

DOI: 10.5846/stxb201912142705

徐田伟, 赵新全, 张晓玲, 王循刚, 耿远月, 胡林勇, 赵娜, 毛绍娟, 刘宏金, 康生萍, 马力, 韩学平, 贾功雪, 赵亮, 董全民, 柴沙驼, 徐世晓. 青藏高原高寒地区生态草牧业可持续发展: 原理、技术与实践. 生态学报, 2020, 40(18): 6324-6337.

Xu T W, Zhao X Q, Zhang X L, Wang X G, Geng Y Y, Hu L Y, Zhao N, Mao S J, Liu H J, Kang S P, Ma L, Han X P, Jia G X, Zhao L, Dong Q M, Chai S T, Xu S X. Sustainable development of ecological grass-based livestock husbandry in Qinghai-Tibet Plateau alpine area: principle, technology and practice. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(18): 6324-6337.

青藏高原高寒地区生态草牧业可持续发展: 原理、技术与实践

徐田伟¹, 赵新全¹, 张晓玲^{1,2}, 王循刚^{1,2}, 耿远月^{1,2}, 胡林勇¹, 赵娜¹, 毛绍娟³, 刘宏金^{1,2}, 康生萍^{1,2}, 马力^{1,2}, 韩学平^{1,2}, 贾功雪¹, 赵亮¹, 董全民⁴, 柴沙驼⁴, 徐世晓^{1,*}

1 中国科学院西北高原生物研究所/三江源国家公园研究院, 西宁 810008

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 青海大学生态环境工程学院, 西宁 810016

4 青海省畜牧兽医科学院, 西宁 810016

摘要: 青藏高原在保障国家生态安全、发展高寒生态草牧业和改善当地民生等方面具有重要战略意义。实现高寒地区生态草牧业可持续发展, 对推动青藏高原生态保护和区域高质量发展具有重要推动作用。由于高寒草地承载力低、草畜供需时空失衡和畜牧业经营方式粗放等原因, 导致草地畜牧业生产效率低, 牧民经营效益差, 高寒草地退化严重。为了协调推动高原生态保护、国家公园建设和区域民生改善, 传统草地畜牧业亟待转型升级。近年来在国家 and 地方科技项目支持下, 针对高寒草地畜牧业系统效率低、资源消耗大和经营效益差的瓶颈, 在位于青藏高原东缘农牧交错区的青海省贵南县系统开展了生态草牧业关键技术研发、应用和示范, 集成了以“高寒草地适度利用—优质高产人工草地建植—优良牧草青贮—系列草产品加工—饲草料精准配置—家畜营养均衡饲养—高原特色畜产品精深加工—一二三产业融合—区域功能耦合”等为一体的高寒地区生态草牧业提质增效技术体系, 积极推动了传统草地畜牧业向生态草牧业发展转变, 促进了高寒地区生态-生产-生活协调发展, 为青藏高原生态保护、草牧业可持续发展和高寒地区牧民持续增收提供重要科技支撑, 同时对我国西部典型生态脆弱区适应性管理, 黄河上游生态保护和高质量发展具有一定的启示作用。

关键词: 青藏高原; 生态草牧业; 民生持续改善; 草地生态保护; 适应性管理; 区域可持续发展

Sustainable development of ecological grass-based livestock husbandry in Qinghai-Tibet Plateau alpine area: principle, technology and practice

XU Tianwei¹, ZHAO Xinquan¹, ZHANG Xiaoling^{1,2}, WANG Xungang^{1,2}, GENG Yuanyue^{1,2}, HU Linyong¹, ZHAO Na¹, MAO Shaojuan³, LIU Hongjin^{1,2}, KANG Shengping^{1,2}, MA Li^{1,2}, HAN Xueping^{1,2}, JIA Gongxue¹, ZHAO Liang¹, DONG Quanmin⁴, CHAI Shatuo⁴, XU Shixiao^{1,*}

1 Northwest Institute of Plateau Biology, Institute of Sanjiangyuan National Park, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 College of Eco-Environmental Engineering, Qinghai University, Xining 810016, China

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0501805); 中国科学院战略性先导科技专项 A 类(XDA2005010406); 青海省科技厅科技基础条件平台项目(2020-ZJ-T07); 中国科学院“西部之光”人才培养引进计划(2017)

收稿日期: 2019-12-14; 修订日期: 2020-07-19

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

4 Qinghai Academy of Animal Science and Veterinary Medicine, Xining 810016, China

Abstract: Qinghai-Tibet Plateau plays an important role in ensuring nationally ecological security, developing alpine ecological grass-based livestock husbandry, and improving plateau people's livelihood. Therefore, realizing the sustainable development of alpine grass-based livestock husbandry is of great significance to promote the plateau ecological construction and the regional high quality development. However, the production efficiency and economic benefit of traditional grassland livestock husbandry are quite low, and the situation of grassland degradation is serious, largely attributed to the low carrying capacity of alpine grassland, the contradiction between herbage supply and livestock requirement, and the extensive management of livestock husbandry. The traditional grassland livestock husbandry should be transformed and upgraded to promote the coordinated development of plateau ecological protection, national park construction and people's livelihood improvement. In recent years, with the support of science and technology projects from the state and Qinghai Province, aiming at the bottlenecks of low efficiency, high resources consumption and poor benefit of traditional livestock system, we have carried out the technology research and demonstration of ecological grass-based livestock husbandry in Guinan County of Qinghai Province. After years' research and practice, we integrated a technology system for alpine ecological grass-based livestock husbandry, which contains "rational utilizing alpine grassland-establishing high yield artificial grassland-processing high quality silage and grass products-precisely allocating and utilizing forage-livestock nutrition balanced feeding-intensive processing plateau livestock products-developing integrated industries-regional function coupling development". The newly production system has actively promoted the transformation of the traditional grazing livestock management to ecological grass-based livestock husbandry, and promoted the coordinated development of ecology, production and livelihood in Qinghai-Tibet Plateau alpine area. The works provide science and technology support for plateau ecological protection, improving grass-based livestock husbandry efficiency, and increasing local people's economic income. Meanwhile, these works have certain enlightenment on the adaptive management for typically ecological fragile areas in Western China, and the ecological protection and high-quality development of the upper reaches of the Yellow River.

Key Words: Qinghai-Tibet Plateau; ecological grass-based livestock husbandry; improving people's livelihood; grassland ecological protection; adaptive management; regional sustainable development

青藏高原是世界上平均海拔最高、面积最大的自然地理单元,是我国重要的生态安全屏障区和草牧业生产区^[1-2]。生态草牧业是高寒地区农牧民赖以生存的支柱产业,更是我国藏区可持续发展中不可忽视的部分^[3]。青藏高原拥有的 1.28 亿 hm^2 高寒草地、1300 万头牦牛和近 5000 万只藏系绵羊,构成了当地农牧民重要的生产生活基础^[4]。由于地处生态脆弱区,高寒生态系统面临气候变暖和人类活动的双重压力^[5]。20 世纪 50 年代以来,青藏高原草地畜牧业发展迅速,区域人口和家畜数量快速增长^[6]。由于高寒草地承载力低、草畜供需矛盾突出和家畜饲养管理粗放等原因,导致高寒草地畜牧业生产效率低且经营效益差^[7-9]。长期超载过牧导致高寒草地生态系统退化严重^[10],进而导致草地生产力下降和草畜供需矛盾加剧,严重制约了高寒地区草地畜牧业可持续发展^[11]。

2000 年以来,研究人员在天然草地合理利用^[12-13]、人工饲草建植与草产品加工^[14-16]、放牧家畜补饲^[17-20]和营养均衡养殖^[21-23]等领域取得一系列进展,在一定程度上优化了草地畜牧业经营方式。然而草畜供需时空失衡、高寒草场超载过牧、畜牧业经营效益差等问题依然严峻^[3]。近年来,在国家重点研发计划、中国科学院战略性先导科技专项和青海省科技项目支持下,我们在青海省海南藏族自治州贵南县系统开展了生态草牧业关键技术研发、应用和示范,凝练集成了区域适宜的高寒地区生态草牧业发展技术体系,以期为高寒草地合理利用、草牧业可持续发展和农牧民持续增收提供科技支撑。

