

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 4 期
Vol.31 No.4
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 4 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

短期增温对青藏高原高寒草甸植物群落结构和生物量的影响 李 娜,王根绪,杨 燕,等 (895)

三峡库区 9 种植物种子萌发特性及其在植被恢复中的意义 陶 敏,鲍大川,江明喜 (906)

白蜡虫及其 3 种优势寄生蜂的时空生态位 王自力,陈 勇,陈晓鸣,等 (914)

宁夏盐池荒漠草原步甲物种多样性 贺 奇,王新谱,杨贵军 (923)

脂肪酸对中华哲水蚤摄食两种海洋微藻的指示作用 刘梦坛,李超伦,孙 松 (933)

安徽菜子湖大型底栖动物的群落结构特征 徐小雨,周立志,朱文中,等 (943)

乐清湾潮间带大型底栖动物群落分布格局及其对人类活动的响应 彭 欣,谢起浪,陈少波,等 (954)

海蜇养殖对池塘底泥营养盐和大型底栖动物群落结构的影响 冯建祥,董双林,高勤峰,等 (964)

竹巴笼矮岩羊 (*Pseudois schaeferi*) 昼间行为节律和时间分配 刘国库,周材权,杨志松,等 (972)

干热河谷植物叶片,树高和种子功能性状比较 郑志兴,孙振华,张志明,等 (982)

石羊河中游沙漠化逆转过程土壤种子库的动态变化 马全林,张德魁,刘有军,等 (989)

基于 TM 影像、森林资源清查数据和人工神经网络的森林碳空间分布模拟
..... 汪少华,张茂震,赵平安,等 (998)

山地视觉景观的 GIS 评价——以广东南昆山国家森林公园为例 裘亦书,高 峻,詹起林 (1009)

基于功能分类的城市湿地公园景观格局——以西溪湿地公园为例 李玉凤,刘红玉,郑 因,等 (1021)

水分胁迫下丛枝菌根 AM 真菌对民勤绢蒿生长与抗旱性的影响 贺学礼,高 露,赵丽莉 (1029)

农田灌溉对印度区域气候的影响模拟 毛慧琴,延晓冬,熊 喆,等 (1038)

高大气 CO₂ 浓度下小麦旗叶光合能量利用对氮素和光强的响应 张绪成,于显枫,马一凡,等 (1046)

豌豆过氧化氢酶在烟草叶绿体中的过量表达提高了植物的抗逆性 王凤德,衣艳君,王海庆,等 (1058)

不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价 王树刚,王振林,王 平,等 (1064)

基于遥感与模型耦合的冬小麦生长预测 黄 彦,朱 艳,王 航,等 (1073)

喷施 ABA 对两个穗型不同小麦穗颈节伤流、穗部性状及产量的影响 崔志青,尹燕枰,田奇卓,等 (1085)

“稻鸭共生”生态系统稻季 N、P 循环 张 帆,隋 鹏,陈源泉,等 (1093)

红壤丘陵区粮食生产的生态成本 李 晓,谢永生,张应龙,等 (1101)

甘南牧区草畜平衡优化方案与管理决策 梁天刚,冯琦胜,夏文韬,等 (1111)

黄龙钙化滩流地物种-面积关系 黄宝强,罗毅波,安德军,等 (1124)

杉木人工林细根寿命的影响因素 凌 华,袁一丁,杨智杰,等 (1130)

长白落叶松林龄序列上的生物量及碳储量分配规律 巨文珍,王新杰,孙玉军 (1139)

生物肥与甲壳素和恶霉灵配施对香蕉枯萎病的防治效果 张志红,彭桂香,李华兴,等 (1149)

北京城区不同水质水体可培养细菌数量的季节动态变化 高 程,黄满荣,陶 爽,等 (1157)

专论与综述

整树水力导度协同冠层气孔导度调节森林蒸腾 赵 平 (1164)

植物寄生对生态系统结构和功能的影响 李钧敏,董 鸣 (1174)

加拿大一枝黄花的入侵机理研究进展 杨如意,答树婷,唐建军,等 (1185)

甘南牧区草畜平衡优化方案与管理决策

梁天刚^{1,*}, 冯琦胜¹, 夏文韬¹, 崔霞²

(1. 兰州大学草地农业科技学院, 农业部草地农业生态系统学重点实验室, 兰州 730020;

2. 兰州大学资源与环境学院, 兰州 730000)

摘要:利用 Matlab 7.9 软件的多目标规划方法,以甘南牧区 2008 年及以前的草地畜牧业动态监测资料和社会经济发展调查统计数据为基础,以维持草畜平衡、优化畜群结构和保护草地生态环境为总目标,综合考虑牧区畜群结构优化、牧业生产目标、草畜动态平衡、区域社会经济收益状况和生态环境保护 5 个方面的约束条件,研究了规划期(2009—2011 年)甘南牧区草地畜牧业发展的优化方案及管理对策,对比分析了减畜和增畜 2 种优化方案在畜群结构、牲畜总增率、净增率、商品率、出栏率、农牧民纯收益等方面的数量变化特征,提出甘南牧区草畜平衡优化方案及管理决策。研究结果表明,减畜优化方案是实现上述目标的根本途径。具体措施包括:1)适度调整牲畜数量,改良品种,优化畜群结构;2)调整农作物播种面积及结构,增加人工草地种植面积,提高补饲水平;3)稳定天然林草地面积,维护牧区生态环境;4)增强畜牧业生产效益,提高出栏率;5)严格控制人口数量,加强国家政策调控机制。

关键词:甘南牧区;草畜平衡;多目标规划;优化方案;管理决策

Optimization strategy and management decision-making in balancing forage and livestock in Gannan pastoral area

LIANG Tiangang^{1,*}, FENG Qisheng¹, XIA Wentao¹, CUI Xia²

1 Key Laboratory of Grassland Agro-ecology System, Ministry of Agriculture; College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China

