

三江源区草地生态恢复及 可持续管理技术创新和应用

赵新全^{1,7} 周青平⁴ 马玉寿² 董全民³ 周华坤^{1,7*}
徐世晓^{1,7} 施建军³ 赵亮^{1,7} 王文颖⁵ 汪新川^{6,7}

(1.中国科学院西北高原生物研究所,西宁 810008;2.青海大学,西宁 810016;
3.青海省畜牧兽医科学院,西宁 810016;4.西南民族大学,成都 610000;
5.青海省牧草良种繁殖场,同德 813201;6.青海师范大学,西宁 810016;
7.青海省寒区恢复生态学重点实验室,西宁 810008)

摘要:该项目瞄准青藏高原生态安全的国家战略需求,针对区域植被退化严重、生态治理技术薄弱和生态畜牧业发展滞后的现状,以生态系统可持续发展为前提,以植被恢复为主线,以生态—生产—生活系统集成为核心内容,科学认知了气候变化及人类活动对草地生态系统的影响及其响应,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,为国家生态安全战略及生态文明建设提供了理论依据、技术支撑和创新模式。项目育成牧草新品种 11 个,获得发明及实用新型专利 5 件,编制技术规程 40 项,发表论文 451 篇,完成咨询报告 1 份,建议 1 份。累计生产牧草良种 36.6 万 t,用于青藏高原及北方草地退化治理面积达 267 万 hm²。研发集成退化草地 3 大类综合恢复治理技术体系,建植黑土滩退化草地治理示范区 1.4 万 hm²,指导完成黑土滩退化草地治理 35 万 hm²,天然草地补播改良 112 万 hm²,退牧还草 733 万 hm²。建立饲草料生产示范总面积 38 万 hm²,牛羊营养均衡养殖基地 2 个,近三年健康养殖牛羊 75 万只羊单位。牧草良种及牛羊营养均衡饲养累计销售收入达到 2.37 亿元。完成科技培训 2000 人次。通过成果推广,有效促进了三江源区生态功能恢复、生态移民后续产业发展和社会和谐稳定,推动区域草畜牧业生产方式转变,实现了区域生态保护和社会发展的共赢。该项研究历时长,涉及领域广,成果内容丰富,生态、社会和经济效益明显,为国家三江源生态保护与恢复建设工程提供了有力的理论依据和技术支撑。

关键词:三江源区;草地;生态恢复;生态功能;可持续管理

三江源之生态地位和区域可持续发展为世界科学界和社会所关注。然而,源区经历了显著的气候变化和社会发展影响,面临一系列的问题和挑战,急需科学认识气候变化及人类活动对主要生态系统的影响及其响应,急需系统研发和集成退化草地生态恢复重建技术,急需创建兼顾生态保护和生产发展的管理新范式。针对上述重大需求,中国科学院西北高原生物研究所、青海大学、青海省畜牧兽医科学院、西南民族大学、青海省牧草良种繁殖场、青海师范大学和青海省寒区恢复生态学重点实验室的多位

专家学者,近 20 多年来系统研究了草地退化的机理与恢复途径,以提高草地生态系统的生产力、碳固持和生物多样性维持能力提升为目标,建立区域生态恢复技术体系、提供生态保护与区域发展双赢的系统解决方案,为国家生态安全战略及生态文明建设提供了理论依据、技术支撑和创新模式。

1 项目整体框架及研究思路

围绕青藏高原生态屏障建设和可持续发展重大战略需求,针对三江源退化草地恢复原理、技术与草

基金项目:青海省创新平台建设专项(2017-ZJ-Y20,2016-ZJ-Y01);国家重点研发计划课题(2016YFC0501901,2016YFC0501905);省部共建三江源生态与高原农牧业国家重点实验室开放研究项目(2017-KF-02);青海省自然科学基金面上项目(2016-ZJ-910)。