1 传统草地畜牧业特征与瓶颈

1.1 高寒草场饲草供给不平衡

在青藏高原高寒地区,牧草生长季(5—9月)的光、温、水、热等资源充足,此时牧草产量和营养品质均能满足放牧家畜营养需求,家畜体况良好且增重效果好。冷季来临后,牧草地上现存生物量和营养品质迅速降低,无法满足放牧家畜的营养需求,导致家畜冷季掉膘严重^[24]。以青海省贵南县高寒草地为例,牧草产量(图1)与营养品质(图2)的月动态均呈单峰型变化,牧草产量从5月开始增加,9月中旬升至最高(202.82 g/m²),翌年4月降至最低(55.67 g/m²)。牧草粗蛋白含量在7月达到最高(12.44%),进入冷季后迅速降至较低水平(3.92%—4.35%)。由于天然草场饲草供给的季节性不平衡,放牧家畜呈“夏饱、秋肥、冬瘦、春乏”的生产力变化^[25-27]。此外,气候变化带来的牧草生产欠年、平年和丰年的交替,也会加剧高寒地区天然草场饲草供给不平衡^[28]。

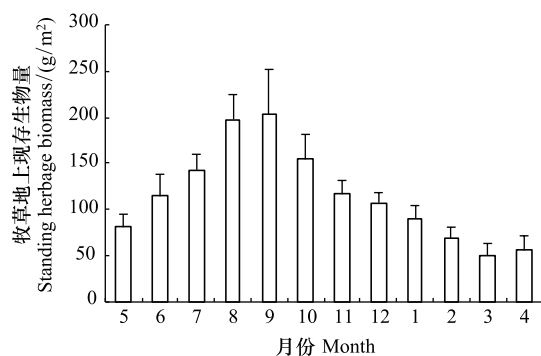


图1 高寒草场牧草地上现存生物量月变化(青海省贵南县)

Fig.1 Monthly changes of standing herbage biomass in an Qinghai-Tibet Plateau alpine pasture (in Guinan County of Qinghai Province)

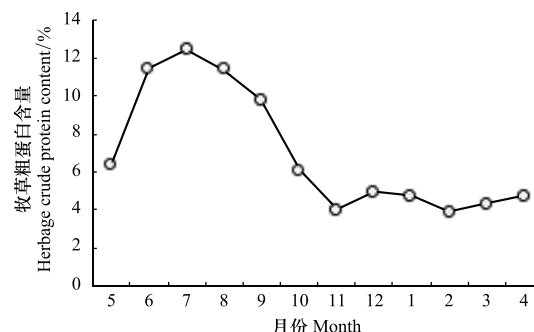


图2 高寒草场牧草粗蛋白含量月变化(青海省贵南县)

Fig.2 Monthly changes of herbage crude protein content in an Qinghai-Tibet Plateau alpine pasture (in Guinan County of Qinghai Province)

1.2 高寒草场长期超载过牧

高寒地区牧草生长期短,草地生产力低,草食家畜承载力低^[29-31]。由于牧民片面追求家畜存栏数量,家畜数量的急剧增加导致高寒草场超载过牧严重。以三江源区为例,该地区理论适宜承载力为1356.25万羊单位,2013—2017年三江源区年平均放牧家畜总量为2235.98万羊单位,草场超载现象较为突出^[32]。由于长期超载过牧,导致40%—60%的高寒草地出现不同程度退化^[4]。草地退化为鼠害提供便利条件,害鼠挖掘、啃食等行为进一步加剧了高寒草地生态系统退化^[33]。传统放牧经营制度下,草畜系统长期处于“超载过牧-草地退化-草畜矛盾-生态恶化”的不良状态,阻碍了高寒草地畜牧业健康发展和当地民生改善^[34]。

1.3 高寒草地畜牧业综合效益差

冷季饲草匮乏且营养品质差,导致放牧家畜生命周期(出生至出栏)减重损失大。加之牧民受“惜宰”和“惜售”等观念影响^[35],畜群中大龄畜、老龄畜和非生产畜数量较多,不利于提高草地畜牧业系统效率。研究表明,过度延长家畜饲养周期不仅不能提高养殖效益,反而浪费大量饲草资源,加重高寒草场载畜压力^[36]。以藏系绵羊为例,传统放牧1—5岁藏系绵羊的总减重损失分别为(7.4±2.2) kg、(15.6±3.5) kg、(26.3±4.5) kg、(36.3±5.8) kg、(48.3±5.9) kg(图3),5岁放牧羊的总减重近乎等于5岁羊活体重。效益分析发现,传统放牧制度下5岁羊出栏时,因冷季掉膘减重造成的经济损失高达(1062.3±131.7)元/羊(图4)。

在青藏高原高寒地区,高寒草地承载力低、草畜供需矛盾突出、畜牧业经营方式落后是导致草地畜牧业系统效率低和经营效益差的主要因素。在全球气候变暖、高原生态保护、国家公园建设和区域高质量发展背景

下,优化高寒草地畜牧业经营方式,因地制宜发展高寒地区生态草牧业,对推动青藏高原生态保护和区域高质量发展具有重要意义。

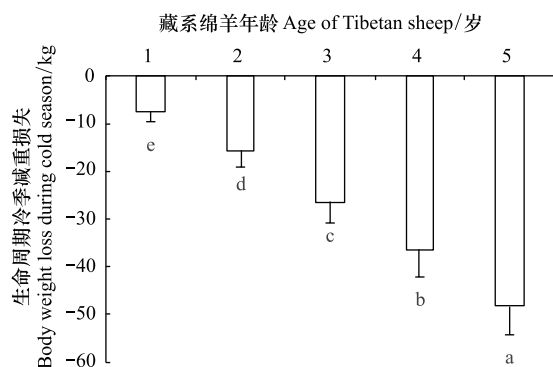


图3 传统放牧1—5岁藏系绵羊的生命周期减重(实测于青海省贵南县)

Fig.3 Total body weight loss of traditional grazing 1—5 year old Qinghai-Tibet Plateau sheep during their life cycles (Actually obtained in Guinan County of Qinghai Province)

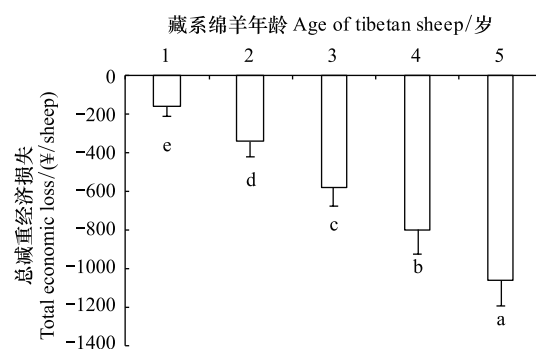


图4 传统放牧1—5岁藏系绵羊的减重经济损失(实测于青海省贵南县)

Fig.4 Total economic loss of traditional grazing 1—5 year old Qinghai-Tibet Plateau sheep during their life cycles (Actually obtained in Guinan County of Qinghai Province)

2 高寒地区生态草牧业可持续发展原理

“草牧业”在2015年中央1号文件中以政府文件的形式提出。草牧业是在传统畜牧业和草业基础上提升的新型生态草畜产业^[37]。草牧业是草业+草食畜牧业+相关延伸产业“三合一”耦合发展关系,草牧业强调“自然-经济-社会复合系统”协同发展,突出草地生产功能与生态功能的合理配置与协调发展,最终实现牧区生态-生产-生活的全面协调发展^[38]。充分考虑青藏高原高寒地区地理条件、自然资源禀赋和区域保护与发展特征,高寒地区生态草牧业可持续发展应遵循天然草地适度利用原理,优质人工草地建植原理,优质草产品加工原理,家畜营养均衡饲养原理,产业融合发展原理和区域功能耦合原理。