2 College of Earth and Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: Gannan pastoral area is not only an important animal husbandry production base in Gansu Province, but also one of the nation's major ethnic concentration areas. In recent years, the increasingly intensified degradation of grasslands in the Gannan pastoral area has been the "bottleneck" factor in restricting grassland animal husbandry and socio-economic development, and in the same time, it has become a very serious eco-environment problem. Therefore, it is important to further examine what might be the best strategy to balance grassland area and livestock number. This should play an important role to maintain the sustainable development in social and economic for the area. In this study, a multi-objective programming approach in Matlab 7.9 software package is used to develop an optimization and management strategy, for the year 2009—2011, in maintaining a balance between forage supply and livestock need in the study area, based on dynamic monitoring data of grassland livestock husbandry and social-economic information before 2009. The purposes of the study are to maintain the balance between forage and livestock and to benefit regional social-economic development while protecting environment. In the study, quantitative changes, in livestock population structure, net increase rate, global increase rate, herd market and slaughter rates, and famers' net income in two different optimization plans (increase or decrease livestock number), are analyzed and compared under five constraints of herd structure optimization, livestock production goal, forage and livestock balance, regional social-economic development, and environmental protection. The results suggest that the

基金项目:国家高技术研究发展专项(2007AA10Z232);教育部科技创新工程重大项目培育资金项目(708089);国家科技支撑计划项目(2009BAC53B01)资助

收稿日期:2010-01-13; 修订日期:2010-09-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tgliang@lzu.edu.cn

strategy of reducing livestock number is a fundamental way to reach our goal. It is found that, in the period of 2009—2011, the optimal percentage of sheep, goats, cattle, horses and mules in the study area should be 68.5%, 6.4%, 25.0%, 0.1% and 0.1%, respectively. This, as compared with the year 2008, is an increase of 11.8% for sheep, a decrease of 1.6%, 8.6%, 1.1% and 0.4% for goats, cattle, horses and mules, respectively. Under condition of grazing throughout an entire year without supplementary feedings, the appropriate stocking rate of natural grasslands in the area is between 2.955—5.029 million su. In recent years, however, overgrazing of natural grassland has been extremely serious in the study area. For instance, it is found that the overloading rate in the study area was up to 72.9% in year 2008, over the maximum carrying capacity of natural grassland, plus supplementary feeding conditions. Grassland and livestock balance is actually a dynamic equilibrium among human being, grassland and livestock, which involves grassland, livestock, eco-environment, socio-economic, and other factors. Based on this study, grassland and livestock balance management in the study area should include: 1) appropriate adjustment of livestock number and type, improvement of breed, and optimization of livestock population structure; 2) increase of livestock supplements by means of adjustment of crop planting area and types, and increase of pasture area; 3) stabilizing areas of natural forest and grassland, and preserving eco-environment in the pastoral area; 4) improving the efficiency of livestock husbandry and market rate of herd; and 5) strictly controlling population growth and enhancing adjustment mechanism of national policy.

Key Words: Gannan pastoral area; balance between forage and livestock; multi-objective programming; optimization strategy; management decision-making

草畜平衡是指为保持草原生态系统良性循环,在一定区域和时间内,使草原和其它途径提供的饲草料总量与饲养牲畜所需的饲草料总量保持动态平衡^[1]。草原畜牧业要持续发展,就必须构建起保证草畜处于平衡状态的长效机制。在草原保护和管理工作中,建立和推行草畜平衡管理制度是合理利用草原,改善生态环境,实现社会和经济可持续发展的基础性工作,对草原畜牧业发展和生态环境保护具有极为重要的意义。

2002年,我国虽然颁布农业行业标准《天然草地合理载畜量的计算》(NY/T 635—2002),2005年3月1日已正式实施《草畜平衡管理办法》^[1],极大地促进了草畜平衡的监督与管理,但目前对结合“3S”技术在计算草原和其它途径提供的饲草料总量、评估草畜平衡状况、研究草畜平衡优化方案及管理决策等方面还存在许多问题^[2-3]。特别是草畜平衡管理的优化,具有多目标性和决策的分散性,涉及到人、草、畜、社会经济及生态环境等多种因素,需要不断的探索研究^[4-6]。因此,本项研究结合外业调查数据和中分辨率成像光谱仪(MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)产品MOD09GA及MOD13Q1资料^[7-10],在前期比较分析多种遥感植被指数^[11-15]同草地地上部分生物量之间的相关关系,筛选甘南州草地地上生物量遥感动态反演模型,并模拟分析近8a(2001—2008年)草地植被地上生物量和理论载畜量时空变化特征基础上^[16-18],利用草畜及社会经济统计资料和多目标规划(Multi-Objective Programming, MOP)决策方法^[19,20],综合研究了甘南州草畜动态平衡优化方案及管理决策,以期为甘南牧区草畜动态平衡管理决策提供科学依据。

1 研究区概况

甘南牧区位于青藏高原东北缘,地处黄河、长江源头,是甘肃省重要的畜牧业生产基地,也是全国主要少数民族集聚的草原牧区之一。地理坐标为33°06′—35°44′N,100°46′—104°44′E,平均海拔3000m。气候属典型的高原大陆性气候,高寒阴湿,多年平均降水量400—800mm,年均温仅1—3℃。据1982年草地资源详查的结果^[21],甘南州主要草地类型有高寒灌丛草甸、高寒草甸、温性草甸草原、温性草原、低平地草甸、暖性草丛和沼泽。全州天然草地面积260.25万hm²,占全州土地总面积的67.64%,其中可利用草地249.50万hm²,占草地总面积的95.86%^[21-22]。自20世纪80年代以来,甘南州生态环境不断恶化,草地退化严重,草地产草量下降了25%—45%,90%的天然草地存在不同程度的退化,中度以上的退化草地占全州天然草地面积的80%,沼泽面积由1982年的8万hm²减少到2万hm²,黄河补充水量减少15%左右。由于草地长期超载过牧、

低投入和缺乏科学管理等原因,甘南草地资源的退化问题愈演愈烈,面积不断扩大,已经成为制约草地畜牧业及社会经济可持续发展的“瓶颈”因素,同时也已上升为一项十分严重的生态环境问题^[23-24]。

2 数据与方法

2.1 草畜及社会经济数据

草地调查数据主要包括 1982 年甘南州草地资源详查资料,以及 2006—2008 年草地生长季的外业调查结果,总计调查样地 136 个,样方 371 个^[16,18]。在 2006 和 2007 年 7—8 月期间,主要对分布面积较大的高寒灌丛草甸和高寒草甸进行了调查。2006 年设置样地 46 个,包括 66 个样方;2007 年设置样地 47 个,包括 133 个样方。2008 年进一步扩大了草地调查的范围和类型,设置样地 43 个,调查样方 172 个。放牧家畜及社会经济数据来自甘南州 2001—2008 年的统计年鉴。