* 通讯联系人:hkzhou@nwipb.cas.cn

地可持续管理,开展了长期监测、实验研究、技术创新和集成推广,系统阐明了三江源草地退化过程、机理及恢复原理和途径,创建了退化草地生态恢复治

理技术及模式,集成了区域草地畜牧业持续生产技术和新范式(图1)。

2 主要科技创新

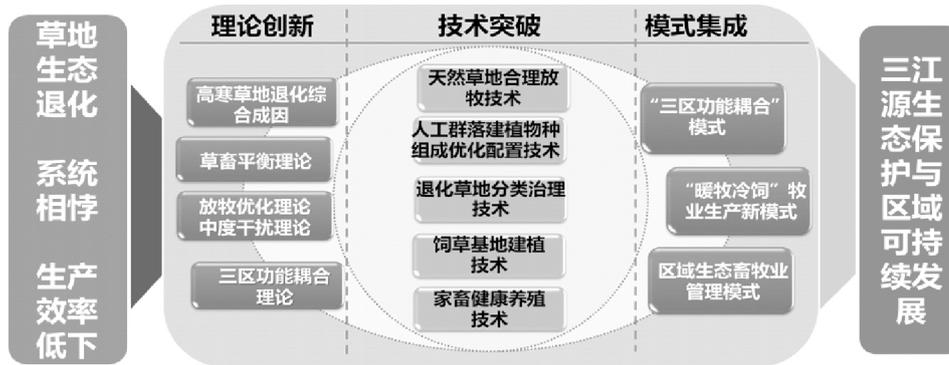


图1 项目整体框架及研究思路

2.1 高寒草地生态系统退化机理及恢复途径

围绕气候变化及人类活动对草地生态系统影响的科学问题,系统回答了天然草地退化原因,阐明了自然驱动和人为干扰对高寒草地的影响过程及贡献率,建立了高寒草地退化阶段定量评价体系,制定了不同程度退化草地分类分级标准2套,为退化草地生态恢复提供了理论基础和科学依据。

2.1.1 系统阐明了高寒草地生态系统退化过程及其原因

在三江源适度放牧有利于高寒草地生态系统多样性和生态功能维持,过度放牧改变“植被—土壤—大气”界面之间的能量流动和水分调节,引起高寒草地退化。过度放牧使高寒草地生态系统土壤—植被—微生物—种子库各生态因子的协同性失衡,导致系统结构紊乱、功能衰退,自我修复能力逐步丧失。随着退化程度增强,土壤有机质(13%降至6%)、脲酶活性(1.8 mg/g 降至 1.3 mg/g)和含水量(36%降

至17%)都有不同程度的下降,植物正常生长发育受到抑制,物种数由22种下降为15种,优良牧草比例由84%降至4%。进一步通过层次法分析证明,三江源草地退化是由人为和自然因素综合作用的结果,68%来自人类活动,32%来自气候的异常扰动(周华坤等,2016)。

2.1.2 制定了不同程度退化草地分级标准

依据植被覆盖度、生物量、可食牧草比例和土壤有机质等参数,以原生植被为对照,将退化草地划分为轻度、中度、重度及极度4个等级,建立了高寒草地退化的等级划分与评判标准(表1)。为退化草地分类治理提供依据。

2.2 退化草地生态恢复技术创新及集成推广

围绕区域退化草地生态恢复的重大需求,从适宜牧草新品种选育入手,创新草地生态恢复技术及其模式的集成,建立了青藏高原第1个草种质资源圃,选育多年生牧草新品种6个,研制发明了27项

表1 三江源退化草地评价等级标准

退化等级	植被盖度(%)	地上生物量比例(%)	可食牧草比例(%)	可食牧草高度(cm)	土壤有机质含量(g/kg)
原生植被	>80	>75	>75	>25	>200
轻度退化	60~80	50~75	50~75	下降 3~5	150~200
中度退化	30~60	30~50	30~50	下降 5~10	100~150
重度退化	10~30	15~30	15~30	下降 10~15	50~100
极度退化	<10	<15	几乎为零		<50