(1)天然草地适度利用原理。草牧业生产是高寒草地的最主要利用方式,研究表明长期围封和超载过牧均不利于维持草地生态系统功能^[39-41],适度干扰(放牧)有助于维持高寒草地物种多样性,提高草地生产力^[42-44]。近年来,随着生态建设工程的深入和草畜平衡政策的普及,高寒草地退化趋势得到初步改善。为了推动高寒地区草牧业可持续发展,需开展基于返青期短期休牧的天然草场季节轮牧,降低天然草地放牧压力,促进草地休养生息,实现高寒草地的科学保护与适度利用。

(2)优质人工草地建植原理。饲草供给能力不足是导致高寒草地畜牧业系统效率低和经营效益差的主要原因。草产业是实现高寒地区草牧业可持续发展的必由之路,利用青藏高原农区和农牧交错区水热资源建设优质高产人工草地,大幅提高优质牧草产量,为家畜营养均衡生产提供优质饲草资源。基于草地资源置换理论,建植小面积优质人工草地生产优质饲草,可以实现大面积天然草地保护、恢复与适度利用,实现高寒草地生产功能与生态功能双赢^[37, 45-46]。结合青藏高原草牧业生产实际,优质人工草地建植领域需加强高寒地区适宜优良草种筛选、人工草地建植管理技术优化、禾/豆混播丰产栽培技术优化等工作。

(3)优质草产品加工原理。长期以来,高寒地区人工草地建植规模小且饲草加工保存方式粗放,导致牧草养分流失严重和冷季饲草品质差。在草牧业实践中,对生长旺盛的优质人工草地牧草,通过调制加工工艺将其调制成优质草产品(如:青贮、草颗粒等),降低冷季牧草存储过程中营养成分流失,可以促进发挥家畜生长潜能,提高饲草转化效率^[47]。结合高寒地区草牧业生产特征,为了获取优质草产品,需开展牧草最佳收获时间优化、适宜青贮菌剂筛选、优良牧草青贮技术应用,同时依托生态草业领域的企业生产营养型草块和草颗

粒,解决饲草运输效率低的问题,实现饲草资源的时(季节)空(区域)尺度均衡供应,保障家畜营养均衡生产。

(4)家畜营养均衡饲养原理。提高家畜生产效率和饲草转化率,是实现高寒地区草牧业提质增效的关键。在青藏高原农区和农牧交错区,结合家畜营养需求标准,通过饲草精准配置优化家畜舍饲日粮,因地制宜开展家畜“暖牧冷饲”两段式管理和短期舍饲出栏技术,缩短家畜饲养周期,提高草牧业生产效率、饲草转化效率和家畜出栏率。实现以较低的资源代价获得优质畜产品和提升草牧业经营收益,切实提高农牧民的家庭收入,同时缓解冬春草场放牧压力,促进高寒草地资源合理利用^[11]。

(5)产业融合发展原理。草牧业是“草业+草食畜牧业+延伸产业”的三合一产业联合体,三者相互依存、相互促进,注重一二三产业融合发展^[38]。结合青藏高原生产实际,在高寒地区草牧业发展中应推动第一产业(草业、种植业、养殖业等)、第二产业(高原农畜产品加工)和第三产业(文旅服务等)融合发展,延长生态草牧业产业链,拓宽农牧民增收渠道,积极推动青藏高原高寒地区生态-生产-生活协调发展。

(6)区域功能耦合原理。实现草地牧业区、农牧交错区与河谷农业区耦合发展,促进高寒地区草牧业提质增效^[25,36]。草地牧业区推行“天然草地合理利用+放牧家畜适时出栏”的季节畜牧业模式;农牧交错区实施以“天然草地适度利用+饲草建植与加工+农牧结合+产业融合”为一体的发展路径;河谷农业区实施以“种养结合+产业融合”为一体的发展路径。通过区域功能耦合,充分发挥不同区域的生态生产功能,延长草牧业产业链,实现高原生态保护与民生持续改善的良性协调发展^[38]。

3 高寒地区生态草牧业技术与实践

研究区位于青海省贵南县,地处青藏高原东缘农牧交错区,贵南县是海南藏族自治州生态畜牧业国家可持续发展实验区的核心区。因其天然草地、耕地和水热等资源充足,贵南县具备发展种养结合与农牧耦合的天然优势,是探索高寒地区生态草牧业发展模式的典型区域。针对高寒地区草牧业发展中存在的草场超载过牧严重、草畜供需失衡、种养结合不紧密、系统效率和经营效益差的瓶颈问题,我们结合当地自然资源禀赋,经过多年生态草牧业关键技术的研发、应用和实践,集成了以“天然草地适度利用—优质人工草地建植—草产品加工—饲草精准配置—家畜营养均衡饲养—高原特色畜产品精深加工—产业融合—区域功能耦合”等为一体的高寒地区生态草牧业发展技术体系。实践证明,该技术体系积极推动了传统草地畜牧业向生态草牧业发展转变,促进了高寒地区生态-生产-生活的良性协调发展。

3.1 高寒草地适度利用

结合高寒地区草牧业生产实际,因地制宜应用返青期短期休牧、天然草场季节轮牧、冷季家畜放牧补饲和短期舍饲出栏等技术,可以显著降低天然草场载畜压力,提升高寒草地合理利用水平。① 高寒草场返青期短期休牧,5月初至6月下旬实施天然草场短期休牧,禁止家畜放牧活动,保障牧草正常生长,促进恢复高寒草地生态生产功能。② 夏秋草场适度放牧,返青期休牧结束后家畜进入夏秋草场,于7月初至10月下旬开展天然草地合理放牧利用。③ 冬春草场放牧补饲,夏秋草场放牧结束后家畜转至冬春草场,于11月初至翌年4月开展冷季家畜放牧补饲,草场利用率为80%左右。④ 家畜短期舍饲出栏,为缓解高寒草地放牧压力,选择适当规模家畜(非生产畜、老龄畜)开展冷季短期舍饲出栏,提高饲草转化效率和家畜出栏率。分析表明:天然草场季节轮牧较传统连续放牧显著提高了高寒草地的植被地上生物量(图5)和优质牧草产量(图6)。

3.2 优质高产人工草地建植

在青藏高原水热条件适宜的农牧交错区建设优质高产人工草地(图7),可以显著提高优质牧草产量,推动高寒地区种养结合与农牧耦合。在高原农牧交错区,适当推迟牧草播种期(5月下旬至6月上旬),充分利用6—9月的光、温、水、热等资源,可以充分发挥牧草生长潜能,显著提高优质牧草产量。在9月中下旬进行牧草刈割收获,可以使牧草产量和营养品质保持在较高水平,从而提高人工草地的饲草和营养供给能力。2018年度产草量监测结果表明,燕麦/箭筈豌豆混播、黑麦/箭筈豌豆混播人工草地的干草产量分别达到15.58 t/hm²和13.26 t/hm²(图8),分别为未退化高寒草甸(冷季草场)的5.14倍和4.41倍。

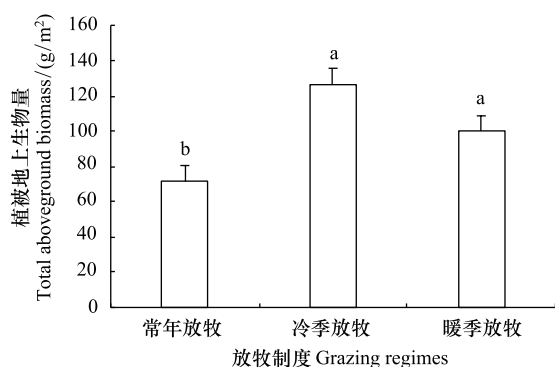


图5 不同放牧制度下高寒草地的植被地上生物量 (图片重绘自张晓玲等^[12])

Fig.5 Total above-ground biomass under different grazing regimes in an Qinghai-Tibet Plateau alpine steppe (Redraw from Zhang et al^[12])

