
- [43] 马爱霞. 甘肃黄河上游主要生态功能区草原退化成因及治理对策浅析[J]. 草业与畜牧, 2009(04): 31-34
- [44] 罗永忠, 郭小芹, 刘珍珍. 1961-2013年气候变化对祁连山草地生产力影响评价[J]. 山地学报, 2017, 35(04): 437-443
- [45] 贺海燕, 韩步龙. 甘南牧区草地生态现状及对气候变化的响应[J]. 绿色科技, 2019(08): 31-32
- [46] 汪治桂, 冯景昌, 康学红. 甘南牧区草地生态现状及对气候变化的响应[J]. 甘肃农业, 2012(02): 14-15
- [47] Warner K, Hamza A M, Oliver-Smith, *et al.* Climate change, environmental degradation and migration[J]. *Natural Hazards*, 2010, 55(3): 689-715
- [48] 武胜男, 张曦, 高晓霞, 等. 三江源区“黑土滩”型退化草地人工恢复植物群落的演替动态[J]. 生态学报, 2019, 39(07): 2444-2453
- [49] 张蕊, 李飞, 王媛, 等. 三江源区退化天然草地和人工草地生物量碳密度特征[J]. 自然资源学报, 2018, 33(02): 185-194
- [50] 张振海. 祁连山退化草地恢复及可持续利用技术[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2020, 32(03): 11-12, 76
- [51] 陈雪花, 杨静. 祁连山东部不同退化草地土壤细菌群落与环境因子的关系研究[J]. 西部林业科学, 2020, 49(01): 1-8, 15
- [52] 王丽佳, 刘兴元. 甘肃牧区草地退化影响因素分析——以甘南、肃南和天祝牧户为例[J]. 内蒙古农业大学学报(社会科学版), 2016, 18(05): 12-17
- [53] 闫颖慧, 胡小霞. 基于灰色关联法的甘南草地退化影响因素分析——以碌曲县为例[J]. 生态经济, 2010(02): 135-137, 143
- [54] 彭祺, 王宁. 不同放牧制度对草地植被的影响[J]. 农业科学研究, 2005(01): 27-30
- [55] 王文颖, 赵明德, 杨冲, 等. 人工草地氮素分流: 青藏高原野外~(15)N示踪实验研究(英文)[J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 2016, 32(03): 71-79
- [56] 董全民, 马玉寿, 许长军, 等. 三江源区黑土滩退化草地分类分级体系及分类恢复研究[J]. 草地学报, 2015, 23(03): 441-447
- [57] 尚占环, 董全民, 施建军, 等. 青藏高原“黑土滩”退化草地及其生态恢复近10年研究进展: 兼论三江源生态恢复问题[J]. 草地学报, 2018, 26(01): 1-21
- [58] 刘洁, 孟宝平, 葛静, 等. 基于CASA模型和MODIS数据的甘南草地NPP时空动态变化研究[J]. 草业学报, 2019, 28(06): 19-32
- [59] 段中华, 乔有明, 全小龙, 等. 黄河源区湿地、草地土壤理化性质和碳氮组成及其稳定同位素特征分析[J]. 水土保持学报, 2015, 29(04): 247-252, 315
- [60] 胡雷, 王长庭, 王根绪, 等. 三江源区不同退化演替阶段高寒草甸土壤酶活性和微生物群落结构的变化[J]. 草业学报, 2014, 23(03): 8-19
- [61] 孙海群, 林冠军, 李希来, 等. 三江源地区高寒草甸不同退化草地植被群落结构及生产力分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2013(19): 1-3
- [62] 朱霞, 钞振华, 杨永顺, 等. 三江源区“黑土滩”型退化草地时空变化[J]. 草业科学, 2014, 31(09): 1628-1636
- [63] 吴丹, 曹巍, 邵全琴, 等. 三江源地区草地退化对土壤含水量的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2018, 42(03): 182-186
- [64] 徐新良, 王靓, 李静, 等. 三江源生态工程实施以来草地恢复态势及现状分析[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(1): 50-58
- [65] 马素洁, 花蕊, 张飞宇, 等. 基于RUE和NDVI的三江源区草地生态评价[J]. 草原与草坪, 2018, 38(02): 33-40
- [66] 刘纪远, 徐新良, 邵全琴. 近30年来青海三江源地区草地退化的时空特征[J]. 地理学报, 2008(04): 364-376