草籽生产及退化草地生态恢复的实用技术,集成退化草地3大类综合恢复治理模式,为三江源退化草地生态—生产功能提升提供了先进技术、优化模式和稳定维持的措施与对策。

2.2.1 种质资源创制与牧草新品种选育

探明了青藏高原特有草种质材料的主要分布情况,创建了由青海环湖地区、四川若尔盖、西藏拉萨3个青藏高原牧草种质资源圃,建立了青藏高原草种质资源数据库及管理平台,制定的《野生牧草种质资源野外采集技术规范》已经被农业部认定和推广;采集和评价了青藏高原辖区内特有草种资源3791份,收集到国家一级保护植物9种、二级保护植物6种,收集燕麦种质资源占到了我国燕麦资源的1/4,占世界高海拔地区皮燕麦资源的1/2,填补了国家种质资源库青藏高原野生特有草种质资源的空白。

驯化选育出适宜高寒牧区牧用型、生态型和刈用型多年生牧草新品种6个。

2.2.2 退化草地恢复技术创新与集成

针对不同等级的退化高寒草地,研发出综合配套技术。轻度退化高寒草地采用减轻放牧压力为主的近自然恢复技术;中度和重度退化高寒草地采用免耕补播和有害生物防控为主的半自然恢复技术;极度退化高寒草地采用植被重建为主的人工恢复技术(表2)。以垂穗披碱草和短芒披碱草等上繁草、青海草地早熟禾和青海冷地早熟禾等下繁草为主,优化出适宜不同类型及退化等级高寒草地人工建植的8套群落优化配置方案。这些恢复模式和技术措施已在三江源开展了多年的应用与推广,取得了显著的生态和经济效益,为三江源退化草地恢复治理提供了技术支撑。

表2 不同等级退化高寒草地恢复技术措施

退化高寒草地等级	恢复技术	措施
轻度退化高寒草地	近自然恢复技术	合理轮牧
		有害生物防治+禁牧
中、重度退化高寒草地	半自然恢复技术	有害生物防治+施肥+禁牧
		毒草防除+施肥+禁牧
极度退化高寒草地 (黑土滩)	人工恢复技术	有害生物防治+免耕补播+施肥+禁牧
		鼠害防治+刈用型人工草地
		鼠害防治+放牧型人工草地
		鼠害防治+生态型人工草地

2.2.3 恢复功效评价及稳定性维持

基于成果中退化草地治理技术,完成免耕补播112万 hm^2 ,推广治理黑土滩35万 hm^2 。治理区植被覆盖度提高3.2%,退化草地减少54.26万 hm^2 ,草地平均产草量增加116 kg/hm^2 ,人工草地利用年限延长10年,载畜压力指数降低0.81,年均水土保持服务能力提升0.88亿t,草地退化态势明显得以遏制(表3)。

编制了高寒草地稳定性管理和维持手册,突破了人工草地利用年限短和黑土滩人工植被稳定性低的瓶颈,实现了退化草地恢复和人工草地植被群落长期稳定及生产力可持续维系。依据三江源立地条件、水热条件、牧草生长过程和特征,提

出分段式人工草地持续利用规范,即:建植后第1年禁牧;第2年生长期(5~10月份)禁牧,枯草期放牧,牧草利用率为70%~90%;第3年以后,牧草返青期(5~6月份)禁牧,生长期放牧,牧草利用率为40%~50%,枯草期放牧,牧草利用率为70%~90%。

2.3 区域可持续发展双赢模式构建及推广应用

围绕区域可持续发展战略需求,创新区域草地畜牧业发展理论,研发集成天然草地合理利用、放牧家畜营养均衡饲养技术体系,构建三江源生态—生产—生活相协调的草地畜牧业生产新范式,为青藏高原高寒草地合理利用及草地生态功能维持管理提供科学依据、先进技术和优化模式,有效缓解冷季饲

表3 技术模式应用前后的效果比较

时期	1975年-2004年	2005年-2012年	变化效果
退化草地总面积(km ²)	88082.07	82656.26	-5425.81
草地植被覆盖度(%)	47.15	50.34	+3.19
草地平均产草量(kg/hm ²)	533	649	+116
载畜压力指数 ¹⁾	2.19	1.38	-0.81
人工草地利用年限(年)	3至5年	14至16年	10至11年
年均土壤保持服务量 ²⁾ (亿t)	6.35	7.23	+0.88