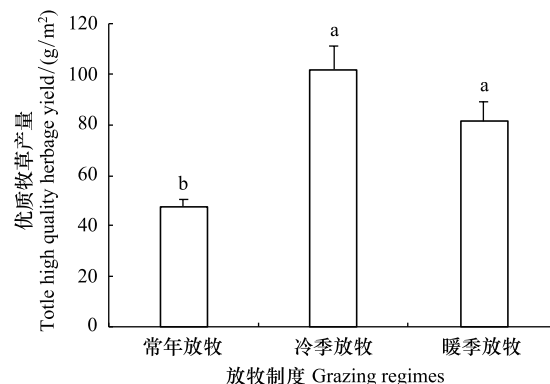


图6 不同放牧制度下高寒草地的优质牧草产量 (图片重绘自张晓玲等^[12])

Fig.6 Total high quality herbage yield under different grazing regimes in an Qinghai-Tibet Plateau alpine steppe (Redraw from Zhang et al^[12])



图7 青海省贵南县的禾/豆混播人工草地生产景观

Fig.7 Production scene of grass-legume artificial grassland in Guinan County of Qinghai Province

基于草地资源置换原理,在水热条件良好的高寒地区可以开展小面积优质高产人工草地建植,在保障优质饲草供给的同时,有效促进了大面积天然高寒草地的保护、恢复与合理利用,有效提升了天然草地生态屏障功能。经过多年的人工草地建植技术研究和应用示范,优质高产人工草地建植技术在青藏高原农牧交错区得到了较好的推广应用。为了方便指导农牧民开展优质人工草地建植,因地制宜制定了高寒地区优质人工草地建植管理技术流程。如:一年生人工草地建植管理技术、禾豆混播人工草地建植管理技术(表1)。

3.3 优良牧草青贮

冷季饲草数量和营养匮乏是制约家畜营养均衡生产的重要因素。建植优质人工草地有效提高了高寒地区冷季饲草储备,然而传统储存方式下(青干草捆)的

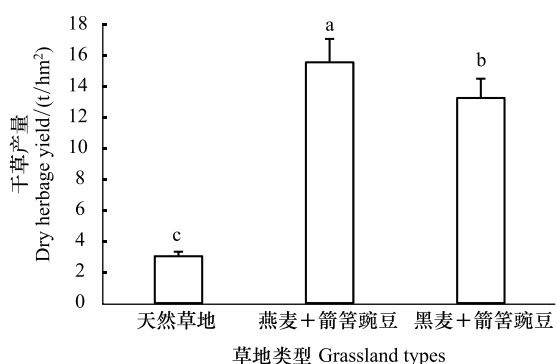


图8 优质人工草地与未退化高寒草地的干草产量比较 (实测于青海省贵南)

Fig.8 Comparison of dry herbage yields between artificial grassland and un-degraded alpine pasture (Actually obtained in Guinan County of Qinghai Province)

牧草营养成分损失大,不利于发挥家畜生长潜力和提高饲草转化效率。近年来实践发现,对建植人工草地的优质牧草而言,在生长旺盛期将其刈割并调制加工成优质青贮草,可有效延长牧草保存时间,大幅降低冷季存储过程中的牧草营养流失。

表 1 高寒地区燕麦/箭筈豌豆混播人工草地建植技术流程

Table 1 Technical process of establishing oat-arrow pea artificial grassland in Qinghai-Tibet Plateau alpine area	
环节 Procedures	技术要点 Technical points
土地选择 Land selection	选择地势平坦、排灌条件良好、土层相对深厚、有机质含量高的地块,土壤 pH 值 6.5—8.0 为宜
整地施肥 Soil preparation and fertilization	播前对待播地块进行翻耕(翻耕深度 20—25 cm 为宜)、耙磨、整平等,使地表土块细碎平整、无前茬残留物。翻耕前,按照 20—30 t/hm ² 的剂量配施有机肥作为基肥
种子处理 Seed treatment	选择国标规定 3 级以上禾-豆类种子,播前需晒种 2—3 d,促进种子发芽
播种时间 Seeding date	在条件适宜的高寒农区或农牧交错区,在 5 月底至 6 月初进行播种,充分利用 7—9 月的光温水热资源,促进禾豆混播牧草生长
播种剂量 Seeding rate/dose	混播适宜播种量为燕麦 160—170 kg/hm ² ,箭筈豌豆 60—65 kg/hm ²
播种方法 Seeding method	条播和撒播均可。待播种子须干净无杂质,纯净度达到 90% 以上,播后轻耙、覆土、播种深度 3—4 cm 为宜
田间管理 Field management	在有灌溉条件的种植区尽可能在燕麦拔节期灌溉 1 次,结合降雨或灌溉施尿素 45—70 kg/hm ²
收获贮存 Herbage harvest and storage	在燕麦处于乳熟至蜡熟期,箭筈豌豆处于盛花期进行收获。此时牧草产量高、营养品质好,收获牧草可用于调制青干草,亦可制作青贮草
适宜区域 Suitable area	青藏高原条件适宜的河谷农业区、农牧交错区,海拔 2600—4200 m

近年来,青贮技术在高寒农牧交错区得到较好的推广运用,有效缓解了冷季饲草营养品质差的问题。为了推动优良牧草青贮技术应用,我们先后开展了牧草最佳收获时间优化、适宜青贮菌剂筛选、捆裹青贮示范和青贮壕青贮示范(图 9)等工作,制定了区域适宜青贮技术流程(表 2)。2016 年以来依托当地的畜牧业合作社、家庭联营牧场和牧户累计完成优良牧草青贮示范 6000 余 t。营养分析表明:燕麦/箭筈豌豆混播的青贮草粗蛋白含量可以达到 8.0% 以上,而传统保存方式下(燕麦青干草)的牧草粗蛋白含量仅为 5.5% 左右(图 10)。



图 9 青藏高原高寒地区捆裹青贮(左)与青贮壕青贮(右)
Fig.9 Baled silage (left) and trench silage (right) in Qinghai-Tibet Plateau alpine area

3.4 家畜营养均衡饲养

为了推动青藏高原高寒地区家畜营养均衡饲养,结合高寒草地畜牧业生产的季节特征,团队先后优化了家畜春季短期舍饲、放牧家畜牧归补饲、放牧家畜适时出栏、“暖牧冷饲”两段式管理、羔羊短期舍饲出栏等技术,积极推动了传统草地畜牧业提质增效。

(1)家畜春季短期舍饲。在冷季末期至牧草返青期(4—6 月),实施家畜短期舍饲,对保障家畜顺利度过饲草匮乏期和恢复天然草地功能具有重要意义。我们系统研究了日粮精料水平对藏系绵羊春季生长性能和养殖收益的影响,研究发现藏系绵羊的春季日均增重随着日粮精料水平增加呈现显著的增加趋势(图 11),采

用低精料日粮(15%精料,7.69% CP)可以使春季舍饲达到收支平衡(9.01 元/羊),采用适宜精料日粮(45%精料,10.38% CP)可以获得较好的春季养殖收益(91.95 元/羊)。高寒地区牧民可以根据自身经济状况、饲草储备数量及家畜出栏需求等因素选择适宜的日粮类型,保障家畜顺利度过休牧期(饲草匮乏期),促进恢复天然草地生态生产功能。