- [67] 康惠惠, 潘韬, 盖艾鸿, 等. 生态退化与恢复对三江源区土壤保持功能的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(03): 7-14
- [68] 陈文业, 戚登臣, 李广宇, 等. 甘南高寒退化草地生态位特征及生产力研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(01): 80-90
- [69] 李惠梅, 张安录. 基于结构方程模型的三江源牧户草地生态环境退化认知研究[J]. 草地学报, 2015, 23(04): 679-688
- [70] 伍星, 李辉霞, 傅伯杰, 等. 三江源地区高寒草地不同退化程度土壤特征研究[J]. 中国草地学报, 2013, 35(03): 77-84
- [71] 江泽慧. 加强祁连山北麓生态环境保护 and 治理工作[J]. 今日国土, 2009(03): 6-7
- [72] 张静, 李希来, 季刚. 三江源地区不同退化草地群落特征分析[J]. 安徽农业科学, 2008(18): 7738-7740, 7799
- [73] 张建贵, 王理德, 姚拓, 等. 祁连山高寒草地不同退化程度植物群落结构与物种多样性研究[J]. 草业学报, 2019, 28(05): 15-25
- [74] 秦嘉海, 张勇, 赵芸晨, 等. 祁连山黑河上游不同退化草地土壤理化性质及养分和酶活性的变化规律[J]. 冰川冻土, 2014, 36(02): 335-346
- [75] 张静, 李希来, 王金山, 等. 三江源地区不同退化程度草地群落结构特征的变化[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(09): 2125-2129
- [76] 张佳宁. 祁连山北坡高寒草地退化现状及应对策略[J]. 草业科学, 2014, 31(04): 776-781
- [77] 赵忠, 何毅, 贾生福, 等. 肃北县草原资源调查[J]. 草业科学,

- 2010,27(11):53-65
- [78] 戚登臣,陈文业,郑华平,等. 甘南黄河上游水源补给区“黑土滩”型退化草地现状、成因及综合治理对策[J]. 中国沙漠, 2008(06):1058-1063
- [79] 马玉秀,吴世仁. 甘南州高寒草地退化及草地资源可持续利用对策[J]. 农业科技与信息,2008(08):17-18
- [80] 胡彩虹,王纪军,柴晓玲,等. 气候变化对黄河流域径流变化及其可能影响研究进展[J]. 气象与环境科学,2013,36(02):57-65
- [81] 成金华,尤喆. “山水林田湖草是生命共同体”原则的科学内涵与实践路径[J]. 中国人口·资源与环境,2019,29(02):1-6
- [82] 中共中央,国务院. 生态文明体制改革总体方案[EB/OL]. http://www.gov.cn/guowuyuan/2015-09/21/content_2936327.htm,2015-09-21/2018-04-01
- [83] 财政部,国土资源部,环境保护部. 关于推进山水林田湖生态保护修复工作的通知(财建[2016]725号)[EB/OL]. (2016-09-30)[2018-04-01]. http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefagui/201610/t20161008_2432147.html,2016-09-30/2018-04-01
- [84] 龙瑞军,董世魁,胡自治. 西部草地退化的原因分析与生态恢复措施探讨[J]. 草原与草坪,2005(06):3-7
- [85] 周华坤,姚步青,于龙,等. 三江源区高寒草地退化演替与生态恢复[M]. 北京:科学出版社,2016:47-53
- [86] 李苗,马玉寿,李世雄,等. 黑河上游黑土滩退化草地植被恢复实验研究[J]. 青海畜牧兽医杂志,2015,45(6):7-10
- [87] 马玉寿,周华坤,邵新庆,等. 三江源区退化高寒生态系统恢复技术与示范[J]. 生态学报,2016,36(22):7078-7082
- [88] 石德军,李希来,杨力军,等. 不同退化程度“黑土滩”草地群落特征的变化及其恢复对策[J]. 草业科学,2006(07):1-3
- [89] 施建军,洪绶曾,马玉寿,等. 人工调控对禾草混播草地群落特征的影响[J]. 草地学报,2009,17(6):745-751
- [90] 赵新全,周华坤,赵亮,等. 三江源区退化草地生态系统恢复及可持续管理[M]. 北京:科学出版社,2011:207-223
- [91] 秦金萍,马玉寿,李世雄,等. 春季放牧强度对祁连山区青海草地早熟禾人工草地牧草生长的影响[J]. 青海大学学报,2019,37(04):1-6
