

引用格式:徐田伟,赵新全,耿远月,等. 黄河源区生态保护与草牧业发展关键技术及优化模式[J]. 资源科学, 2020, 42(3): 508-516. [Xu T W, Zhao X Q, Geng Y Y, et al. Key technologies and optimization model for ecological protection and grass-based livestock husbandry in the source region of the Yellow River[J]. Resources Science, 2020, 42(3): 508-516.] DOI: 10.18402/resci.2020.03.09

# 黄河源区生态保护与草牧业发展关键技术及优化模式

徐田伟<sup>1,2</sup>, 赵新全<sup>1,2</sup>, 耿远月<sup>1,2,3</sup>, 王循刚<sup>1,2,3</sup>, 毛绍娟<sup>4</sup>, 徐世晓<sup>1,2</sup>

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

2. 中国科学院三江源国家公园研究院, 西宁 810008; 3. 中国科学院大学, 北京 100049;

4. 青海大学生态环境工程学院, 西宁 800016)

**摘要:**黄河源区是中国重要的生态屏障区和草牧业生产区,在维护国家生态安全和改善当地民生等方面发挥着重要作用。由于气候变化和人类活动综合影响,20世纪70年代以来黄河源区草地生态系统发生严重退化,对源区草牧业生产、区域生态安全和中下游地区可持续发展造成一定影响。2000年以来,国家实施了一系列重大生态保护和建设工程,黄河源区生态环境质量得到逐步改善,但草地退化趋势尚未得到有效遏制。本文系统梳理了高寒地区草地生态保护与草牧业发展领域的研究与实践,凝练出区域适宜的黄河源区草地生态保护与生态草牧业发展技术体系,基于草畜资源优化配置建立了区域功能耦合发展模式,结合案例分析了相关技术的应用效果,并对源区退化草地管理与生态草牧业发展提出了建议。上述工作对推动黄河源区草地生态保护与高质量发展具有一定的启示作用。

**关键词:**黄河源区;高寒草地;草地退化;生态保护;草牧业;人工草地;高质量发展

DOI: 10.18402/resci.2020.03.09

## 1 引言

黄河是润泽华夏的中华民族母亲河,黄河流域是中华文明的重要发祥地,更是中国重要的生态屏障带。黄河发源于青海省曲麻莱县境内巴颜喀拉山北麓的约古宗列盆地,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南及山东9省区,于山东省东营市垦利区流入渤海,全长5464 km<sup>[1]</sup>。黄河源区位于青藏高原东北部,横跨青海、甘肃、四川三省,面积约12.2万 km<sup>2</sup>,约占黄河流域总面积的16%,植被类型以高寒草甸和高寒草原为主,占黄河源区总面积70%以上<sup>[2,3]</sup>。黄河源区是中国重要生态屏障区、水源涵养区和草业生产区,在维护国家生态安全、水资源供给和改善区域民生等方面作用显

著<sup>[4-6]</sup>。由于地处生态脆弱区,源区生态环境对人类活动和气候变化的响应极为敏感<sup>[7,8]</sup>。20世纪70年代以来,在气候变化、牲畜增加及草地超载过牧的综合作用下,黄河源区高寒草地生态系统发生严重退化,草地生态保护与区域经济发展之间的矛盾日渐突出<sup>[9,10]</sup>。一方面,草地退化引起水土流失、水源涵养功能下降、碳汇功能丧失等生态问题<sup>[11-13]</sup>,极大削弱了黄河源区“生态源”和“生态屏障”的作用<sup>[14]</sup>;另一方面,草地退化后毒杂草比例升高,可食牧草产量下降,加剧草畜供需矛盾,严重影响了黄河源区草牧业可持续发展<sup>[15,16]</sup>。

近年来,研究人员在退化高寒草地研究和恢复治理方面开展了大量工作,并取得一定成效。目前

收稿日期: 2019-12-21 修订日期: 2020-03-15

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA23060603; XDA2005010406); 青海三江源生态保护和建设二期工程科研和推广项目(2018-S-2); “西部青年学者”B类人才培养计划(2017年)。

作者简介: 徐田伟,男,黑龙江方正人,助理研究员,主要从事生态草牧业关键技术研究。E-mail: xutianwei@nwipb.cas.cn

通讯作者: 徐世晓,男,青海乐都人,研究员,研究方向为草地生态学、畜牧生态学。E-mail: sxxu@nwipb.cas.cn

2020年3月

普遍认为长期超载过牧和区域气候暖干化是黄河源区高寒草地退化的主要原因<sup>[13,17,18]</sup>。周华坤等<sup>[19]</sup>发现长期超载过牧对江河源地区草地退化的贡献率高达39.35%,区域气候暖干化对草地退化的贡献率达26.64%。此外,草地退化为鼠害发生创造了条件,鼠兔采食和挖掘等行为加剧了高寒草地退化进程<sup>[20]</sup>。退化草地恢复治理研究表明围栏封育<sup>[21,22]</sup>、补播<sup>[23,24]</sup>、施肥<sup>[25]</sup>和人工草地建植<sup>[26,27]</sup>等技术均能显著恢复退化高寒草地的生态系统功能。

为了遏制生态脆弱区草地退化,2000年以来国家实施了一系列重大生态保护和建设工程:2002年12月16日国务院正式批准在西部11个省区实施“退牧还草”工程,2011年启动草原生态补奖政策(2011—2015年),2016年启动新一轮草原生态补奖政策(2016—2020年)。遥感监测结果显示,在2000—2016年间,黄河源区70.2%的区域植被NDVI呈增加趋势,人类活动促使植被NDVI增加的区域占黄河源区总面积的55%,表明人类活动对黄河源区草地生态环境产生一定的积极影响,但仍有近50%的区域由于人类活动导致植被NDVI减少,表明黄河源区草地退化趋势尚未得到有效遏制<sup>[3]</sup>。