表 2 青藏高原高寒地区青贮壕青贮技术流程

环节 Procedures	技术要点 Technical points	注意事项 Attention
建青贮壕 Building silage trench	选址在通风干燥、靠近畜棚、易于排水的地方;呈长条形壕沟且四周光滑,沟两端呈斜坡(从沟底逐渐升高至与地面平,30°为宜);结合贮存草数量、地下水位高低及家畜数量等确定青贮壕的大小。	宽度不宜过宽,方便取用为宜
原料准备 Silage raw material preparation	适时收获:高寒地区燕麦禾本科牧草等在 9 月中旬收割最优;水分控制:含水量控制在 65%—75% 为宜(切碎放在手心攥紧,手指缝隙渗出水珠);适度切碎:羊用青贮粉碎长度一般在 2—3 cm 左右,牛用青贮粉碎长度一般在 4—6 cm。	水分控制要合理,牧草切碎后应尽快装壕
装壕压实 Trench filling and compaction	在壕底铺 10—15 cm 厚的干秸秆或软草,壕壁四周衬优质塑料膜;遵循逐层填装、边填边压、操作快速和紧实性好的原则;每装 15—20 cm 厚青贮草压实 1 次,同时按照比例均匀添加青贮菌剂;当青贮草高出地面 20—30 cm 的高度时停止装壕;小型青贮壕尽量当日完成,大型青贮壕 2—3 d 内完成。	迅速装壕、保证压实、青贮菌剂喷洒均匀
封顶处理 Trench capping	青贮料装满压实后,覆盖塑料膜并将边缘严实,封顶前应先覆盖软草或秸秆,再用 30 cm 厚的沙土封严。出现土层下沉、裂缝时需及时封严。	封顶时防止漏水漏气
后期管理 Late stage management	青贮壕四周挖排水沟;如发现窖顶有裂缝,应及时覆土压实。	发酵期间谨防雨、雪水渗入
开窖启用 Utilization of silage	高寒地区发酵时间为 40 d 左右达到稳定,50—60 d 取用,取用遵循从一端分段逐层取用原则。未用青贮及时覆盖,避免与空气接触发生二次发酵。	防止二次发酵和霉变

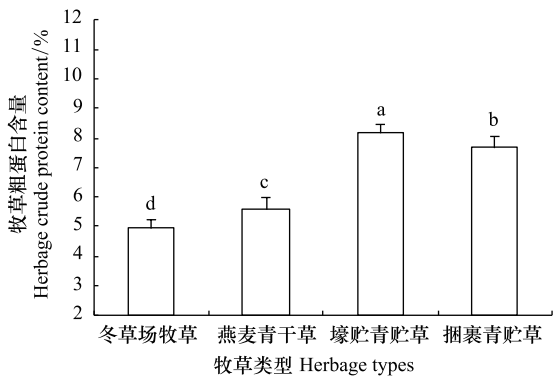


图 10 不同调制方式下的牧草粗蛋白含量(实测于青海省贵南县)

Fig. 10 Herbage crude protein contents under different processing procedures in Qinghai-Tibet Plateau alpine area (Actually obtained in Guinan of Qinghai Province)

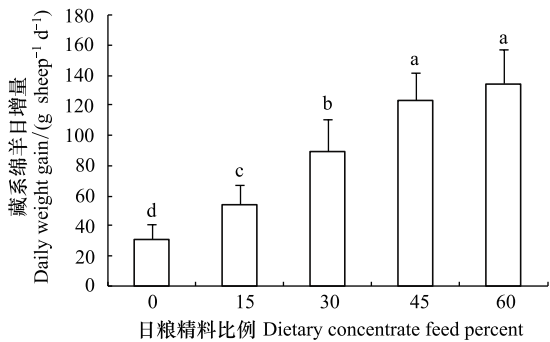


图 11 不同日粮精料比例下藏系绵羊的日增重(图片重绘自徐田伟等^[48])

Fig.11 Average daily body weight gains of Qinghai-Tibet Plateau sheep fed diets with different concentrate feed levels (Redraw from Xu et al^[48])

(2)冷季牧归补饲。对高寒偏远地区牧户而言,畜牧业基础设施薄弱,没有人工草地建植条件,不具备冷季舍饲条件。为缓解放牧家畜冷季掉膘减重,我们研究了冷季单一放牧和牧归补饲精料补充料对藏系绵羊的冷季生长性能和养殖收益的影响。为期 60 d 的试验结果表明,与冷季单一放牧相比,冷季牧归补饲适量

(150 g 精料 羊⁻¹ d⁻¹)的精料补充料,可以显著改善藏系绵羊冷季生长性能,提高冷季养殖收益(表 3)。地处偏远地区的牧民可以采用冷季家畜牧归补饲技术,降低家畜冷季减重损失。

(3)“暖牧冷饲”两段式管理。在饲草供给充足的暖季开展合理放牧,充分发挥家畜生长性能。进入冷季后,利用农区和农牧交错区饲草、农副产品和精料等,优化家畜舍饲日粮,开展冷季家畜短期舍饲出栏。实践表明:“暖牧冷饲”两段式管理保障了家畜全年持续增重,显著提高了家畜生产效率和饲草转化率,在缓解天然草地放牧压力的同时显著提高了牧民经营收益(表 4)。近年来,“暖牧冷饲”两段式管理技术在高原农牧交错区和农区得到了规模化应用,有效推动了高寒地区生态保护与草牧业提质增效。

表 3 冷季单一放牧与牧归补饲羊的冷季生长性能与收益 (表格重制于徐田伟等^[19])

Table 3 Growth performance and economic benefit of Qinghai-Tibet Plateau sheep under grazing and grazing-supplementing management during cold season (Remade from Xu et al^[19])

指标 Items	冷季单一放牧 Cold season grazing	冷季牧归补饲 Grazing combined supplementing
总增重 Total body weight gain/kg	-3.16±0.89	2.06±1.17
日均增重 Average daily body weight gain/(g/d)	-52.67±14.45	34.33±19.54
补饲成本 Supplementing cost/(元/羊)	0.00	22.50
养殖收益 Breeding profit/(元/羊)	-66.36±18.21	20.76±24.62

表 4 冷季不同饲养制度下藏系绵羊的生长性能和养殖收益 (表格重制于 Xu 等^[22])

Table 4 Growth performance and breeding profit of Qinghai-Tibet Plateau sheep under different feeding managements during cold season (Remade from Xu et al^[22])

指标 Items	冷季均衡饲养 Nutrition balanced feeding	冷季放牧 Cold season grazing
日粮粗蛋白 Diet crude protein/%	10.31	5.10
藏系绵羊初始体重 Initial body weight/kg	23.91±0.96	28.16±2.16
藏系绵羊末期体重 Final body weight/kg	49.25±1.29a	22.50±2.09b
藏系绵羊总增重 Total body weight gain/kg	25.33±1.35a	-5.66±0.51b
饲草消耗 Feed consume/(kg 干重)	190.11	98.83
养殖费用 Breeding cost/(元/羊)	326.99	—
增重收益 Benefit of body weight gain/(元/羊)	532.00±28.52a	-119.00±10.73b
养殖收益 Total breeding profit/(元/羊)	205.01±28.52a	-119.00±10.73b

(4)羔羊短期舍饲出栏。充分利用人工草地生产的优质草产品,结合精料等资源开展断奶羔羊短期舍饲出栏,可以使 6 月龄藏系羔羊的活体重达到 34.00 kg/羊以上,胴体重达到 15.80 kg/羊(表 5)。在青藏高原农区和农牧交错区,采用羔羊短期舍饲出栏技术,可以显著缩短饲养周期,提高畜牧业生产效率、饲草转化效率和家畜出栏率。对提高牧民经营收益、缓解高寒草地放牧压力和改善高原生态环境均具有重要意义。

表 5 不同饲养方式下藏系羔羊的生长和屠宰性能

Table 5 Growth and slaughter performance of Qinghai-Tibet Plateau lamb under different feeding managements

指标 Item	舍饲羔羊 feedlot lamb	放牧羔羊 Grazing	P
初始体重 Initial body weight/kg	16.50±0.64a	15.25±0.55a	0.162
末期体重 Final body weight/kg	34.00±1.43Aa	21.50±0.59Bb	0.000
羔羊增重 Body weight gain/kg	17.50±1.30Aa	6.25±0.57Bb	0.000
胴体重 Carcass weight/kg	15.80±2.74Aa	8.58±0.71 Bb	0.000
屠宰率 Slaughter rate/%	47.38±2.25Aa	40.52±2.52 Bb	0.002