2.2 MODIS 数据与草地生物量监测模型

研究采用的 Terra/MODIS 数据包括反射率数据和增强型植被指数(Enhanced Vegetation Index, EVI)数据 2 部分,时间序列为 2001—2008 年 4—10 月。MODIS EVI 数据包括利用式 1 计算的每日 EVI 图像及采用最大值合成方法生成的旬、16 日、月、年最大植被指数合成图像。

$$EVI = 2.5 (NIR - Red) / (NIR + C1 \times Red - C2 \times Blue + L) \quad (1)$$

式中, NIR、Red 和 Blue 分别为经过大气校正的近红外、红光和蓝光通道的反射值; $L = 1$, 为土壤调节参数,参数 C1 和 C2 分别为 6.0 和 7.5^[17]。

利用 SPSS 统计分析软件、各样方点实测的草地地上部分生物量干重及相应的 EVI 值,筛选出草地地上部分干物质产量遥感监测模型(式 2)^[18]。

$$y_i = 5320.7x^{1.978}, r^2 = 0.6187 \quad (2)$$

式中, y_i 为草地地上部分干物质产量(kg/hm^2), x 为 MODIS 的归一化 EVI 值。

2.3 天然草地适宜载畜量监测模型

在甘南全年放牧的条件下,天然草地年适宜载畜量^[17]的遥感监测模型如下:

$$Za^* = \frac{1}{t} \times \sum_{k=1}^t Za \quad (3)$$

$$Za = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times y_i \times k_{i,1} \times k_{i,2} \times k_{i,3})}{I \times D} \quad (4)$$

$$Za'' = \frac{1}{t} \times \sum_{k=1}^t Za' \quad (5)$$

$$Za' = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (A_i \times y_{ij} \times k_{i,1} \times k_{i,2} \times k_{i,3})}{I \times D \times M} \quad (6)$$

式中, Za^* 表示甘南州各类型草地总的适宜载畜量(标准羊单位)上限; Za 为某一年各类型草地总的最大理论载畜量(标准羊单位); $k = 1, 2, 3, \dots, t$, 代表监测的年份,本项研究使用了 2001—2008 年数据; Za'' 表示甘南州各类型草地总的适宜载畜量下限; i 代表不同的草地类型, $i = 1, 2, 3, \dots, n$; j 代表牧草生长季的月份(5—10 月), $j = 1, 2, 3, \dots, m$; Za' 为某一年各类型草地在牧草生长季(5—10 月)各月最大理论载畜量的平均值; A_i 为第 i 类草地面积(hm^2); y_i 为基于 MODIS-EVI 的第 i 类草地在某一年的年最大牧草单产(kg/hm^2)(式 4); y_{ij} 为基于 MODIS-EVI 的第 i 类草地在某一年的牧草生长季各月最大牧草单产的平均值(kg/hm^2)(式 6); $k_{i,1}$ 、 $k_{i,2}$ 和 $k_{i,3}$ 分别为第 i 类草地的可利用面积系数、可食牧草系数和可食牧草放牧利用率; I 为一只标准成年绵羊日采食量(kg/D),本研究按 1.8 kg 干草计算; D 为草地放牧利用的天数,按 365d 计算。

2.4 草畜平衡监测模型

在不考虑补饲且全年放牧的情况下,根据天然草地适宜载畜量上限,甘南某一区域内的草畜平衡监测

模型可表示为^[25]:

$$G_s = Z_r - Z_a^* \quad (7)$$

$$C_s = (G_s / Z_a^*) \times 100 \quad (8)$$

式中, G_s 为某一区域内现有天然草地的载畜能力与当地现有牲畜数量(标准羊单位)之差; Z_r 为某一区域内实际饲养的牲畜数量(标准羊单位), 可根据统计年鉴及牲畜年末存栏头数折算, 本项研究中牛和骡子的折算系数为 5.0, 马为 6.0, 山羊为 0.8, 绵羊为 1.0; Z_a^* 为某一区域内天然草地的适宜载畜量上限值; C_s 为某一区域内现有天然草地的牲畜超载率(%), 其值为正时表示牲畜超载, 为负时表示欠载。

在考虑补饲的情况下, 甘南某一区域内的载畜能力为天然草地和来自农业等其它补饲的总承载能力, 草畜平衡监测模型可写为^[25-26]:

$$G_s^* = Z_r - (Z_a^* + Z_b) \quad (9)$$

$$C_s^* = 100 \times G_s^* / (Z_a^* + Z_b) \quad (10)$$

$$Z_b = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 \quad (11)$$

式中, G_s^* 为现有天然草地以及考虑补饲情况后的某一区域的载畜能力与当地现有牲畜数量(标准羊单位)之差; C_s^* 为该区域的牲畜超载率(%), 结果为正时表明牲畜超载, 为负时表明欠载; Z_r 和 Z_a^* 与式 7 中的意义相同; Z_b 为来自农业等补饲的牲畜承载量, 包括本地的精饲料承载牲畜量 r_1 、粗饲料承载量 r_2 、青饲料承载量 r_3 及外购精饲料承载量 r_4 。其中, r_1 、 r_2 可根据该区域种植的各种作物的产量进行折算^[26]。

2.5 草畜平衡多目标优化模型

2.5.1 目标函数

在对甘南牧区草地畜牧业、社会经济和生态环境系统综合研究的基础上, 确定规划年限为 3a(2009—2011 年), 总体目标为: 使甘南牧区草地畜牧业生产力和社会经济收益达到最大化的同时, 保护草地生态环境, 实现草畜平衡。总目标可以分解为 3 大目标。

(1) 牧区草地畜牧业生产最大化目标

该目标可以分解为牲畜净增率(F_1)、总增率(F_2)、出栏率(F_3)、商品率(F_4)和繁成率(F_5)最大化, 以及死亡及其他减少率(F_6)最小化 6 个子目标(式 12—17)。

$$\text{Max } F_1 = \frac{100 \times \sum_{v=1}^5 (x_{8v} - x_{1v})}{\sum_{v=1}^5 x_{1v}} \quad (12)$$

$$\text{Max } F_2 = \frac{100 \times \sum_{v=1}^5 (x_{8v} - x_{1v} + x_{3v} + x_{4v} - x_{7v})}{\sum_{v=1}^5 x_{1v}} \quad (13)$$

$$\text{Max } F_3 = \frac{100 \times \sum_{v=1}^5 (x_{4v} + x_{3v})}{\sum_{v=1}^5 x_{1v}} \quad (14)$$

$$\text{Max } F_4 = \frac{100 \times \sum_{v=1}^5 x_{3v}}{\sum_{v=1}^5 x_{1v}} \quad (15)$$

$$\text{Max } F_5 = \frac{100 \times \sum_{v=1}^5 (x_{6v} - x_{9v})}{\sum_{v=1}^5 x_{2v}} \quad (16)$$

$$\text{Min } F_6 = \frac{100 \times \sum_{v=1}^5 x_{5v}}{\sum_{v=1}^5 x_{1v}} \quad (17)$$