目前,黄河流域生态保护和高质量发展上升为重大国家战略,新形势下黄河源区草地生态保护形势依然严峻。为了推动黄河源区草地生态保护与高质量发展,有必要结合黄河源区实际,对生态保护和绿色发展领域的相关技术进行梳理、凝练和集成。在此背景下,本文系统梳理了黄河源区草地生态保护与草牧业发展领域的研究与实践,并集成了黄河源区草地生态保护与生态草牧业发展技术体系与优化模式,以期为推动黄河源区草地保护与合理利用、生态草牧业均衡发展和当地民生持续改善提供技术指导和模式示范。

## 2 草地生态保护与草牧业发展关键技术

黄河源区自然条件严酷,牧草生长期短,草地生产力低,草畜供需季节性失衡严重<sup>[20,28]</sup>。传统放牧制度下家畜饲养周期长、生产效率低且经营效益差,草畜生产系统常处于“草场超载过牧—草地退化严重—草畜矛盾加剧—生态环境恶化—产业发展落后—牧民生活贫困”的不良循环<sup>[29]</sup>。针对黄河源区生态保护和经济发展中面临的高寒草地退化、

草牧业生产效率低和经营效益差的现实问题,本文梳理了相关研究进展,并结合本研究团队的技术研发和推广应用成果,凝练集成了黄河源区草地生态保护与生态草牧业发展技术体系。以“退化草地恢复治理与返青期休牧—高寒草场放牧管理季节优化—农牧交错区人工草地建设与草产品加工—饲草资源高效利用与家畜冷季舍饲快速出栏”为一体的技术体系,旨在积极推动黄河源区传统草地畜牧业向生态草牧业发展转变,促进草地资源合理利用和生态草牧业提质增效。

### 2.1 退化草地恢复治理与返青期休牧

开展退化高寒草地恢复治理,对恢复黄河源区退化生态环境和发展生态草牧业具有重要意义<sup>[30]</sup>。目前常用的退化草地治理方法有:①围栏封育:通过设置围栏禁止放牧活动,促进牧草生长,提高草地生产力<sup>[31]</sup>。②补播:对中度和重度退化高寒草地,补播适宜的多年生禾本科草种,促进恢复退化草地生产力<sup>[31]</sup>。③施肥:根据退化草地土壤养分状况,在牧草返青后期适量施肥,达到恢复草地生产力和改善草地质量的目标<sup>[25,32]</sup>。④建设人工草地:在重度退化草地开展人工草地建植,可显著提高草地生产力,为家畜提供优质饲草资源,同时有效缓解天然草地载畜压力<sup>[33]</sup>。开展黄河源区退化高寒草地恢复治理,需充分考虑草地退化等级、气候特征和地理条件,因地制宜选择恢复治理的单项技术或组合技术(表1),促进恢复退化高寒草地的生态系统功能。

返青期是高寒草地生态系统最脆弱的时期,此时牧草现存量降至一年内最低水平,牧草数量和营养品质均无法满足放牧家畜营养需求,造成家畜一年内最严重的掉膘<sup>[35]</sup>。返青牧草被放牧家畜采食,会严重影响植被光合与正常生长,不利于恢复天然草地功能<sup>[36]</sup>,开展返青期休牧对恢复高寒草地功能具有重要意义。返青期休牧指在牧草返青生长关键期(5月初—6月下旬)实施天然草场短期休牧,为牧草生长提供有利条件,促进高寒草地功能自然恢复,休牧期间对放牧家畜进行舍饲圈养。休牧结束后,放牧家畜进入天然草场进行合理放牧。如表2所示,返青期短期休牧较返青期连续放牧显著提高了高寒草甸的群落高度、植被覆盖度、植被地上生物量和植被地下生物量。

表1 退化高寒草地(草甸)的退化等级、植被群落特征及其主要恢复治理技术

退化等级	退化植被群落特征	主要恢复治理技术	技术优势
轻度退化	植被盖度>70%,可食牧草比例50%~75%,毒杂草生物量比例<30%,草皮层相对完好,植被自我恢复能力较强	以植被自我恢复为主。措施以鼠害防治、短期围栏封育和降低放牧强度为主。通过降低草地放牧压力促进退化草地功能恢复	治理成本低、恢复效果明显
中度退化	植被盖度50%~70%,可食牧草比例30%~50%,毒杂草生物量比例>50%,草皮层破坏面积不大	采用植被自我恢复和人工植被恢复结合的方法。措施以鼠害防治、灭除杂草、补播、施肥、围栏封育和降低草地放牧强度为主。通过封育+补播、封育+补播+施肥、施肥等3类技术组合建立半人工草地	可显著提高草地生产力 and 优良牧草比例
重度退化	植被盖度30%~50%,可食牧草比例15%~30%,毒杂草生物量比例60%~80%,草皮层破坏严重	① 坡度<7°,土壤厚度>20 cm,选择适宜草种建设人工草地;② 坡度7~25°,选择适宜草种建设半人工草地;③ 坡度>25°,采用长期封育,辅以补播和施肥	可较大程度恢复退化植被

注:表格内容改编自赵新全等<sup>[34]</sup>。

表2 高寒草甸返青期短期休牧地与返青期连续放牧地的植被群落特征和生物量对比

Table 2 Comparison of vegetation community characteristics and biomasses between short-term rest-grazing and continuous grazing plots during vegetation green-up period in an alpine meadow