3.5 高原特色畜产品加工

近年来,青藏高原高寒地区成立了一批农牧产业化龙头企业,通过引进先进工艺,规范生产流程,精心包

装及品牌建设等,生产和销售具有高原特色的高质量农畜产品(分割牛羊肉、精品速冻小包装、休闲熟制品、牦牛肉干、牦牛酸奶等)。畜产品加工业的发展在一定程度上带动了周边地区劳动力就业,积极推动了高寒地区草畜牧业提质增效和农牧民持续增收。农牧民在从事畜牧生产的同时,采用传统工艺生产老酸奶、酥油、曲拉和风干肉等高原特色产品,在丰富自身生活的同时拓宽了增收渠道。

3.6 产业融合发展

近年来,在青藏高原高寒地区逐步形成了一二三产业融合发展模式。第一产业以草产业、养殖业和种植业为主,通过成立专业合作社开展标准化生产,积极促进了草产业和养殖业融合。例如,在农牧交错区建植优质人工草地生产优质草产品,同时优化饲草料配置开展家畜均衡饲养,大幅提高了家畜出栏率和畜牧业经营效益。第二产业以特色畜产品精深加工为主,通过标准化生产和品牌建设等方式提升高原特色畜产品附加值,促进了农牧民稳步增收。第三产业以文旅服务产业为主,合作社中剩余劳动力通过开办特色餐饮、农(牧)家乐、文印店、洗车行及高原特色农畜产品体验店等方式增加家庭收入。近年来发展变化表明,产业融合模式显著提升了高寒地区草畜牧业生产效率和牧民经营收益,协调推动了高原生态保护与区域民生改善。

3.7 生态草畜牧业生产组织模式

目前,青藏高原农牧交错区逐步形成了区域适宜的“企业+基地+牧户”生态草业模式、藏系绵羊产业模式和牦牛产业模式。①“企业+基地+牧户”生态草业模式,指以“农牧交错区土地流转-优质高产人工草地建植-优质草产品加工-草产品供给保障-家畜营养均衡饲养-抗灾保畜饲草储备”等为一体的草产业发展模式。例如:青海省现代草业发展有限公司,通过流转农牧民闲置土地,开展优质人工饲草基地建植和草产品(捆裹青贮、草颗粒、草块、营养型日粮等)加工,显著提高高寒地区冷季饲草储备,在青海省家畜营养均衡生产、区域饲草调配和冷季抗灾保畜等方面发挥着重要作用。在草业发展中积极引入农牧民开展人工草地建植、田间管理、饲草运输及草产品加工等环节,积极带动了周边农牧民增收。②藏系绵羊产业模式,指以“天然草场季节轮牧-优质人工草地建植-优质牧草青贮-饲草料精准配置-藏系绵羊营养均衡饲养-特色农畜产品加工-产业融合发展”等为一体的藏系绵羊产业发展模式。例如:青海省贵南县森多嘉仓畜牧业专业合作社,该合作社按照农牧民技能水平进行分组和分工,优化草畜资源配置并开展规范化生产。在开展天然草地适度利用的同时,通过建植人工草地和饲草料配置开展藏系绵羊“暖牧冷饲”两段式饲养和羔羊短期舍饲出栏,提升草畜牧业系统效率和经营收益。同时合作社注重产业融合发展,先后开发了传统酸奶、曲拉、酥油和人参果等特色藏式产品,开办了农畜产品体验店、打字复印店、洗车行和特色餐饮店等,通过生态草畜牧业产业链有效带动了合作社牧民增收。③牦牛产业模式,指以“天然草地适度利用—优质人工草地建植—优良牧草青贮—饲草料精准配置—牦牛营养均衡饲养—特色畜产品精深加工”等为一体的牦牛产业发展模式。例如:贵南县塔秀雪域诺央畜牧业合作社,通过人工草地建植和草产品加工为牦牛营养均衡饲养提供饲草保障,通过“暖牧冷饲”两段管理显著提升牦牛生产效率和社员的经营收益。

4 高寒地区生态草畜牧业发展初见成效

经过多年的技术研究和生产实践,研究区逐步实现了传统草地畜牧业向生态草畜牧业发展转变,显著提升了草畜牧业系统效率和农牧民经营收益(表6)。①高寒草地合理利用水平显著提升。草畜牧业实践中更加注重退化高寒草地的科学治理(采取已证明富有成效的休禁牧措施),对未退化高寒草地而言,开展基于返青期短期休牧的天然草场季节轮牧,在降低高寒草地放牧压力的同时促进草地休养生息,有效提高了草地生态系统功能。②饲草建植与加工水平显著提升。传统草地畜牧



图 12 青海省贵南县嘉仓生态畜牧业专业合作社分红
Fig. 12 Dividends of Jia-cang ecological animal husbandry cooperative in Guinan County of Qinghai Province

业中人工草地建植规模小、草产品加工利用方式粗放、饲草利用效率低。草牧业实践中加强了适宜优良草种筛选、禾豆混播丰产栽培技术优化和优质人工草地建植管理技术优化等工作。目前人工草地建植技术在高原农牧交错区进行了大面积推广应用,显著提高了高寒优质饲草产量(图 8)和冷季饲草储备。同时,采用优良牧草青贮技术有效保存了牧草营养品质(图 10),为家畜营养均衡生产提供了优质饲草保障。③ 高寒地区草牧业系统效率显著提升。与传统草地畜牧业相比,草牧业实践中加强了家畜分群管理和家畜舍饲日粮优化,因地制宜应用了放牧家畜舍饲出栏、“暖牧冷饲”两段式管理、短期舍饲出栏等技术,显著缩短了家畜饲养周期,降低了家畜生命周期饲草消耗和掉膘减重损失,在提高饲草转化效率的同时提高了家畜生产效率、出栏率和商品率,实现了以较低的饲草资源消耗生产更多的优质畜产品。④ 产业融合促进农牧民稳步增收。与传统草地畜牧业中的单一放牧经营相比,草牧业实践中更加注重一二三产业融合和区域功能耦合,新形势下牧民在从事草牧业生产的同时,从事或参与服务、餐饮和旅游等产业,拓宽牧民增收渠道,促进牧民增收。以贵南县森多乡嘉仓畜牧业专业合作社为例,通过应用家畜营养均衡饲养技术显著提高了家畜生产效率和出栏率,促进了高寒草地生态功能和生产功能协调发展。在从事草牧业生产的同时,通过从事藏式特色餐饮、特色农畜产品开发、开办文印店、洗车行和劳务输出等多种方式,延长草牧业产业链,促进农牧民增收。2017 年合作社户均年终分红达到 8098.4 元,牧民增收效果显著。⑤ 生态草牧业促进高原生态保护。基于返青期休牧的天然草场季节轮牧技术,实现优化植被群落和提高草地生产力,促进了高寒草地资源可持续利用。优质人工草地建植技术的推广应用,有效保障了高寒地区家畜营养均衡生产,同时促进了大面积天然草地恢复、保护与合理利用。缩短家畜饲养周期显著降低了家畜生命周期饲草消耗,实现了以较低的资源代价生产优质畜产品。同时,通过缩短家畜饲养周期,在提高草牧业系统效率的同时,显著降低畜产品的碳排放强度和土地利用强度。由此可见,因地制宜发展高寒地区生态草牧业,具有较好的系统生产效率、经济效益和生态效益。

表 6 青藏高原高寒地区生态草牧业发展成效
Table 6 Development effect of ecological grass-based livestock husbandry in Qinghai-Tibet Plateau alpine area