- [92] 李凤霞,李晓东,周秉荣,等. 放牧强度对三江源典型高寒草甸生物量和土壤理化特征的影响[J]. 草业科学,2015,32(01):11-18
- [93] 齐洋,姜群鸥,郭建斌,等. 季节性放牧对甘南高寒草地植被和土壤理化性质的影响[J]. 草地学报,2019,27(02):306-314
- [94] 盛海彦,李松龄,曹广民. 放牧对祁连山高寒金露梅灌丛草甸土壤微生物的影响[J]. 生态环境,2008,17(06):2319-2324
- [95] 解欢欢. 祁连山天涝池流域亚高山草地土壤呼吸对放牧的响应[D]. 兰州:兰州大学,2017:50-52
- [96] 韦应莉. 东祁连山灌丛草地土壤微生物量及群落结构对放牧和围封的响应[D]. 兰州:甘肃农业大学,2018:44-45
- [97] 徐广平,张德罡,徐长林,等. 放牧干扰对东祁连山高寒草地植物群落物种多样性的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2005(06):789-796
- [98] 俞力元. 祁连山生态环境现状及其保护对策[J]. 甘肃农业科技,2020(04):86-89
- [99] 汪有文. 祁连山生态环境问题及治理措施[J]. 吉林农业,2018(22):128
- [100] 郭红玉,德科加,芦光新,等. 模拟增温和添加氮素对高寒草甸草地生产力影响的初步研究[J]. 草地学报,2015,23(02):322-327
- [101] 温小成,芦光新. 模拟增温和氮素添加对高寒草地植物群落的影响[J]. 草业与畜牧,2015(02):38-43
- [102] 车宗玺,张学龙,敬文茂,等. 气候变暖对祁连山草甸草原土壤氮素矿化作用的影响[J]. 甘肃林业科技,2006(01):1-3,11
- [103] 解欢欢,马文瑛,赵传燕,等. 苔藓和凋落物对祁连山青海云杉林土壤呼吸的影响[J]. 生态学报,2017,37(05):1379-1390
- [104] 马源,杨洁,张德罡,等. 高寒草甸退化对祁连山土壤微生物生物量和氮矿化速率的影响[J]. 生态学报,2020,40(08):1-11
- [105] 朱平,陈仁升,宋耀选,等. 祁连山不同植被类型土壤微生物群落多样性差异[J]. 草业学报,2015,24(06):75-84
- [106] 马玉寿,董全民,施建军,等. 三江源区“黑土滩”退化草地的分类分级及治理模式[J]. 青海畜牧兽医杂志,2008(03):1-3
- [107] 马玉寿,张自和,董全民,等. 恢复生态学在“黑土型”退化草地植被改建中的应用[J]. 甘肃农业大学学报,2007(02):91-97
- [108] 赵苗苗,赵海凤,李仁强,等. 青海省1998—2012年草地生态系统服务功能价值评估[J]. 自然资源学报,2017,32(03):418-433
- [109] 雷声剑. 祁连山高寒草地生态系统服务价值评估与生态补偿研究[D]. 西安:陕西师范大学,2016:59-61
- [110] 张江华,王葵颖,徐友宁,等. 矿采对高寒草地的影响及植被恢复技术[J]. 地质通报,2018,37(12):2260-2263
- [111] 徐瑶,陈涛. 藏北草地退化与生态服务功能价值损失评估——以申扎县为例[J]. 生态学报,2016,36(16):5078-5087
- [112] 赵同谦,欧阳志云,贾良清,等. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价[J]. 生态学报,2004,24(06):1101-1110
- [113] 陈颖,孙勇,曾冠岚,等. 辽河保护区草地生态系统服务功能间接价值评估[J]. 生态科学,2015,34(01):103-109
- [114] 杨理,杨持. 草地资源退化与生态系统管理[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版),2004,35(2):205-208
- [115] 孙特生,胡晓慧. 基于农牧民生计资本的干旱区草地适应性管理——以准噶尔北部的富蕴县为例[J]. 自然资源学报,2018,33(05):761-774
- [116] 孙建,张振超,董世魁. 青藏高原高寒草地生态系统的适应性管理[J]. 草业科学,2019,36(04):933-938
- [117] 杨明岳,董世魁,梁菁,等. 牧民决策机制对高寒草地可持续发展的作用——以青海省共和、贵南两县为例[J]. 草业科学,2018,35(08):2039-2048
- [118] 何欣,牛建明,郭晓川,等. 典型草原家庭牧场草地资源利用行为分异机制及管理策略研究[J]. 草业学报,2013,22(04):257-265
- [119] 李惠梅,张安录,杨欣,等. 牧户响应三江源草地退化管理的行为选择机制研究——基于多分类的 Logistic 模型[J]. 资源科学,2013,35(07):1510-1519

(责任编辑 闵芝智)