指标类型	返青期短期休牧	返青期连续放牧	平均增幅/%
群落高度/cm	8.13±0.86 a	3.24±0.53 b	105.92
植被覆盖度/%	95.83±4.07 a	76.62±8.11 b	25.08
植被地上生物量/(g/m <sup>2</sup> )	379.46±67.41 a	176.93±53.74 b	114.54
植被地下生物量/(g/m <sup>2</sup> )	2791.36±649.40 a	1965.31±681.07 b	42.04

注:a、b代表组间差异显著( $P < 0.05$ )。休牧试验于2017年5月5日—6月30日在青海省门源县高寒草甸进行;于2017年7月初进行调查取样;群落调查采用样方法,植被地上生物量使用剪刀收获法采集,植被地下生物量使用根钻法采集。

## 2.2 高寒草场放牧管理季节优化

传统放牧制度忽视了草地资源科学管理与合理利用,导致黄河源区高寒草地出现了不同程度退化。为促进黄河源区草地资源合理利用,亟需优化高寒草场放牧管理方案。高寒草地合理利用应遵循“取半留半”原理,未退化草地合理利用率为地上生物量的50%左右<sup>[34]</sup>。按照天然草地适度利用原则,结合家畜(牦牛、藏系绵羊等)数量和草场质量状况,因地制宜制定了高寒草场放牧管理季节优化方案:①5月初—6月下旬,实施天然草场返青期休牧。②6月下旬—10月下旬,家畜在夏秋草场按

50%~60%的草地利用率进行合理放牧。③11月初至翌年4月下旬,家畜在冬春草场按70%~80%的草地利用率进行合理放牧,同时开展牧归后补饲,缓解家畜冷季掉膘减重。草地监测(8月中旬)结果表明:季节性放牧(暖季放牧、冷季放牧)较传统常年连续放牧显著提高了高寒草原的群落高度、植被覆盖度、植被地上生物量和植被地下生物量(表3)。

## 2.3 农牧交错区人工草地建设与草产品加工

在黄河源区条件适宜的农牧交错区开展人工草地建植,可以显著提高优质牧草产量,为家畜冷季舍饲提供优质饲草,促进暖季放牧与冷季舍饲有

表3 不同放牧制度下高寒草原的植被群落特征和生物量

Table 3 Vegetation community characteristics and biomasses in an alpine steppe under different grazing regimes

指标类型	传统常年连续放牧	冷季适度放牧	暖季适度放牧
群落高度/cm	3.61±0.20 b	14.63±0.68 a	13.27±1.20 a
植被覆盖度/%	73.20±2.15 b	85.25±1.36 a	82.61±2.77 a
植被地上生物量/(g/m <sup>2</sup> )	71.34±9.15 b	126.62±9.02 a	100.07±8.59 a
植被地下生物量/(g/m <sup>2</sup> )	867.34±103.03 b	1347.81±102.43 a	1083.81±85.03 ab

注:根据文献[37]重制。

2020年3月

机结合。通过“草地资源置换”原理,建设小面积的优质高产人工草地可使大面积的天然草地得到休养生息,能够切实推动草地生态保护和草牧业协调发展<sup>[38]</sup>。近年来在高寒农牧交错区逐步形成以“优良草种筛选—牧草良种扩繁—饲草丰产栽培—优质草产品加工”为一体的优良牧草生产技术体系,为传统草地畜牧业向生态草牧业转型提供了饲草资源保障。产草量监测结果表明:在黄河源区农牧交错区采用禾豆混播技术可以使人工草地的鲜草产量达到 $51.44 \pm 7.59 \text{ t/hm}^2$ ,干草产量达到 $13.26 \pm 1.26 \text{ t/hm}^2$ ,分别为未退化高寒草地的鲜草产量和干草产量的8.87倍和4.41倍(表4)<sup>①</sup>。人工草地建植技术在显著提高冷季饲草储备的同时,有效缓解了高寒地区冬春草场放牧压力。

高寒地区主要草产品有4类:①青干草捆:将收割鲜草晾晒至含水量 $<15\%$ 后打捆制成的方形草捆。②草颗粒:将青干草捆经过粉碎、高温挤压制成的颗粒状草产品,具有转化效率高、便于运输等优点。③草块:将青干草捆经过粉碎、高温压制而成的小型块状草产品,具有营养品质好、利于反刍家畜消化等优点。④青贮:将燕麦、小黑麦或禾豆混播牧草揉碎切短后密封储存,在厌氧条件下经过微生物发酵形成的青绿多汁、气味酸香的优质饲料。高寒地区主要有捆裹青贮和青贮壕青贮2种类型:捆裹青贮具有营养保存效果好、保存时间长和便于运输等优点,在饲草调运和抗灾保畜中有一定优势;青贮壕青贮具有操作简单、储存效果好等优点。

表4 高寒地区禾豆混播人工草地与未退化高寒草地的产草量对比

Table 4 Comparison of herbage yields between grass-legume mixture artificial grassland and un-degraded alpine pasture in the Tibetan alpine region

指标类型	黑麦/箭舌豌豆混播人工草地	未退化高寒草地
鲜草产量/(t/hm <sup>2</sup> )	51.44±7.59	5.83±0.34
干草产量/(t/hm <sup>2</sup> )	13.26±1.26	3.03±0.29
鲜草增加倍数	8.87±1.44	1.00
干草增加倍数	4.41±0.63	1.00

① 试验于2018年10月在青海省贵南县黑麦/箭舌豌豆混播人工草地(种植方法参照DB63/T1731-2019标准)和未退化高寒草甸进行。采用50 cm×50 cm样方,每个样地取6个样方重复,带回实验室称取牧草鲜重,置于烘箱内杀青后65℃烘干至恒重,计算草地鲜草和干草产量。