1) 载畜压力指数是实际载畜量与理论载畜量的比值

2) 土壤保持服务量是潜在土壤蚀量与现实土壤水蚀量之差

草匮乏、减轻冬春草地放牧压力,为解决青藏高原草—畜季节性失衡提供强有力草种保障、技术支撑和实现途径。

2.3.1 天然草地合理放牧持续利用

建立了未退化高寒草甸合理放牧利用策略和放牧牦牛季节性营养平衡对策,验证了家畜放牧与高寒草甸植物相互作用的协同进化理论和中度干扰理论,构建了三江源未退化天然草地放牧利用原则和策略。提出了三江源未退化草地的“用半留半”合理利用原则,高寒草甸全年适宜放牧强度为1.54~2.52羊单位/hm²;适度放牧可维持较高植物物种丰富度(物种在35种以上)和草地初级生产力,有助于草地的养分循环和稳定性维系,有利于高寒草甸生态系统碳固持。

2.3.2 家畜营养均衡饲养技术

构建了高寒地区燕麦生产“新品种选育—良种扩繁—丰产栽培—加工利用”标准化生产成套技术体系。选育青藏高原适宜优质饲草新品种5个,建立新品种国家种子基地主导燕麦良种繁育,占青藏高原燕麦种子用量95%;累计建立饲草料基地15.56万hm²,生产优质饲草料172.2万t。为实现家畜营养均衡饲养提供了饲草保障。

研发高寒牧区牦牛和藏羊冷季营养均衡饲养技术,系统规范了牦牛和藏羊冷季补饲日粮组成、饲喂方式、饲养管理、疫病防治等关键环节,创新集成高寒牧区放牧家畜季节性营养均衡调控技术体系,突破传统方式下牦牛和藏羊冷季减重(约为-93g/d和-49g/d)瓶颈,而冷季补饲日增重约为680g/d和

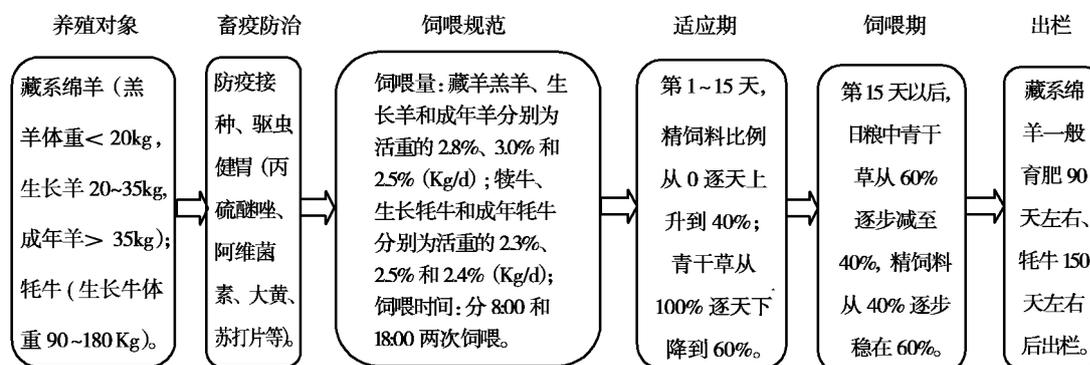


图2 高寒牧区牦牛和藏羊冷季营养均衡饲养技术

160g/d(见图2)。

2.3.3 区域适宜耦合模式构建与应用

基于三江源纯牧业区、农牧交错区与河谷农业区三大地理分区的生态功能特征分异,提出三江源

“三区功能耦合理论”,纯牧业区重点实施牦牛和藏羊放牧繁育,农牧交错区以优良饲草基地建设,河谷农业区以农副产品资源高效利用为核心,实现饲草与家畜的时空互补、资源互作和资金与信息激活效