式中, $v=1-5$, 分别代表绵羊、山羊、牛、马和骡; x_{1v} 、 x_{2v} 、 x_{3v} 、 x_{4v} 、 x_{5v} 、 x_{6v} 、 x_{7v} 、 x_{8v} 和 x_{9v} 分别代表年初存栏、年初适龄母畜、年内商品畜、年内自食、年内死亡及其它减少、年内产仔、年内购入、年末存栏和年内产子死亡(头只)。由于骡子本身的生理特点, 因此对应的年初适龄母畜和年内产仔变量值设为 0。

(2) 牧区经济收益最大化目标

在充分考虑甘南牧区草畜平衡和草地生态保护的基础上, 实现区域经济收益的最大化目标。该目标函数(F_7)可用下式表示:

$$\text{Max } F_7 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^7 \sum_{u=1}^6 (PRI_{ij})(PN_{ij})(PK_{iu}) + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^4 (IN_{ik})(PO_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^7 (EX_{ir})(PO_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{e=1}^1 (\varepsilon_{ie})(PIC_{ie}) \quad (18)$$

式中, i 为规划期年限阶段, 该项研究仅分析第 1 阶段(2009—2011 年)的情况; j 为畜产品种类, $j=1, 2, 3, \dots, 7$, 分别代表牛奶、牛肉、山羊肉、山羊毛、山羊绒、绵羊肉和绵羊毛; u 为牲畜种类, $u=1, \dots, 6$, 分别代表山羊、绵羊、奶牛、肉牛、马和骡子; PRI_{ij} 为奶肉毛等畜产品单价(元/kg); PN_{iu} 为单位牲畜的畜产品产量(kg/头只); PK_{iu} 为年末商品畜种类及数量(头只); IN_{ik} 为除畜产品外的其它收入(元/人), k 代表收入项目, 包括人均工资性收入、人均家庭经营收入(除畜产品外的第一、二、三产业收入)、人均财产性收入和人均转移性收入; EX_{ir} 为人均支出(元/人), r 为人均支出项目, 包括人均家庭经营费用支出、人均购置生产性固定资产支出、人均建造生产性固定资产雇工支出、人均税费支出、人均生活消费支出、人均财产性支出和人均转移性支出; ε_{ie} 为补饲用的不同种类精饲料重量(kg), PIC_{ie} 为不同种类的精饲料单价(元/kg)。

(3) 牧区草地生态环境优化目标

该目标可以分解为森林覆盖率(F_8)、天然草地覆盖率(F_9)和人工草地覆盖率(F_{10})3 个子目标:

$$\text{Max } F_8 = \frac{100 \times (s_1 + s_2)}{A} \quad (19)$$

$$\text{Max } F_9 = \frac{100 \times (s_{11} + s_{12} + s_{13} + s_{14})}{A} \quad (20)$$

$$\text{Max } F_{10} = \frac{100 \times (s_{22} + s_{23})}{A} \quad (21)$$

式中, s_1 和 s_2 分别为原有森林面积和退耕还林面积; s_{11} 、 s_{12} 、 s_{13} 、 s_{14} 分别代表禁牧面积、休牧面积、划区轮牧和其它天然草地面积; s_{22} 和 s_{23} 分别表示退耕还草面积和其它人工草地面积; A 为甘南州国土总面积(45000 km²)。

2.5.2 约束条件

结合目标函数, 该研究主要考虑了牧区畜群结构优化、牧业生产目标、草畜平衡、区域社会经济收益状况和生态环境保护 5 个方面的约束条件。

(1) 畜群结构优化约束

反映畜群生产过程中年初存栏、适龄母畜、商品畜、自食畜、购入畜、年末存栏等指标之间的内在相互关系^[27-30]。例如, 2001—2008 年甘南州绵羊年初适龄母畜数与年初存栏数的比值介于 45.1%—50.7%, 常数项 c_{11} 和 c_{21} 可分别取最小和最大值(表 1)。

(2) 牧业生产目标约束

在规划期内, 根据决策者的偏好, 可以使反映牧业生产目标的净增率(F_1)、总增率(F_2)、出栏率(F_3)和商品畜(F_4)达到预期值。如在规划期增加牲畜数量优化方案中, 可设 F_1 、 F_2 、 F_3 和 F_4 分别大于 2001—2008 年

甘南州的最大值 5.96%、29.10%、34.81% 和 29.2% 或平均值 1.41%、26.85%、32.04% 和 26.53% (表 2)。

表 1 畜群结构优化约束条件

Table 1 Constrains of optimization livestock population structure

项目 Item	约束条件 Constrains	含义 Meaning
1	$c_{1v} < x_{2v}/x_{1v} < c_{2v}$	年初适龄母畜与年初存栏数比值介于多年最小值与最大值之间, c_{1v} 和 c_{2v} 为常数, 依据多年畜牧统计资料分析确定
2	$c_{3v} < x_{3v}/x_{1v} < c_{4v}$	年内商品畜与年初存栏数的比值介于多年最小值与最大值之间, c_{3v} 和 c_{4v} 为常数
3	$c_{5v} < x_{4v}/x_{1v} < c_{6v}$	年内自食与年初存栏数比值介于多年平均值与最大值之间, c_{5v} 和 c_{6v} 为常数
4	$c_{7v} < x_{5v}/x_{1v} < c_{8v}$	死亡及其它减少与年初存栏数比值介于多年平均最小值与最大值之间, c_{7v} 和 c_{8v} 为常数
5	$c_{9v} < x_{6v}/x_{2v} < c_{10v}$	年内产仔与年初适龄母畜数比值介于多年平均值与最大值之间, c_{9v} 和 c_{10v} 为常数
6	$c_{11v} < x_{7v}/x_{1v} < c_{12v}$	年内购入与年初存栏数比值介于多年最小值与最大值之间, c_{11v} 和 c_{12v} 为常数
7	$x_{13v}/x_{6v} < c_{14v}$	产子死亡与年内产仔数比值介于多年最小值与最大值之间, c_{13v} 和 c_{14v} 为常数
8	$x_{8v} = x_{1v} + x_{6v} + x_{7v} - x_{3v} - x_{4v} - x_{5v}$	年末存栏 = 年初存栏 + 产仔 + 购入 - 商品畜 - 自食 - 死亡及其他减少
9	$x_{81} = a \times x_{82} = b \times x_{83} = c \times x_{84} = d \times x_{85}$	为绵羊、山羊、牛、马和骡的年末存栏数优化比例系数关系, a 、 b 、 c 、 d 为决策变量。