② 牧草样品于2019年12月采自青海省贵南县示范户,带回实验室后称取鲜重,置于65℃烘箱烘干至恒重,将烘干牧草粉碎待测。粗蛋白采用凯氏定氮法测定,粗脂肪采用索氏提取法测定,中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维采用范氏洗涤纤维法测定。

点,适用于畜牧业专业合作社。牧草品质检测结果表明(表5)<sup>②</sup>:与燕麦青干草相比,采用燕麦/箭舌豌豆混播和优良牧草青贮技术,可以大幅提高牧草粗蛋白含量,有效缓解冷季饲草营养品质差的问题,为家畜营养均衡饲养提供优质饲草保障。

## 2.4 饲草资源高效利用与家畜冷季舍饲快速出栏

利用优质草产品、农副产品和商品精料等资源优化家畜日粮配方,可以为提高牦牛和藏系绵羊的冷季生长性能提供保障。在黄河源区的条件适宜区域(农牧交错区),将常年单一放牧管理转变为“暖牧冷饲”两段式管理(生长季天然草场合理放牧、冷季适当规模的家畜舍饲快速出栏),可以显著提高家畜生产效率和草牧业经营收益,同时有效缓解黄河源区高寒草场的载畜压力。技术应用效果表明:采用高营养日粮开展冷季舍饲养殖,可使牦牛和藏系绵羊的冷季增重分别达到82.40 kg/牛和25.33 kg/羊,对应日均增重分别达到610.37 g/d和187.65 g/d,对应冷季养殖收益分别达到1016.71元/牛和205.01元/羊<sup>[39]</sup>。因地制宜开展家畜冷季舍饲快速出栏,对实现黄河源区草牧业营养均衡生产和促进农牧民增收具有重要的推动作用。

## 2.5 草地生态保护与生态草牧业发展成效

黄河源区草地生态保护与生态草牧业发展技术体系是经过多年研究、示范和推广,逐步形成的。通过制定地方标准、规范技术流程和编写培训教材等提升了农牧民对草地生态保护与生态草牧业发展技术的接受能力和应用水平。以黄河源区的生态畜牧业专业合作社(位于青海省海南州)

表5 高寒地区燕麦青干草与燕麦/箭舌豌豆混播青贮草的牧草品质对比

Table 5 Comparison of herbage qualities between dried oat hay and oat-vetch silage in the Tibetan alpine region

指标类型及占比/%	燕麦青干草	燕麦/箭舌豌豆青贮草
牧草粗蛋白	5.69	8.40
牧草粗脂肪	2.12	2.31
酸性洗涤纤维	31.73	28.52
中性洗涤纤维	54.62	50.16

为例,经过多年的生产实践,逐步实现了传统草地畜牧业向生态草畜牧业发展的转变,在高寒草地资源合理利用、人工草地建设(表4)、优质草产品加工(表5、表6)、家畜饲养管理(表6)和草畜牧业生产效率(表6)等方面均取得很好的成效。与此同时,农牧民经营收益得到大幅改善和提升,以2017年为例,通过发展生态草畜牧业,合作社年终分红2455.00~50923.62元/户,户均增收8098.40元,农牧民增收效果显著。

### 3 区域功能耦合发展优化模式

黄河源区从生产功能上可以划分为草地牧业区、农牧交错区和河谷农业区3个功能区<sup>[40]</sup>。为推动草地生态保护和生态草畜牧业协调发展,需充分考虑各功能区的特征和优势,从转变生产方式入手,通过不同功能区资源优化配置,形成黄河源区区域耦合发展优化模式(图1)。

#### 3.1 草地牧业区

草地牧业区应重点开展退化草地恢复治理与

表6 黄河源区传统草地畜牧业与生态草畜牧业综合比较

Table 6 Comparison between traditional grassland livestock husbandry and ecological grass-based livestock husbandry in the source region of the Yellow River

生产环节	传统草地畜牧业	生态草畜牧业
草地利用	天然草地长期超载过牧,草地退化严重	开展退化草地恢复治理,未退化草地开展基于返青期休牧的放牧管理季节优化,有效促进了高寒草地科学管理与合理利用
饲草供给	冷季饲草储备和营养品质差(人工草地建植面积小)	人工草地建植面积增加,优良牧草青贮技术得到规模化应用,此外还有草块、草颗粒等加工利用方式,显著提升了牧草营养品质(青贮技术可使牧草粗蛋白达到8.0%左右),有效缓解了冷季饲草匮乏和营养品质差的问题
饲养方式	单户经营为主,常年单一放牧,因家畜冷季掉膘减重造成的经济损失大	成立专业合作社,采用暖季合理放牧+冷季舍饲出栏等技术,显著提高了家畜出栏率和农牧民养殖收益
生产效率	家畜饲养周期长(高寒牧区放牧藏系绵羊一般饲养至5岁以上),饲草转化效率低	牦牛和藏系绵羊的饲养周期分别缩短1.5年和2.5年,显著提高了草畜牧业生产效率
经营收益	传统草地畜牧业经营收益低,农牧民生活相对贫困	草地生态保护与生态草畜牧业协调发展,同时带动发展二、三产业,显著提升了农牧民经营收益