应。牦牛和藏羊冷季健康养殖出栏减畜达 183.76 万羊单位 / 年，为缓解三江源牧草生产与家畜营养需

求时空相悖的矛盾提供了创新模式(图 3)。

凝练出“天然草地‘用半留半’模式”、“草地资源

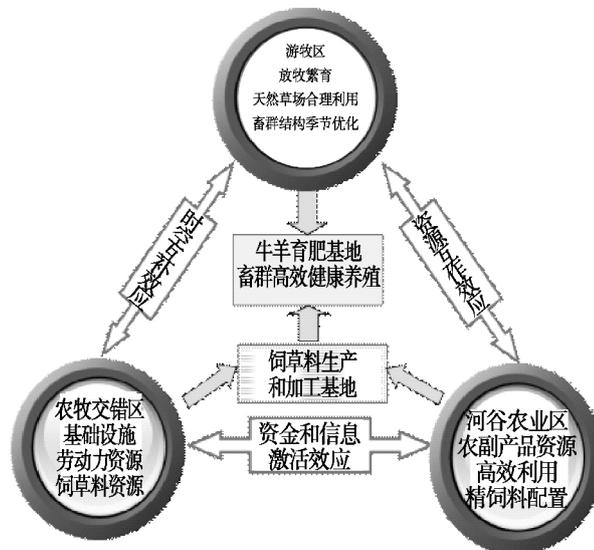


图 3 三江源“三区功能耦合模式”

经营置换模式”和“家畜两段饲养模式”3 个生态畜牧业生产模式；支撑建立了全国唯一以生态畜牧业为主体的国家可持续发展实验区—青海省海南州生态畜牧业可持续发展实验区，藏系绵羊饲养周期缩短 1.4 年 5 年累计加速出栏 263 万只，缓解 289.3 万 hm² 冬春草场放牧压力(图 4)。

创新集成了“生态保护型”、“资源循环利用型”和“有机健康养殖型”3 个区域适宜的三江源生态畜牧业组织发展模式，为青藏高原生态环境保护和生态经济发展共赢提供应用推广模式，被青海省“十二五”规划采纳，也为全国首个草地生态畜牧业试验区建立提供了技术支撑(图 5)。