$v = 1-5$, 分别代表绵羊、山羊、牛、马和骡

表 2 牧业生产目标约束条件

Table 2 Constrains of the objectives for animal husbandry production

项目 Item	约束条件 Constrains	含义 Meaning
1	$F_1 \geq a_1$	年内家畜净增率达到预期值; 2001—2008 年甘南州各类家畜的 $F_1 = -2.04-5.96$, 平均值 1.41, 标准差 Std 为 2.48
2	$F_2 \geq a_2$	年内各类家畜的总增率大于预期值; 2001—2008 年甘南州各类家畜的 $F_2 = 24.21-29.10$, 平均值 26.85, Std 为 1.57
3	$F_3 \geq a_3$	年内各类家畜出栏率达到预期值; 2001—2008 年甘南州各类家畜的 $F_3 = 29.91-34.81$, 平均值 32.04, Std 为 1.77
4	$F_4 \geq a_4$	年内各类家畜商品率达到预期值; 2001—2008 年甘南州各类家畜的 $F_4 = 24.19-29.2$, 平均值 26.53, Std 为 1.80

(3) 牧区草畜平衡约束

依据草畜平衡理论, 实现甘南牧区草畜平衡的约束条件可用下式表示:

$$\sum_{v=1}^5 (k_v \times x_{8v}) \leq Za^* + r_1 + r_2 + r_3 + r_4 \tag{22}$$

式中, x_{81} 、 x_{82} 、 x_{83} 、 x_{84} 和 x_{85} 分别为规划期甘南州山羊、绵羊、牛、马和骡子合理的年末存栏数; k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 和 k_5 分别为山羊、绵羊、牛、马和骡子的标准羊单位折算系数; Za^* 表示甘南州天然草地总的适宜载畜量上限 (式 3); r_1 、 r_2 、 r_3 和 r_4 分别为甘南州本地出产的精饲料、粗饲料、青饲料及外购精饲料载畜量, 可通过牧区社会经济调查及统计年鉴推算。

$$r_1 \leq \sum_{k=1}^5 (m_k \times p_k \times s_k) / (365 \times d_1) \tag{23}$$

式中, $k = 1-5$, 分别代表谷类、豆类、油料、甜菜和薯类作物; m_k 为播种面积 (hm^2); p_k 为单位面积产量 (kg/hm^2); s_k 为精饲料补饲系数 (补饲用的单位面积农作物籽实重量与其总籽实重量之比); d_1 为一个标准羊单位每日所需的精饲料 (kg), 本研究确定为 1.0。

$$r_2 \leq \sum_{k=1}^5 (m_k \times p_k \times r_k) / (365 \times d_2) \tag{24}$$

式中, k 、 m_k 、 p_k 与式 23 相同; r_k 为单位面积的农作物秸秆与籽实重量之比; d_2 为一个标准羊单位每日所需的农作物秸秆干重量 (kg), 本研究确定为 1.5。

$$r_3 \leq (m_6 \times p_6) / (365 \times d_3) \quad (25)$$

式中, m_6 为人工草地面积 (hm^2); p_6 为单位面积产量 (kg/hm^2); d_3 为一个标准羊单位每日所需的青饲料重量 (kg), 本研究确定为 4.0。

$$r_4 \leq \varepsilon / (365 \times d_1) \quad (26)$$

式中, r_4 表示需要外购的精饲料的载畜量; ε 为外购精饲料量 (kg), 受市场价格及农牧民可承受能力等方面因素的限制。

(4) 牧区社会经济收益状况约束

根据全国畜牧兽医总站公布的畜产品售价、甘南畜牧业统计年鉴及甘南牧区社会经济可持续发展规划等资料^[24,31], 可以对农牧民收益影响较大的因素及牧区总经济收益 (F_7) 进行相应的约束 (表 3)。

表 3 牧区社会经济收益状况约束条件

Table 3 Constrains of the status of social and economic incomes in the pastoral area

项目 Item	约束条件 Constrains	含义 Meaning
1	$b_1 < k_1 < b_2$	根据 2001—2008 年甘南牧区统计资料及畜牧业发展状况, 确定规划期奶牛的发展数量 (k_1) 限制
2	$b_3 < k_2 < b_4$	确定规划期商品肉牛的发展数量 (k_2) 限制
3	$k_1 + k_2 \geq x_{33}$	规划末期的年内商品牛头数 (x_{33}) 应小于或等于奶牛头数与商品肉牛头数之和
4	$b_5 < x_{10} < b_6$	预测规划期牧业人口 (x_{10}) 发展数量限制
5	$x_{31} + x_{32} + k_2 \leq b_7 \times x_{10}$	规划期商品肉牛、山羊和绵羊头数应小于各类家畜总的年初存栏量 (x_{10}) 与总商品率 (b_7) 之积
6	$F_7 \geq b_8$	确定牧区社会经济总收益 (F_7) 的预期值

(5) 牧区生态环境约束

利用林地、天然草地、人工草地和耕地面积之间的关系, 以及林地、天然草地和人工草地覆盖率在规划期的预期目标值, 确定相应的约束条件 (表 4)。

表 4 牧区生态环境约束条件

Table 4 Constrains of ecological environment in the pastoral area

项目 Item	约束条件 Constrains	含义 Meaning
1	$F_8 \geq b_9$	规划期森林覆盖率应大于规划初期的水平
2	$F_9 \geq b_{10}$	规划期天然草地覆盖率应保持或大于规划初期的水平
3	$b_{11} < T < b_{12}$	确定规划期天然草地总面积 (T) 的数量变动限制; 天然草地总面积 (T) 等于禁牧面积 (s_{11})、休牧面积 (s_{12})、划区轮牧面积 (s_{13}) 和其它天然草地面积 (s_{14}) 之和
4	$T = s_{11} + s_{12} + s_{13} + s_{14}$	规划期正播及复种的各种农作物面积小于年末耕地面积 (b_{13}); $k = 1-5$, 分别代表谷类、豆类、油料、甜菜和薯类作物; m_k 为播种面积 (hm^2)
5	$\sum_{k=1}^5 (m_k) < b_{13}$	年末耕地面积 (b_{14}) = 年初耕地面积 b_{15} + 年内增加面积 b_{16} - 当年减少面积 (包括退耕还林 s_2 + 退耕还草 s_{22} + 其它减少 b_{17})
6	$b_{14} = b_{15} + b_{16} - s_2 - s_{22} - b_{17}$	确定规划期人工草地的发展限制; s_{22} 和 s_{23} 分别表示退耕还草面积和其它人工草地面积
6	$s_{22} + s_{23} > b_{18}$	