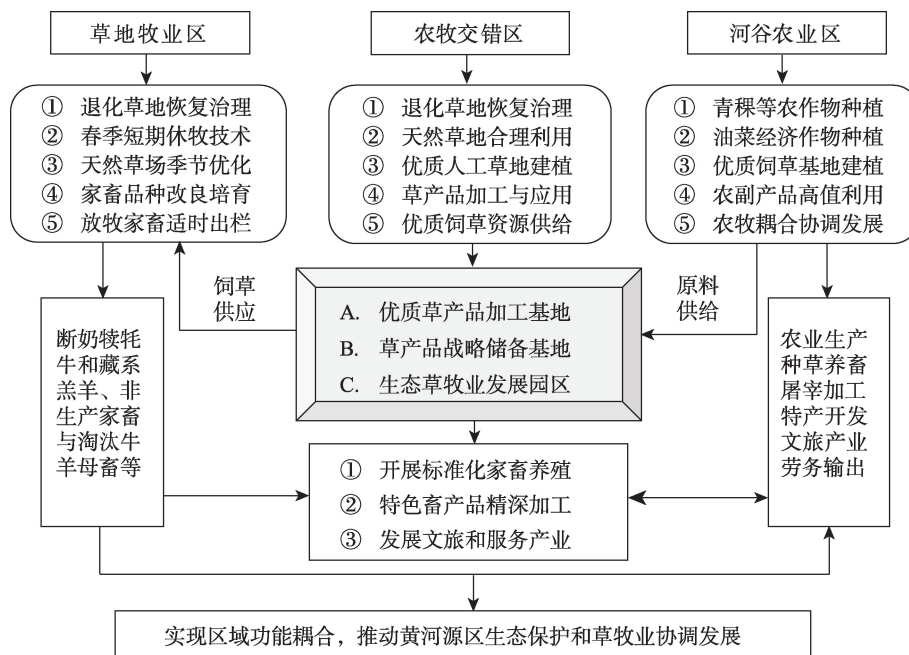


图1 黄河源区草地生态保护和生态草畜牧业区域耦合发展优化模式

Figure 1 Regional coupling development model for grassland ecological protection and ecological grass-based livestock husbandry in the source region of the Yellow River

2020年3月

未退化草地合理利用。对于黄河源区退化高寒草地,依照退化等级、气候因素和地理特征,因地制宜选取治理措施恢复退化草地功能。对于未退化高寒草地,按照适度利用原则从事草牧业生产,生产中需充分考虑草畜矛盾,制定区域适宜的草畜平衡政策,切实缓解高寒草场载畜压力。加强畜种改良和培育,推行放牧家畜适时出栏技术,提高暖季末期出栏率,切实提高牧民经营收益。在冷季来临前,将部分断奶犏牛、藏系羔羊、非生产家畜及淘汰母畜转移(出售)至农牧交错区或河谷农业区,利用其丰富的饲草资源开展冷季舍饲快速出栏,通过草畜资源时空优化配置提高草牧业生产效率和经营收益。

### 3.2 农牧交错区

农牧交错区应充分利用其丰富的天然草地和人工草地资源,按照适度利用原则发展生态草牧业及其衍生产业。通过农牧交错区人工草地、河谷农业区农副产品和草地牧业区家畜资源的优化配置,实现优质草产品加工应用、牛羊标准化舍饲养殖、特色畜产品精深加工及文旅服务产业的融合发展,实现保护草地生态环境、提升草牧业生产效率和增加农牧民经营收益的协调发展。农牧交错区可以将部分饲草资源输送至草地牧业区,为放牧家畜冷季补饲和抗灾保畜提供优质饲草储备。

### 3.3 河谷农业区

河谷农业区应积极推行农牧耦合发展模式。在从事农业生产的同时开展种草养畜,吸收草地牧业区转移的家畜资源,通过开展家畜冷季舍饲出栏(充分发挥人工草地、作物秸秆、农副产品及商品饲料等资源优势)增加农牧民经营收益。河谷农业区可将一部分饲草资源输送至农牧交错区用于草产品加工,或输送至草地牧业区为家畜越冬提供饲草保障。此外,河谷农业区还可以通过特色畜产品加工、发展文化旅游及劳务输出等方式拓宽增收渠道。

### 3.4 区域耦合发展优势

基于自然禀赋和生产功能建立的区域功能耦合发展模式,能够推动各区域间的草畜资源优化配置,充分发挥草地牧业区(生态功能)、农牧交错区(生态功能、生产功能)和河谷农业区(生产功能)的

生态生产功能,促进实现以较低的资源环境代价获得较多的优质产品和经营收益,切实推进黄河源区草地生态保护与生态草牧业协调发展。

## 4 结论与展望

黄河源区地处西部生态脆弱区,实现黄河源区生态保护与草牧业协调发展,对推动整个黄河流域生态保护与高质量发展国家战略具有特殊的重要意义。本文梳理集成了以“退化草地恢复治理与返青期休牧—高寒草场放牧管理季节优化—农牧交错区人工草地建设与草产品加工—饲草资源高效利用与家畜冷季舍饲快速出栏”为一体的黄河源区草地生态保护与草牧业发展技术体系。实践证明该技术体系提升了黄河源区天然草地保护与合理利用水平,推动了传统草地畜牧业向生态草牧业发展转变,提高了草牧业生产效率和农牧民经营收益。基于草畜资源优化配置建立的区域耦合发展模式,对推动黄河源区草地生态保护与草牧业协调发展具有一定的实践指导意义。

为了进一步推进黄河源区草地生态保护与草牧业协调发展,本文提出2点展望:①加强黄河源区高寒草地休(禁)牧区科学划分,因地制宜提出休(禁)牧布局方案,实施有显著成效的休(禁)牧措施,同时开展长期生态效益评估,用于指导后续生态工程实施。②因地制宜发展生态草牧业,以黄河源区农牧交错区的草产业为纽带,充分考虑黄河源区各功能区的自然禀赋和功能特征,通过科学规划、合理布局和发展生产,实现黄河源区传统草地畜牧业向生态草牧业发展转变,稳步推进区域草地生态保护、草牧业均衡生产和民生持续改善。