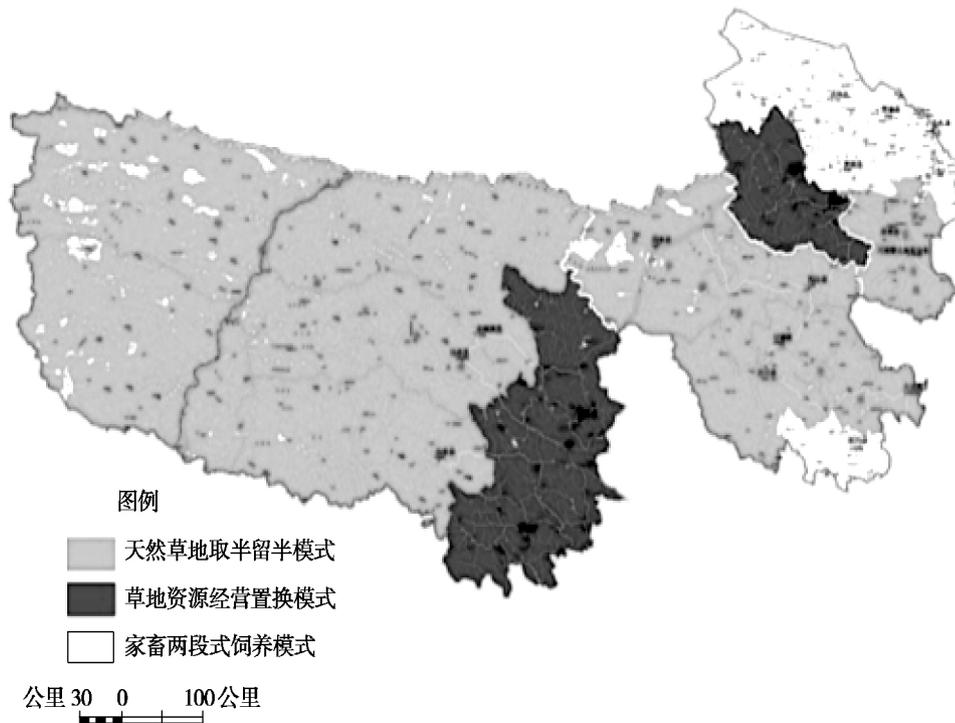


图 4 三江源生态畜牧生产模式规划分布图

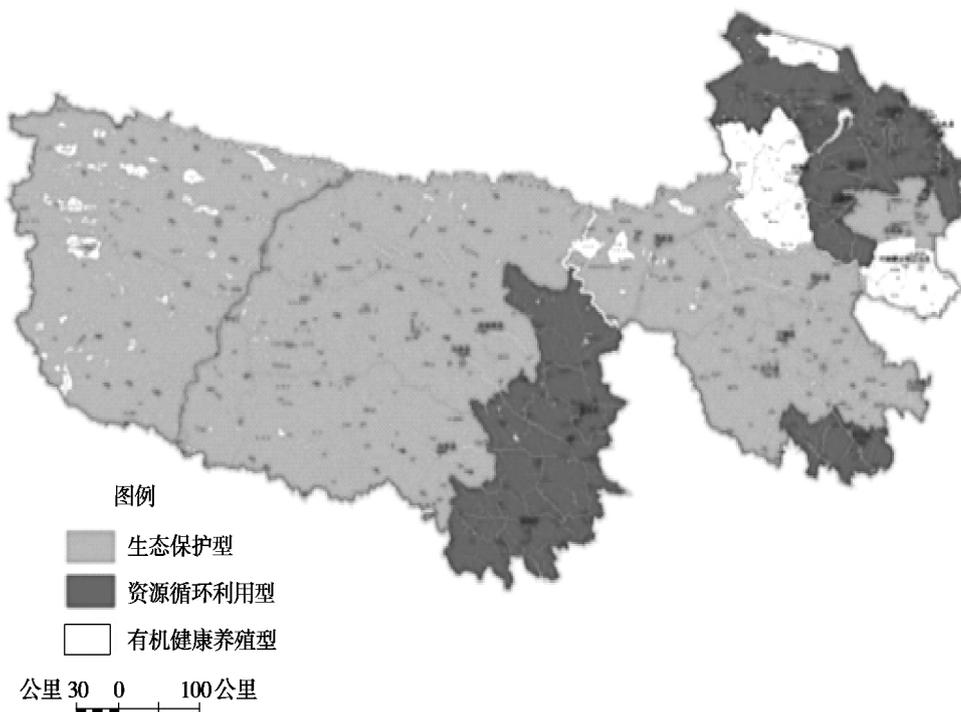


图5 三江源生态畜牧组织发展模式规划分布图

3 效益分析与推广应用

3.1 效益显著,影响深远

该成果有效促进了三江源区草地生态功能恢复、草地畜牧业生产方式转变,资源利用效率及经济效益提高。自2000年以来,利用该成果建立的技术体系,建立了青藏高原第1个草种质资源库与资源圃,保存种质资源5895份;累计生产牧草良种36590万kg,用于青藏高原及北方退化草地治理267万hm²;黑土滩治理示范区1.4万hm²,推广治理35万hm²;天然草地补播改良112万hm²,退牧还草733万hm²;建立饲草料生产示范基地38万hm²,牛羊营养均衡养殖基地2个,健康养殖牛羊75万头(只),牧草良种及牛羊营养均衡饲养累计销售收入达到2.37亿元,科技培训2000人次;治理区植被覆盖度提高3.2%,退化草地减少54.26万hm²,草地平均产草量增加116kg/hm²,人工草地利用年限延长10年,载畜压力指数降低0.81,年均水土保持服务能力提升0.88亿t。

通过成果的示范推广,建立了全国唯一以生态畜牧业发展为主体的可持续发展实验区——海南藏族自治州生态畜牧业可持续发展实验区,创建了以“治

理—种草—养畜—销售”为产业链的高寒地区草业新范式。支撑了青海省“十二五”发展规划。保证了三江源生态保护与治理工程的顺利实施,有效促进了三江源区生态功能恢复、生态移民后续产业发展和社会稳定和谐,推动了畜牧业产业结构调整和畜产品增值技术的研发,增强了当地农牧民保护生态环境的意识,改进了当地落后的生产方式,引导农牧民脱贫致富奔小康,实现了区域生态保护和经济发展的共赢。