2.6 草畜平衡优化管理对策

利用 Matlab 7.9 软件的多目标规划分析方法^[19-20], 以甘南牧区 2008 年及以前的草地畜牧业和社会经济发展统计数据为基础, 研究规划末期 (2011 年) 甘南牧区社会经济可持续发展的优化方案及管理对策, 对比分析优化方案 1 (规划末期的总羊单位数小于 2008 年末数值) 和优化方案 2 (保持 2001—2008 年平均发展水平, 并且规划末期的总羊单位数大于 2008 年末数值) 的畜群结构、牲畜总增率、净增率、商品率、出栏率、农牧民纯收益、林地、草地及耕地资源等关键指标的数量特征, 提出甘南牧区草畜平衡优化方案及管理决策 (表 5)。

3 结果与讨论

3.1 不同畜种数量结构的优化及分析

多目标优化分析的结果表明, 在减畜优化方案中, 甘南绵羊、山羊、牛、马和骡的优化比例分别为 68.5%、

6.4%、25.0%、0.1%和0.1%。同2008年相比,规划末期的绵羊数量有所增加,山羊、牛、马和骡的数量均有减少(表6,表7),并且其数量结构在规划期2009—2011年期间需要进行较大的调整,其中绵羊比例应提高11.8个百分点,山羊、牛、马和骡子的比例则分别减少1.6、8.6、1.1、0.4个百分点。在增畜优化方案中,甘南绵羊、山羊、牛、马和骡的优化比例分别为75.4%、8.8%、14.8%、0.7%和0.3%。同2008年相比,规划末期

表5 甘南牧区2种草畜平衡优化方案的主要约束条件

Table 5 Major constrains of forage and livestock balance for 2 kinds of optimization plans in Gannan pastoral area

优化方案 Optimized Plan	主要特征 Main character	主要约束条件 Major constrains						
		总增率/% Global increase	净增率/% Net increase	出栏率/% Slaughter rate	商品率/% Market rate	经济收益/元 Economical benefit	林草覆盖率/% Forest & grass coverage	外购精饲料/kg Boughten fine feed
方案1 First plan	减少牲畜	>20	> -10	>30	>25	达到2008年的 1.3亿元以上	保持2008年 水平	未约束
方案2 Second plan	增加牲畜	>26.9	>1.4	>32.0	>26.5	不约束	保持2008 年水平	未约束

在2种优化方案中,各类牲畜死亡及减少率均保持2001—2008年的最小值,自食率为2001—2008年的最大值,购入牲畜数量均保持2001—2008年的平均水平

表6 绵山羊主要畜群结构指标优化结果

Table 6 Optimization result of the primary indicators for sheep and goat population structures

家畜种类 Livestock	主要指标 Major indicator	优化方案1 First plan	变化率/% Change rate	优化方案2 Second plan	变化率/% Change rate
绵羊 Sheep	年初存栏/只	2275601	7.66	3230025	52.82
	适龄母畜/只	1080091	6.81	1637267	61.90
	商品畜/只	798832	32.24	258745	-57.17
	自食畜/只	91038	81.21	105470	109.94
	其它死亡和减少/只	133320	-12.79	109500	-28.37
	年内产仔/只	887360	14.66	1428041	84.53
	购入/只	28200	-50.62	28200	-50.62
	年末存栏/只	2167971	1.43	4212551	97.09
	产仔死亡/只	76104	14.66	122476	84.53
	商品率/%	35.10	22.82	8.01	-71.97
	自食率/%	4.00	68.31	3.27	37.38
	出栏率/%	39.10	26.32	11.28	-63.58
	产仔率/%	82.16	7.36	87.22	13.97
	净增率/%	-4.73	-520.28	30.42	2602.99
总增率/%	33.14	12.78	40.82	38.94	
山羊 Goat	年初存栏/只	251022	-21.91	456303	41.95
	适龄母畜/只	130120	-13.86	236529	56.59
	商品畜/只	141709	27.68	111355	0.33
	自食畜/只	12220	-49.20	22213	-7.66
	其它死亡和减少/只	17164	-13.49	17164	-13.49
	年内产仔/只	98523	-13.86	179093	56.59
	购入/只	22501	9.57	7500	-63.48
	年末存栏/只	200953	-33.34	492164	63.25
	产仔死亡/只	8215	0.00	13378	62.85
	商品率/%	56.45	63.50	24	-29.32
	自食率/%	4.87	-34.95	4.87	-34.95
	出栏率/%	61.32	45.97	29.27	-30.32
	产仔率/%	75.72	0.00	75.72	0.00
	净增率/%	-19.95	220.93	7.86	-226.45
总增率/%	32.41	10.22	35.49	20.68	

变化率 = $100 \times (\text{规划末期值} - 2008 \text{ 年值}) / 2008 \text{ 年值}$

的绵羊和山羊数量有较大幅度的增加,马的数量有所增加,骡子的数量略有减少,牛的数量则有较大幅度的减少(表6,表7)。对比分析这2种优化方案可以看出,在甘南牧区维持草畜平衡和保护草原生态环境的条件下,应大力提高绵羊的数量,适度控制对生态环境影响较大的山羊的存栏数,较大幅度地减少牛的数量,不断减少传统上以役畜为饲养目的的马和骡子的数量。

表7 大牲畜主要畜群结构指标优化结果

Table 7 Optimization result of the primary indicators for large livestock population structure