## 参考文献(References):

- [1] 任德存. 黄河干流概况[J]. 人民黄河, 1984, (6): 51-53. [Ren D C. General situation of the main stream of the Yellow River[J]. Yellow River, 1984, (6): 51-53.]
- [2] 胡光印, 董治宝, 逯军峰, 等. 黄河源区沙漠化及其景观格局的变化[J]. 生态学报, 2011, 31(14): 3872-3881. [Hu G Y, Dong Z B, Lu J F, et al. Desertification and change of landscape pattern in the source region of Yellow River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 3872-3881.]
- [3] 刘启兴, 董国涛, 景海涛, 等. 2000-2016年黄河源区植被NDVI变化趋势及影响因素[J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 86-92.

- [Liu Q X, Dong G T, Jing H T, et al. Change trend of vegetation NDVI and its influencing factors in the Source Region of the Yellow River in the period from 2000 to 2016[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(3): 86-92.]
- [4] 王建兵, 王振国, 吕虹. 黄河重要水源补给区草地退化的气候背景分析: 以玛曲县为例[J]. 草业科学, 2008, 25(4): 23-27. [Wang J B, Wang Z G, Lv H. Climate background analysis of grassland degradation in the Yellon River important water source supply area: A case study of Maqu County[J]. Pratacultural Science, 2008, 25(4): 23-27.]
- [5] 刘晓琼, 吴泽洲, 刘彦随, 等. 1960-2015年青海三江源地区降水时空特征[J]. 地理学报, 2019, 74(9): 1803-1820. [Liu X Q, Wu Z Z, Liu Y S, et al. Spatial-temporal characteristics of precipitation from 1960 to 2015 in the Three Rivers' Headstream Region, Qinghai, China[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(9): 1803-1820.]
- [6] Yang Y H, Wang J B, Liu P, et al. Climatic changes dominant interannual trend in net primary productivity of alpine vulnerable ecosystems[J]. Journal of Resources and Ecology, 2019, 10(4): 379-388.]
- [7] 王亚迪, 权全, 薛涛涛, 等. 气候变化对黄河源区的水文影响分析[J]. 水资源研究, 2018, 7(2): 135-143. [Wang Y D, Quan Q, Xue T T, et al. Hydrological impact of climate change on the source region of the Yellow River[J]. Journal of Water Resources Research, 2018, 7(2): 135-143.]
- [8] 方一平, 秦大河, 丁永建. 浅析江河源区生态系统脆弱性研究的科学问题[J]. 山地学报, 2009, 27(2): 140-148. [Fang Y P, Qin D H, Ding Y J. Scientific issues of ecosystem vulnerability research in the Source Regions of Yangtze and Yellow Rivers[J]. Journal of Mountain Science, 2009, 27(2): 140-148.]
- [9] 芦清水, 赵志平. 应对草地退化的生态移民政策及牧户响应分析: 基于黄河源区玛多县的牧户调查[J]. 地理研究, 2009, 28(1): 143-152. [Lu Q S, Zhao Z P. Eco-immigration policy for the degraded rangeland and response of herd families: A case study of Maduo County, the Source Region of Yellow River[J]. Geographical Research, 2009, 28(1): 143-152.]
- [10] 杨淑霞. 三江源地区高寒草地生物量和草畜平衡的时空变化动态及其影响因素研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2017. [Yang S X. Temporal and Spatial Dynamics of Alpine Grassland Biomass and Grassland Livestock Balance and Its Influential Factors in the Three River Headwaters Region[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2017.]
- [11] 易湘生, 李国胜, 尹衍雨, 等. 黄河源区草地退化对土壤持水性影响的初步研究[J]. 自然资源学报, 2012, 27(10): 1708-1719. [Yi X S, Li G S, Yin Y Y, et al. Preliminary study for the influences of grassland degradation on soil water retention in the Source Region of the Yellow River[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(10): 1708-1719.]
- [12] 王聪, 伍星, 傅伯杰, 等. 重点脆弱生态区生态恢复模式现状与发展方向[J]. 生态学报, 2019, 39(20): 7333-7343. [Wang C, Wu X, Fu B J, et al. Ecological restoration in the key ecologically vulnerable regions: Current situation and development direction[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(20): 7333-7343.]
- [13] 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. [Zhao X Q, Zhou H K. Eco-environmental degradation, vegetation regeneration and sustainable development in the Headwaters of Three Rivers on Tibetan Plateau[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2005, 20(6): 471-476.]
- [14] 赵成章, 贾亮红. 黄河源区退牧还草工程生态绩效与问题[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2009, 45(1): 37-41. [Zhao C Z, Jia L H. Ecological performance and sustainable problems with the grazing forbidden project in the Source Region of the Yellow River[J]. Journal of Lanzhou University (Natural sciences), 2009, 45(1): 37-41.]
- [15] 董全民, 赵新全, 马玉寿. 江河源区高寒草地畜牧业现状及可持续发展策略[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(4): 438-442. [Dong Q M, Zhao X Q, Ma Y S. Situations and strategy of sustained development on alpine grassland-livestock industry in Headwater Region of Yangtze and Yellow Rivers[J]. Research of Agricultural Modernization, 2007, 28(4): 438-442.]
- [16] 苏才旦, 周雷, 石磊. 青海省海南州发展草地畜牧业制约因素分析及对策[J]. 中国草食动物科学, 2009, 29(4): 52-54. [Su C D, Zhou L, Shi L. Analysis and countermeasures of restrictive factors for the development of grassland animal husbandry in Hainan Prefecture of Qinghai Province[J]. China Herbivores, 2009, 29(4): 52-54.]
- [17] 杨帆, 邵全琴, 郭兴健, 等. 玛多县大型野生食草动物种群数量对草畜平衡的影响研究[J]. 草业学报, 2018, 27(7): 1-13. [Yang F, Shao Q Q, Guo X J, et al. Effects of wild large herbivore populations on the grassland-livestock balance in Maduo County[J]. Acta Pratacultural Sinica, 2018, 27(7): 1-13.]
- [18] 杜际增, 王根绪, 李元寿. 近45年长江黄河源区高寒草地退化特征及成因分析[J]. 草业学报, 2015, 24(6): 5-15. [Du J Z, Wang G X, Li Y S. Rate and causes of degradation of alpine grassland in the Source Regions of the Yangtze and Yellow Rivers during the last 45 years[J]. Acta Pratacultural Sinica, 2015, 24(6): 5-15.]
- [19] 周华坤, 赵新全, 周立, 等. 层次分析法在江河源区高寒草地退化研究中的应用[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 63-70. [Zhou H K, Zhao X Q, Zhou L, et al. Application of analytic hierarchy process on the alpine grassland degradation in the Source Region of the Yangtze and Yellow Rivers[J]. Resources Science, 2005, 27(4): 63-70.]
- [20] 严作良, 周华坤, 刘伟, 等. 江河源区草地退化状况及成因[J]. 中国草地, 2003, 25(1): 73-78. [Yan Z L, Zhou H K, Liu W, et al.