3.2 推广应用情况

3.2.1 科技支撑三江源区退化草地生态恢复治理

应用退化草地生态恢复技术,指导完成黑土滩退化草地治理35万hm²、天然草地补播改良112万hm²、退牧还草733万hm²,为三江源区生态保护和建设工程中退化草地恢复治理实施提供技术支撑。

3.2.2 为国家级可持续发展实验区的建立提供技术依托

基于生态畜牧业技术体系集成,建立了全国唯一以生态畜牧业发展为主体的可持续发展实验区——海南藏族自治州生态畜牧业可持续发展实验区,充分发挥科技的引领和示范作用,推进生态保护和农牧民生活水平提高,对藏区传统畜牧业经

济向生态畜牧业生产方式的转变具有重要示范作用。

3.2.3 科技驱动三江源区畜牧业生产方式优化和转变

应用一年生和多年生牧草混播技术体系,在农牧交错区建立优良牧草生产基地,结合牛羊冬季补饲技术,将单一依赖天然草地的传统畜牧业转变为“暖季放牧+冷季舍饲”两段式新型生态畜牧业生产模式,为高原生态畜牧业发展探索出一条新路子,有效减轻天然草场放牧压力,提高畜牧业经济效率和生态效益。建立饲草料生产示范总面积38万hm²,牛羊营养均衡养殖基地2个,近三年健康养殖牛羊75万只羊单位,牧草良种及牛羊营养均衡饲养累计销售收入达到2.37亿元。

4 展望

(1)在高寒草地生态系统变化、驱动机制与演变趋势方面,该项目基于野外样地观测和控制实验,较为全面、系统和相对准确地阐明了三江源草地退化原因,恢复原理和途径。通过系统辨析不同高寒草地生态系统退化演替过程与人类活动和气候变化关联的差异性,基本明确了人类活动和气候变化对草地退化的贡献率。但在气候变化和人类活动等因素对高寒草地生态系统的作用机制与定量模拟方面还需更加系统地开展长期定位研究,以求客观认知寒区陆地生态系统响应全球变化及人类活动的规律与机理,为区域退化植被恢复提供进一步的理论依据。

(2)适应于高寒地区生态恢复的草种主要以禾本科牧草野生驯化为主,尚需加强传统育种与分子育种方法的结合,开展抗寒、抗旱、适应强紫外等生态草种和豆科牧草的选育。

(3)在退化高寒草地综合治理模式与技术系统方面,研究主要集中在高寒草甸的恢复技术,并以黑土滩恢复为主要突破口,尚需对各类退化草地恢复效果进行长期监测研究及区域适应性评价。仍需开展高寒草原、高寒荒漠、高寒湿地退化植被恢复的有效技术措施研究。

(4)提出三江源“三区功能耦合理论”以及区域草地畜牧业发展的新范式,旨在提高草地畜牧业生

产效率及减轻天然草地的放牧压力,已在黄南州、海南州及玉树州的东三县开展试验示范及推广。该模式适应于具有饲草生产能力的农牧交错区及退耕还草区,能发挥区域之间的耦合效应。推广应用需要协调三江源各州县职能部门相互合作,尚需要政府的平台搭建、政策支持及相关企业参与实施。

参考文献:

- [1] Zhou Huakun, Zhao Xinquan, Tang Yanhong and Li Zhou. Alpine grassland degradation and its control in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers, China. *Grassland Science* 2005 (51): 191-203.
- [2] 马玉寿,徐海峰,杨时海.三江源区草地植物图集[M].北京:科学出版社,2015年.
- [3] 施建军,王彦龙,周华坤,尚永成,盛丽,孙小弟,徐世晓,等.退化高寒草甸免耕补播技术规程 DB 63/T1442—2015[S].西宁:青海省质量技术监督局,2015.
- [4] 汪新川,周华坤,李健辉,窦全文,乔安海.同德无芒披碱草[Z].登记号:465.第六届全国草品种审定委员会审定野生栽培品种,2014.
- [5] 徐世晓,赵新全,李善龙,韩增祥,赵亮,周华坤,王基恒,赵娜.一种藏系绵羊母羊妊娠期补饲饲料及其制备方法和补饲方法[P].中国专利:CN102318768A.2012-01-18.
- [6] 赵亮,徐世晓,周华坤,董全民,赵新全.高寒草地管理手册[M].成都:四川科技出版社,2013.
- [7] 赵新全,周华坤.三江源区生态环境退化、恢复治理及其可持续发展[J].中国科学院院刊,2005,20(6):471-476.
- [8] 赵新全,周华坤,赵亮,徐世晓,马玉寿,董全民.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.
- [9] 周华坤,汪新川,姚步青,王文颖,赵新全,等.同德无芒披碱草栽培技术规范 DB63/T1330-2014[S].西宁:青海省质量技术监督局,2014.
- [10] 周华坤,姚步青,于龙,赵新全,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.
- [11] 周华坤,赵新全,周立,刘伟,唐艳鸿.青藏高原高寒草甸的土壤退化与植被退化特征研究[J].草业学报,2005,14(3):31-40.
- [12] 周青平,孙明德,韩志林,颜红波,汪新川.同德小花碱茅[Z].品种登记号:343.第六届全国草品种审定委员会审定野生栽培品种,2007.

科技人物:马玉寿



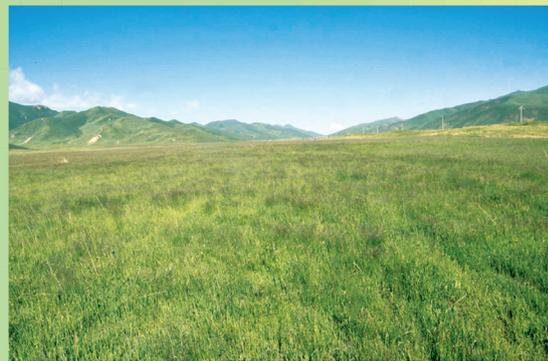
省委书记王国生为马玉寿颁奖

马玉寿，男，汉族，中共党员，1964年2月出生，青海平安人，研究员，博士研究生导师，享受国务院特殊津贴专家，2016年度青海省科学技术重大贡献奖获得者。

马玉寿致力于草原研究工作30余年，特别是在推进三江源区黑土滩退化草地恢复重建的研究与示范推广工作中做出了突出贡献。现任青海大学畜牧兽医科学院（青海省畜牧兽医科学院）副院长。先后获得2010年度全国先进工作者，2011年度青海省农牧科研领域人才“小高地”领军人物、青海省

自然科学（畜牧兽医）学科优秀带头人。当选青海省第十届、第十二届党代会代表。他参加和主持国家及省部级重大科研项目10余项，获得省级科研成果20余项，国家科技进步二等奖1项，青海省科技进步一等奖2项、二等奖2项、三等奖1项。主编专著《三江源区草地植物图集》和《三江源区饲用植物志》，参编专著3部，发表论文100余篇，培养研究生19名。目前正在主持“十三五”国家重点研发计划“三江源区退化高寒生态系统恢复技术及示范”（2016YFC0501900）项目。

马玉寿在高寒退化草地生态系统恢复研究方面，紧密围绕生态立省战略，通过大量的野外试验研究，客观科学地提出了黑土滩退化草地的成因，为黑土滩治理奠定了理论基础。在退化草地恢复技术研究方面，结合青海三江源等重大生态建设工程的实施，培育出了适宜高寒牧区黑土滩种植的优秀草种，提出了规范化的退化草地分类治理技术模式，建立了大面积试验示范基地。他的主要研究成果达到国内领先或国际先进水平，他是草学界公认的青藏高原高寒草地研究领域的引领者。



治理后的草地生态和牧业功能完全恢复



黑土滩治理技术已在各行业生态治理工程中推广应用



昔日黑土滩已成为优良牧场