指标 Item	传统草地畜牧业 Traditional grassland livestock husbandry	生态草牧业 Ecological grass-based livestock husbandry
高寒草地保护与适度利用 Protection and proper utilization of alpine grassland		
退化高寒草地恢复治理 Management of degraded grassland	长期围封为主	采用有成效的休禁牧措施、中轻度退化草地采取季节性休牧、重度退化草地采用围封禁牧
未退化草地利用 Utilization of un-degraded grassland	常年连续放牧,超载过牧严重	基于返青期休牧的天然草场季节轮牧,缩短了家畜放牧时间,有效降低了高寒草地载畜压力
植被群落特征与生物量 Vegetation characteristics and biomass	草地退化、毒杂草增加、优质牧草产量降低、加剧草畜矛盾	返青期休牧使群落高度提高 1 倍以上,植被覆盖度提高 20% 以上,植被地上生物量提高 1 倍以上 ^[46] ;天然草地季节轮牧较常年连续放牧显著提高植被地上生物量和优质牧草产量(图 5、图 6);有效促进了高寒草地可持续利用
饲草建植与草产品加工利用 Planting artificial grassland and grass product processing		
人工草地规模和建植技术 Scale and technology for artificial grassland	圈舍附近、小规模种植,以燕麦单播为主	广布于农牧交错区,建植牧草品种多样化,在单播基础上增加了禾豆混播技术,显著提高牧草产量和营养品质
草产品加工和利用方式 Grass product processing and using methods	青干草为主,主要用于冷季抗灾保畜	加工形式多样;青贮、窖青贮、捆裹青贮、调制青干草、营养型草块、草颗粒等,主要用于家畜营养均衡饲养、饲草战略储备和冷季抗灾保畜
饲喂方式及饲草转化率 Feeding methods and feed conversion efficiency	降雪天气时进行粗放散喂,踩踏浪费较为严重,饲草转化率低	常与农副产品、精料等混合调制成营养均衡日粮,显著提高家畜生长性能和饲草转化率 ^[22]
草牧业系统效率和经营收益 Production efficiency and economic benefit of livestock husbandry		
生产组织形式 Production organization modes	单户经营为主,产业结构单一	成立专业合作社开展规范化经营和标准化生产,显著提升草牧业经营管理水平,同时注重产业融合与区域功能耦合

续表		
指标 Item	传统草地畜牧业 Traditional grassland livestock husbandry	生态草牧业 Ecological grass-based livestock husbandry
家畜饲养方式 Livestock raising methods	传统放牧经营为主、冷季遇到恶劣天气时补饲干草	实行家畜分群管理,基于不同生产目标选择不同饲养方式。饲养方式多样化;冷季牧归补饲、“暖牧冷饲”两段式管理、放牧家畜适时出栏、短期舍饲出栏等
家畜生产效率 Livestock production efficiency	饲养周期长(藏羊 5 岁左右、牦牛 6—8 岁)、生命周期减重损失大、饲草消耗大且饲草转化率低	“暖牧冷饲”和短期舍饲出栏技术可以将藏系绵羊的饲养周期缩短至 0.6—1.5 年,不经历冷季掉膘减重损失,显著提升畜牧业生产效率、饲草转化效率
牧民经营收益 Economic benefit of local pastoralists	以传统放牧经营为主,由于饲养周期长、出栏率低,导致传统放牧经营方式下经营收益低	种植业+草产业+养殖业+文旅服务融合发展,通过草牧业产业链有效促进了牧民增收,以嘉仓合作社为例,2017 年分红 2455.0—50923.6 元/户,户均增收 8098.4 元,草牧业增收效果显著
高寒地区草畜系统生态效益 Ecological benefit of Qinghai-Tibet Plateau alpine grass-livestock system		
家畜出栏时活体重 Body weight of livestock	传统放牧 5 岁羊出栏的活体重为 49.7 kg	暖牧冷饲 1.5 岁羊的活体重为 54.6 kg,高于传统放牧 5 岁羊
饲草消耗及转换效率 Feed consumption and feed conversion efficiency	饲养周期内的饲草消耗总量高达 2323.2 kg DM(干物质),料重比为 47.1 DM/kg BW gain,饲草消耗大且饲草转化效率低	饲养周期内的饲草消耗总量为 448.3kg DM,料重比为 8.3 kg DM/kg BW gain,实现了以较低饲草资源消耗生产更多的畜产品
畜产品碳足迹 Carbon footprint of livestock products	48.5 kg CO ₂ -eq/kg CW,碳足迹高,不利于应对气候变化	9.4 kg CO ₂ -eq/kg CW,显著降低畜产品碳足迹,属于生态友好型的家畜生产方式
土地利用强度 Land using intensity	生产 1 kg 胴体重需要使用 946.7 m ² 的土地面积(高寒草地)	生产 1 kg 胴体重需要使用 90.2 m ² 的土地面积(包括高寒草地、人工草地和耕地),显著提高资源利用率
高寒草地功能 Alpine grassland function	高寒草地长期超载过牧、生态生产功能衰退,不利于草地可持续利用和畜牧业健康发展	基于天然草地季节轮牧和家畜营养均衡生产等技术耦合应用,有效维持了高寒草地群落结构和生态生产功能,能够支撑高寒草地可持续利用

5 展望

因地制宜发展青藏高原生态草牧业,显著提高了高寒地区草畜系统的生产效率、经济效益和生态效益,促进了生态保护与民生改善协调发展。在全球气候变暖、畜产品需求日益增加和高原生态保护的大背景下,实现高寒地区生态草牧业可持续发展,对推动青藏高原生态保护和区域高质量发展具有重要意义。为进一步推动高原生态保护和民生改善的协调发展,未来发展中需关注:(1)以高原农牧交错区为纽带,发展区域适宜生态草牧业。合理利用青藏高原的自然资源禀赋,科学配置草地生产功能和生态功能,因地制宜开展优质高产人工草地建植和草产品加工,提高优质饲草产量和优质草产品供给能力,推行家畜营养均衡养殖技术,提高家畜生产效率、草畜转化效率和草牧业经营收益。(2)优化草畜资源配置,实现区域功能耦合发展。草地牧业区积极推行季节畜牧业模式,农牧交错区因地制宜发展生态草牧业及其衍生产业,河谷农业区推行种养结合、农牧耦合与产业融合等发展模式。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,实现以较低的资源代价获得优质农畜产品和良好经营收益,促进高原生态保护与草牧业协调发展^[46]。(3)实现生态草牧业提质增效,助力三江源国家公园建设。三江源国家公园是我国第一个国家公园体制试点,是加快生态文明体制改革和建设美丽中国的重要抓手,是践行“绿水青山就是金山银山”的重要行动。针对三江源国家公园生态保护与民生改善的现实需求,以系统耦合理论和草畜平衡原理为指导,通过草畜资源时空优化配置加快国家公园内家畜周转速率,降低园区内放牧家畜存栏数量,减少放牧家畜对野生动物栖息地的干扰,为珍稀有蹄类野生动物保护释放生态空间,推动三江源国家公园高寒草地与食草动物平衡管理。

参考文献 (References):