2020年3月

- Preliminary discuss on grassland degradation in the Source Region of Yangtze and Yellow Rivers[J]. Grassland of China, 2003, 25(1): 73-78.]
- [21] 李媛媛,董世魁,李小艳,等. 围栏封育对黄河源区退化高寒草地植被组成及生物量的影响[J]. 草地学报, 2012, 20(2): 275-279. [Li Y Y, Dong S K, Li X Y, et al. Effect of grassland enclosure on vegetation composition and production in Headwater of Yellow River[J]. Acta Agrestia Sinica, 2012, 20(2): 275-279.]
- [22] 吴婷,宋乃平,陈晓莹,等. 围栏封育和放牧对盐池荒漠草原植物群落特征的影响[J]. 草地学报, 2019, 27(3): 651-660. [Wu T, Song N P, Chen X Y, et al. Effects of enclosure and grazing on the characteristics of plant communities in desert steppe of Yanchi[J]. Acta Agrestia Sinica, 2019, 27(3): 651-660.]
- [23] 王守顺,于健龙. 围栏封育、人工补播措施对“黑土滩”退化草地生物量的影响[J]. 青海草业, 2018, 27(1): 11-13. [Wang S S, Yu J L. Effects of grazing enclosure and reseeding on above-ground biomass in “Heitutan” grassland[J]. Qinghai Prataculture, 2018, 27(1): 11-13.]
- [24] 时龙,郭艳菊,于双,等. 不同补播模式对荒漠草原土壤团聚体稳定性的影响[J]. 中国草地学报, 2019, 41(3): 83-89. [Shi L, Guo Y J, Yu S, et al. Effects of different reseeding pattern on soil aggregate stability in desert steppe[J]. Chinese Journal of Grassland, 2019, 41(3): 83-89.]
- [25] 贾志锋,马祥,雷生春,等. 施肥对贵南县轻度退化草甸植被特征的影响[J]. 草地学报, 2019, 27(4): 987-996. [Jia Z F, Ma X, Lei S C, et al. Effects of fertilization on vegetation characteristics of light degraded meadow in Guinan County[J]. Acta Agrestia Sinica, 2019, 27(4): 987-996.]
- [26] 尚占环,董世魁,周华坤,等. 退化草地生态恢复研究案例综合分析: 年限、效果和方法[J]. 生态学报, 2017, 37(24): 8148-8160. [Shang Z H, Dong S K, Zhou H K, et al. Synthesis-review for research cases of grassland ecological restoration: Years, effect and method[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(24): 8148-8160.]
- [27] 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(1): 1-21. [Shang Z H, Dong Q M, Shi J J, et al. Research progress in recent ten years of ecological restoration for ‘Black soil land’ degraded grassland on Tibetan Plateau: Concurrently discuss of ecological restoration in Sangjiangyuan region[J]. Acta Agrestia Sinica, 2018, 26(1): 1-21.]
- [28] 任继周,林慧龙. 江河源区草地生态建设构想[J]. 草业学报, 2005, 14(2): 1-8. [Ren J Z, Lin H L. Assumed plan on grassland ecological reconstruction in the Source Region of Yangtze River, Yellow River and Lantsang River[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2005, 14(2): 1-8.]
- [29] 徐田伟,胡林勇,赵娜,等. 补饲燕麦青干草对牦牛和藏系绵羊冷季生长性能的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(1): 205-208. [Xu T W, Hu L Y, Zhao N, et al. Effect of oats hay supplementing on growth performance of yaks and Tibetan sheep during cold season[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(1): 205-208.]
- [30] 武高林,杜国祯. 青藏高原退化高寒草地生态系统恢复和可持续发展探讨[J]. 自然杂志, 2007, 29(3): 159-164. [Wu G L, Du G Z. Discussion on ecological construction and sustainable development of degraded alpine grassland ecosystem of the Qinghai-Tibetan pPlateau[J]. Chinese Journal of Nature, 2007, 29(3): 159-164.]
- [31] 张永超,牛得草,韩潼,等. 补播对高寒草甸生产力和植物多样性的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(2): 305-309. [Zhang Y C, Niu D C, Han T, et al. Effect of reseeding on productivity and plant diversity on alpine meadows[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(2): 305-309.]
- [32] 仁青吉,罗燕江,王海洋,等. 青藏高原典型高寒草甸退化草地的恢复: 施肥刈割对草地质量的影响[J]. 草业学报, 2004, 13(2): 43-49. [Ren Q J, Luo Y J, Wang H Y, et al. Restoration of degraded typical alpine meadowland on the Qinghai-Tibetan Plateau: Effect of fertilizing and cutting on grassland quality[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2004, 13(2): 43-49.]
- [33] 董全民,施建军,马玉寿,等. 人工调控措施下黑土滩人工草地的经济及生态效益分析[J]. 草地学报, 2011, 19(2): 195-201. [Dong Q M, Shi J J, Ma Y S, et al. Analysis on economic and ecological benefit of black-soil-beach sown grassland[J]. Acta Agrestia Sinica, 2011, 19(2): 195-201.]
- [34] 赵新全. 三江源区退化草地生态系统恢复与可持续管理[M]. 北京: 科学出版社, 2011. [Zhao X Q. Restoration and Sustainable Management of Degraded Grassland Ecosystems in the Sanjiangyuan Regions[M]. Beijing: Science Press, 2011.]
- [35] 马玉寿,李世雄,王彦龙,等. 返青期休牧对退化高寒草甸植被的影响[J]. 草地学报, 2017, 25(2): 290-295. [Ma Y S, Li S X, Wang Y L, et al. Effect of rest-grazing in the greenup period on degraded vegetation in alpine meadow[J]. Acta Agrestia Sinica, 2017, 25(2): 290-295.]
- [36] 李林栖,马玉寿,李世雄,等. 返青期休牧对祁连山区中度退化草原化草甸草地的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(10): 2016-2022. [Li L Q, Ma Y S, Li S X, et al. Effects of rest-grazing in the regreen-up period on moderately degraded steppification meadow of Qilian Mountain[J]. Pratacultural Science, 2017, 34(10): 2016-2022.]
- [37] 张晓玲,徐田伟,谭攀柱,等. 季节放牧对高寒草原植被群落和生物量的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(10): 1576-1582. [Zhang X L, Xu T W, Tan P Z, et al. Effect of seasonal grazing on plant community and biomass of an alpine steppe[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2019, 28(10): 1576-1582.]
- [38] 方精云,景海春,张文浩,等. 论草牧业的理论体系及其实践[J]. 科学通报, 2018, 63(17): 1619-1631. [Fang J Y, Jing H C, Zhang W H, et al. The concept of “Grass-based Livestock Husbandry” and its practice in Hulun Buir, Inner Mongolia[J]. Chinese Science Bulletin, 2018, 63(17): 1619-1631.]