家畜种类 Livestock	主要指标 Major indicator	优化方案1 First plan	变化率/% Change rate	优化方案2 Second plan	变化率/% Change rate
牛 Ox	年初存栏/头	930138	-25.70	1765549	41.04
	适龄母畜/头	429352	-23.74	814977	44.76
	商品畜/头	354599	43.15	1368642	452.51
	自食畜/头	20268	-12.95	35996	54.60
	其它死亡和减少/头	79765	-3.99	50446	-39.28
	年内产仔/头	263742	-18.14	504650	56.64
	购入/头	51422	15.64	10900	-75.49
	年末存栏/头	790670	-37.47	826015	-34.67
	产仔死亡/头	27689	-19.58	44492	29.22
	商品率/%	38.12	92.66	77.52	291.75
	自食率/%	2.18	17.15	2.04	9.61
	出栏率/%	40.30	86.17	79.56	267.51
	产仔率/%	61.43	7.35	61.92	8.21
	净增率/%	-14.99	-1594.22	-53.21	-5402.99
	总增率/%	19.78	3.56	25.73	34.70
马 Horse	年初存栏/匹	36818	-17.43	41819	-6.22
	适龄母畜/匹	10952	-11.46	13083	5.76
	商品畜/匹	27387	511.86	4476	0.00
	其它死亡和减少/匹	1612	-0.86	1612	-0.86
	年内产仔/匹	4170	-0.95	5557	31.99
	购入/匹	300	-76.65	300	-76.65
	年末存栏/匹	4398	-90.00	41587	-5.45
	产仔死亡/匹	308	12.34	535	95.12
	商品率/%	74.38	641.04	10.70	6.63
	出栏率/%	74.38	641.04	10.70	6.63
骡子 Mule	产仔率/%	38.08	11.88	42.47	24.80
	净增率/%	-88.05	6368.76	-0.55	-59.37
	总增率/%	-14.49	-349.99	9.43	62.78
	年初存栏/匹	18000	-17.31	18000	-17.31
	商品畜/匹	11004	339.83	2502	0.00
	其它死亡和减少/匹	99	-92.69	99	-92.69
	购入/匹	1143	-60.73	1143	-60.74
	年末存栏/匹	2082	-90.00	16542	-20.56
	商品率/%	61.14	431.87	13.90	20.93
	出栏率/%	61.14	431.87	13.90	20.93

变化率 = $100 \times (\text{规划末期值} - 2008 \text{ 年值}) / 2008 \text{ 年值}$

3.2 草畜平衡状况分析

对甘南州2001—2008年草地畜牧业生产状况的研究^[17-18,25]表明,在全年放牧且不考虑补饲条件下,甘南州天然草地适宜载畜量下限为295.5万标准羊单位,上限为502.9万标准羊单位(表8)。以2008年为例,甘南州人工草地和三荒地种草面积19760 hm²,生产鲜草合计5038.8万kg,折合34512.3标准羊单位,种植业可提供补饲的精、粗饲料的载畜量为180303.1标准羊单位,2008年末实际饲养的牲畜为9068593标准羊单位,按照天然草地适宜载畜量上限且考虑补饲状况时,2008年甘南州超载率达72.9%,实际多饲养牲畜3825020

标准羊单位。若按照精饲料折算,所需补饲量达 1396132361 kg,而甘南全州 2008 年农牧民纯收益仅为 1.3 亿元。由此可见,要解决甘南牧区的草畜平衡、草原生态保护与牧民增收等问题,单靠不断扩大牲畜数量的发展方式,必然会导致超载过牧、天然草地退化等严重生态环境问题。甘南州多年草地畜牧业的生产实践表明,通过持续不断扩大牲畜数量的发展模式,在短期内可以使商品率和出栏率达到较高的水平,从而增加牧区的社会经济收益,但难以改善日益恶化的生态环境和牧区社会经济可持续发展等问题^[32]。

表 8 甘南州 7 县 1 市天然草地适宜载畜量标准

Table 8 Standard for suitable carrying capacity of natural grassland in 7 counties and 1 city of Gannan Prefecture

行政分区 Administrative Region	可食牧草产 量下限 ^①	适宜载畜 力下限 ^①	适宜载畜 量下限 ^①	可食牧草产 量上限 ^②	适宜载畜 力上限 ^②	适宜载畜 量上限 ^②
	Herbage yield /(10 ⁴ kg 干重)	Stocking density /(标准羊单位/hm ²)	Carrying capacity /(10 ⁴ 标准羊单位)	Herbage yield /(10 ⁴ kg 干重)	Stocking density /(标准羊单位/hm ²)	Carrying capacity /(10 ⁴ 标准羊单位)
甘南州	194167.4	1.1	295.5	330389.4	1.9	502.9
合作市	12281.1	1.1	18.7	20977.0	1.8	31.9
临潭县	3718.7	1.1	5.7	6265.0	1.8	9.5
卓尼县	22940.4	1.0	34.9	38984.0	1.8	59.3
舟曲县	3929.3	1.0	6.0	5988.2	1.6	9.1
迭部县	9097.7	1.0	13.8	14837.4	1.6	22.6
玛曲县	72494.3	1.2	110.3	124035.1	2.1	188.8
碌曲县	32249.9	1.2	49.1	54749.2	2.0	83.3
夏河县	37456.1	1.1	57.0	64553.5	1.8	98.3

① 表示在不考虑补饲及全年放牧条件下甘南各县市相关指标的多年(2001—2008)平均值;② 为不考虑补饲及全年放牧条件下甘南各县市相关指标的多年(2001—2008)最大值

3.3 牧区草畜平衡管理决策

通过上述对比分析可知,以适度减畜为主要目标的方案 1 综合考虑了甘南牧区人-草-畜平衡、社会经济发展和生态保护等问题,应该为现阶段该区较好的社会经济发展优化模式。按照该优化方法,甘南牧区草畜平衡管理决策的具体措施可总结为:

(1) 适度调整牲畜数量,改良品种,优化畜群结构。以 2008 年各类家畜年内畜群结构指标为基础,在规划期 2009—2011 年内,绵羊数量应达到 2167971 只,比 2008 年增加 30565 只,年平均增加 15282 只;山羊数量由 2008 年末存栏 301477 只减少到 200953 只,年平均减少率达 11.1%;牛的数量由 2008 年末存栏 1264397 头减少到 790670 头,年均减少率达到 12.5%;马和骡子的数量需要进行较大幅度的调整,年均减少率均需达到 30.0%。另外,以 2001—2008 年各类牲畜的平均购入数量作为参照,在规划期各年度内分别购入 28200 只绵羊、7500 只山羊、10900 头牛、300 匹马和 1143 头骡子(表 7,表 8)。通过优良品种的购入及杂交繁殖、出售和淘汰部分牲畜等方法,实现牲畜品种的不断改良和畜群结构的优化调整。