[1] 张宪洲,杨永平,朴世龙,包维楷,汪诗平,王根绪,孙航,罗天祥,张扬建,石培礼,梁尔源,沈妙根,王景升,高清竹,张德铨,欧阳

- 华. 青藏高原生态变化. 科学通报, 2015, 60(32): 3048-3056.
- [2] 刘兴元, 龙瑞军, 尚占环. 青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互作机制. 生态学报, 2012, 32(24): 7688-7697.
- [3] Shang Z H, Gibb M J, Leiber F, Ismail M, Ding L M, Guo X S, Long R J. The sustainable development of grassland-livestock systems on the Tibetan plateau: problems, strategies and prospects. The Rangeland Journal, 2014, 36(3): 267-296.
- [4] 田莉华, 周青平, 王加亭, 陈有军, 陈仕勇, 魏新春, 麦贤敏, 郑洲. 青藏高原草地畜牧业生产现状、问题及对策. 西南民族大学学报: 自然科学版, 2016, 42(2): 119-126.
- [5] 秦戎, 宜树华, 李乃杰, 任世龙, 王晓云, 陈建军. 青藏高原草地生态系统碳循环研究进展. 草业学报, 2012, 21(6): 275-285.
- [6] 武高林, 杜国桢. 青藏高原退化高寒草地生态系统恢复和可持续发展探讨. 自然杂志, 2007, 29(3): 159-164.
- [7] Long R J, Ding L M, Shang Z H, Guo X H. The yak grazing system on the Qinghai-Tibetan plateau and its status. The Rangeland Journal, 2008, 30(2): 241-246.
- [8] 程长林, 任爱胜, 王永春, 王国刚, 修文彦. 基于协调度模型的青藏高原社区畜牧业生态、社会及经济耦合发展. 草业科学, 2018, 35(3): 677-685.
- [9] Long R J, Zhang D G, Wang X, Hu Z Z, Dong S K. Effect of strategic feed supplementation on productive and reproductive performance in yak cows. Preventive Veterinary Medicine, 1999, 38(2/3): 195-206.
- [10] 石生光. 高寒草地畜牧业现状及对策. 中国草食动物, 2008, 28(6): 46-49.
- [11] 赵新全, 马玉寿, 王启基, 刘伟, 周立, 周华坤, 赵亮, 施建军, 徐世晓, 董全民. 三江源区退化草地生态系统恢复与可持续管理. 北京: 科学出版社, 2011.
- [12] 张晓玲, 徐田伟, 谭攀柱, 耿远月, 刘宏金, 徐世晓. 季节放牧对高寒草原植被群落和生物量的影响. 西北农业学报, 2019, 28(10): 1576-1582.
- [13] 周国利, 程湘湘, 马青青, 申波, 曲久, 田富, 常生华. 牦牛放牧强度对青藏高原东缘高寒草甸群落结构与土壤理化性质的影响. 草业科学, 2019, 36(4): 1022-1031.
- [14] 渠佳慧, 李立军, 李晓婷. 燕麦与箭筈豌豆不同行比例间作对饲草产量及土壤理化性状的影响. 土壤通报, 2018, 49(5): 1176-1183.
- [15] 尚占环, 龙瑞军, 马玉寿. 青藏高原江河源区生态环境安全问题分析与探讨. 草业科学, 2007, 24(3): 1-7.
- [16] 赵桂琴, 师尚礼. 青藏高原饲用燕麦研究与生产现状、存在问题与对策. 草业科学, 2004, 21(11): 17-21.
- [17] 李福厚, 王召锋, 侯扶江, 程湘湘. 藏绵羊燕麦青干草冷季补饲特征研究进展. 中国畜牧兽医, 2016, 43(9): 2358-2365.
- [18] 徐田伟, 胡林勇, 赵娜, 徐世晓. 补饲燕麦青干草对牦牛和藏系绵羊冷季生长性能的影响. 西南农业学报, 2017, 30(1): 205-208.
- [19] 徐田伟, 吉汉忠, 刘宏金, 徐世晓. 牧归后补饲精料对冷季藏系绵羊生长性能的影响. 西北农业学报, 2016, 25(8): 1132-1136.
- [20] 卓玉璞, 刘青山, 田旦增, 王庆华. 高寒牧区冬春季不同补饲方式对藏羊生产效益的影响. 畜牧兽医杂志, 2016, 35(2): 13-15, 19-19.
- [21] 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.
- [22] Xu T W, Xu S X, Hu L Y, Zhao N, Liu Z, Ma L, Liu H J, Zhao X Q. 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. PLoS One, 2017, 12(1): e0169187.
- [23] 崔晓鹏, 侯生珍, 王志有, 马辽伟. 不同蛋白质水平饲粮对藏羔羊生长发育的影响. 动物营养学报, 2017, 29(3): 1065-1073.
- [24] 薛白, 赵新全, 张耀生. 青藏高原天然草场放牧牦牛体重和体成分变化动态. 动物营养学报, 2005, 17(2): 54-57.
- [25] 董全民, 赵新全, 徐世晓, 赵亮, 周华坤. 畜牧业可持续发展理论与三江源区生态畜牧业优化经营模式. 农业现代化研究, 2011, 32(4): 436-439.
- [26] Dong Q M, Zhao X Q, Ma Y S, Xu S X, Li Q Y. Live-weight gain, apparent digestibility, and economic benefits of yaks fed different diets during winter on the Tibetan plateau. Livestock Science, 2006, 101(1/3): 199-207.
- [27] 赵新全, 张耀生, 周兴民. 高寒草甸畜牧业可持续发展: 理论与实践. 资源科学, 2000, 22(4): 50-61.
- [28] 李英年, 周华坤, 沈振西. 高寒草甸牧草产量形成过程及与气象因子的关联分析. 草地学报, 2001, 9(3): 232-238.
- [29] 郭建平, 高素华, 刘玲. 中国北方地区牧草气候生产力及主要限制因子. 中国生态农业学报, 2002, 10(3): 44-46.
- [30] 任继周, 林慧龙. 江河源区草地生态建设构想. 草业学报, 2005, 14(2): 1-8.
- [31] 周华坤, 赵新全, 周立, 唐艳鸿, 刘伟, 师燕. 层次分析法在江河源区高寒草地退化研究中的应用. 资源科学, 2005, 27(4): 63-70.
- [32] 第二次青藏高原综合科学考察研究队. 三江源国家公园生态系统: 现状、变化及管理. 北京: 科学出版社, 2020.
- [33] 严作良, 周华坤, 刘伟, 周立. 江河源区草地退化状况及成因. 中国草地, 2003, 25(1): 73-78.
- [34] 王启基, 来德珍, 景增春, 李世雄, 史惠兰. 三江源区资源与生态环境现状及可持续发展. 兰州大学学报: 自然科学版, 2005, 41(4): 50-55.
- [35] 罗绒战堆. 藏族地区"惜杀惜售"问题的研究. 西南民族大学学报: 人文社科版, 2009, 30(11): 13-17.
- [36] 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. 农业现代化研究, 2007, 28(4): 438-442.

- [37] 方精云, 白永飞, 李凌浩, 蒋高明, 黄建辉, 黄振英, 张文浩, 高树琴. 我国草原牧区可持续发展的科学基础与实践. 科学通报, 2016, 61(2): 155-164.
- [38] 侯向阳. 我国草牧业发展理论及科技支撑重点. 草业科学, 2015, 32(5): 823-827.
- [39] 邹婧汝, 赵新全. 围栏禁牧与放牧对草地生态系统固碳能力的影响. 草业科学, 2015, 32(11): 1748-1756.
- [40] 高凯, 朱铁霞, 韩国栋. 围封年限对内蒙古羊草-针茅典型草原植物功能群及其多样性的影响. 草业学报, 2013, 22(6): 39-45.
- [41] 李瑜琴, 赵景波. 过度放牧对生态环境的影响与控制对策. 中国沙漠, 2005, 25(3): 404-408.
- [42] 汤永康, 武艳涛, 武魁, 郭之伟, 梁存柱, 王敏杰, 常佩静. 放牧对草地生态系统服务和功能权衡关系的影响. 植物生态学报, 2019, 43(5): 408-417.
- [43] 仁青吉, 武高林, 任国华. 放牧强度对青藏高原东部高寒草甸植物群落特征的影响. 草业学报, 2009, 18(5): 256-261.
- [44] 牛钰杰, 杨思维, 王贵珍, 刘丽, 杜国祯, 花立民. 放牧干扰下高寒草甸物种、生活型和功能群多样性与生物量的关系. 生态学报, 2018, 38(13): 4733-4743.
- [45] Zhao X Q, Zhao L, Li Q, Chen H, Zhou H K, Xu S X, Dong Q M, Wu G L, He Y X. Using balance of seasonal herbage supply and demand to inform sustainable grassland management on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 2018, 5(1): 1-8.
- [46] 徐田伟, 赵新全, 耿远月, 王循刚, 毛绍娟, 徐世晓. 黄河源区生态保护与草牧业发展关键技术及优化模式. 资源科学, 2020, 42(3): 508-516.
- [47] 黄建辉, 薛建国, 郑延海, 玉柱, 李昂. 现代草产品加工原理与技术发展. 科学通报, 2016, 61(2): 213-223.
- [48] 徐田伟, 刘宏金, 胡林勇, 赵娜, 耿远月, 徐世晓. 日粮精料水平对藏系绵羊春季生长性能、血清生化指标及养殖收益的影响. 西北农业学报, 2019, 28(12): 1921-1926.