- [39] Xu T W, Xu S X, Hu L Y, et al. Effect of dietary types on feed intakes, growth performance and economic benefit in Tibetan sheep and yaks on the Qinghai-Tibet Plateau during cold season[J]. *Plos One*, 2017, 12(1): e0169187.
- [40] 赵亮, 李奇, 赵新全. 三江源草地多功能性及其调控途径[J]. *资源科学*, 2020, 42(1): 78-86. [Zhao L, Li Q, Zhao X Q. Multi-functionality and management of grassland in the Sanjiangyuan region [J]. *Resources Science*, 2020, 42(1): 78-86.]

## Key technologies and optimization model for ecological protection and grass-based livestock husbandry in the source region of the Yellow River

XU Tianwei<sup>1,2</sup>, ZHAO Xinquan<sup>1,2</sup>, GENG Yuanyue<sup>1,2,3</sup>, WANG Xungang<sup>1,2,3</sup>,  
MAO Shaojuan<sup>4</sup>, XU Shixiao<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, CAS, Xining 810008, China; 2. Institute of Sanjiangyuan National Park, CAS, Xining 810008, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. College of Eco-Environmental Engineering, Qinghai University, Xining 810016, China)

**Abstract:** The source region of the Yellow River is an important ecological barrier and grass-based livestock husbandry area in China. It plays a significant role in ensuring the national ecological security and improving local pastoralists' livelihood. Since the 1970s, alpine grasslands in this region have been degraded to varying degrees under the combined influences of climate change and human activity, which has posed certain threat for local grass-based livestock husbandry, regional ecological security, and the sustainable development of the middle and lower reaches of the Yellow River Basin. Since 2000 the state has implemented a series of ecological protection and construction projects to curb alpine grassland degradation in the source region of the Yellow River. As expected the grassland ecological environment in this area has been gradually improved since project implementation, but the grassland degradation trend has not been effectively curbed. In order to promote the ecological protection and economic development in the source region of the Yellow River, we systematically reviewed the research, demonstration and application works in relevant fields, and summarized a regional suitable technology system for grassland ecological protection and grass-based livestock husbandry development, then established a regional coupling development model based on the optimal allocation of grass-livestock resource. Additionally, we analyzed the application effects of related conservation and development technologies based on our case studies, also we proposed suggestions for the management of degraded alpine grassland and the development of ecological grass-based livestock husbandry in this region. The paper offers a certain enlightenment to promote the grassland ecological protection and high-quality development in the source area of the Yellow River.

**Key words:** source region of the Yellow River; alpine grasslands; grassland degradation; ecological protection; grass-based livestock husbandry; artificial grassland; high-quality development