(2) 调整农作物播种面积及结构,增加人工草地的种植面积,提高补饲水平。在规划期内,通过退耕还林 10.0 hm²(年平均 3.3 hm²,保持 2008 年水平)、退耕还草 1208.2 hm²(年平均 402.7 hm²)、治河造田及庄基还田等措施调整农作物种植结构及面积,由 2008 年的 61146.7 hm²增加到规划末期的 70002.86 hm²,人工草地面积增加到 10053.1 hm²(表 9),比 2008 年增加 1.0%。这是提高甘南牧区补饲水平、实现草畜平衡管理的重要措施之一。

(3) 稳定天然林草地面积,维护牧区生态环境。截止 2008 年底,甘南全州天然草地面积 272.3 万 hm²,天然及人工草地占国土面积的 61.9%;林地面积 71.34 万 hm²,覆盖率为 16.2%。为了遏制甘南生态环境退化等问题,在规划期需要严格控制载畜量的同时,通过退耕还林还草等措施,还需要稳定现有林草地面积,使林地覆盖率达到 16.25%,草地覆盖率达到 61.99%(表 9),大力改良退化草场,提高牧草品质,保护牧区生态环境。

(4)增强畜牧业生产效益,提高出栏率。在规划期,绵羊、山羊、牛、马和骡子的死亡及减少率应控制在2001—2008年的最小值之内,分别为5.8%、6.8%、8.6%、4.4%和0.5%(表7、8);在规划末期,畜群净增率、总增率、出栏率和商品率应分别达到-9.84%、28.70%、41.49%和37.98%(表9)。要实现这一目标,不仅需要不断完善牲畜防疫和棚圈等基础设施的建设,同时也应该不断提高牧民的科学文化知识及管理水平,提高牲畜的出栏率。

(5)严格控制人口数量,加强国家政策调控机制。甘南总人口从1978年的48.16万人增长到2008年的68.03万人,其中1978年的农牧民人口为42.3万人,2008年达到52.88万人。2008年的人口自然增长率仍然高达7.48‰。实际上,草畜平衡应该是人-草-畜之间的一种动态平衡。牧区人口数量的不断增长是导致天然草地严重退化的重要因素之一。此外,本项研究提出的减畜方案,虽然在规划末期的经济收益仍然可以保持2008年的水平,但需要外购精饲料达449684712 kg,相当于683520762.8元(表9),规划末期的牲畜总计折合6318882标准羊单位,同2008年末存栏数9068593标准羊单位相比,规划期总计需要减少牲畜2749711标准羊单位(表7,表8)。为了实现保增长和保民生的战略目标,根据减畜方案及当地畜牧业生产经营状况,如果减少一个标准羊单位家畜,国家每年补贴200元,连续补贴5年,则总计需要补贴资金约27.5亿元。因此,在严格控制现有有人口增长速度的基础上,要实现甘南地区草畜平衡、维护生态环境、保持社会经济的稳定发展这3大目标,除采取上述(1)—(4)措施外,还应该及时建立和实施牧区减畜补偿管理方案,在部分超载严重的地区积极推进设施养殖及集约化管理,大力促进农牧区劳动力人口外出务工等政策的导向作用及调控机制。

表9 甘南州规划末期其它指标的优化结果

Table 9 Optimization result of other indicators at the end of programming in Gannan Prefecture

主要指标 Major indicator	优化方案1 Fist Plan	变化率/% Change rate	优化方案2 Second plan	变化率/% Change rate
农牧民人口 Population of farmers and herdsmen/人	573955	2.26	573955	2.26
退耕还林面积 Forest area converted from crop land/hm ²	10.00	-83.33	10.00	-83.33
退耕还草面积 Grass area converted from crop land/hm ²	1208.19	-	0.00	-
人工草地总面积 Total area of pasture/hm ²	10053.14	1.00	11581.01	16.35
天然草地总面积 Total area of grassland/hm ²	2722666.7	0.0	2723333.33	0.02
谷类种植面积 Area of grains/hm ²	31349.11	14.36	32239.00	17.60
豆类种植面积 Area of beans/hm ²	6543.75	15.07	6729.50	18.34
油料种植面积 Area of oil crops/hm ²	15522.37	14.14	15963.00	17.38
甜菜种植面积 Area of beets/hm ²	152.18	14.14	156.50	17.38
薯类种植面积 Area of tuberous crops/hm ²	5174.12	14.81	5321.00	18.07
青饲料种植面积 Area of green feed/hm ²	11261.33	14.83	11581.00	18.09
农作物总播种面积 Total area of planting crops/hm ²	70002.86	14.48	71990.00	17.73
外购精饲料量 Boughten fine feed/kg	449684712.41	-64.00	1442131491.08	15.44
净增率 Net increase rate/%	-9.84	-2006.66	1.40	254.63
总增率 Global increase rate/%	28.70	9.93	35.17	35.77
出栏率 Slaughtering rate/%	41.49	29.76	34.64	20.08
商品率 Market rate/%	37.98	28.80	31.67	20.74
产仔成活率 Survival rate/%	69.16	7.66	71.67	12.34
死亡减少率 Death and decrease rate/%	7.00	4.97	3.24	-45.78
经济收益 Economic benefit/yuan	135867125.30	0.07	0.00	-100.00
林地覆盖率 Forest coverage/%	16.25	0.31	16.25	0.31
草地覆盖率 Grassland coverage/%	61.99	0.00	62.03	0.22

变化率 = 100 × (规划末期值 - 2008 年值) / 2008 年值

4 结论

(1) 多目标优化分析的结果表明,减畜优化方案是甘南牧区草地畜牧业可持续发展的根本途径。在规划期(2009—2011年)甘南绵羊、山羊、牛、马和骡的优化比例应分别达到 68.5%、6.4%、25.0%、0.1% 和 0.1%,同 2008 年相比,规划末期的绵羊数量有所增加,山羊、牛、马和骡的数量均有减少,并且其数量结构在规划期间需要进行较大的调整,其中绵羊比例应提高 11.8 个百分点,山羊、牛、马和骡子的比例则分别减少 1.6、8.6、1.1、0.4 个百分点。

(2) 在全年放牧且不考虑补饲的条件下,甘南州天然草地适宜载畜量下限为 295.5 万标准羊单位,上限为 502.9 万标准羊单位。近年来甘南牧区天然草地超载过牧极其严重,按照天然草地适宜载畜量上限且考虑补饲状况时,2008 年甘南州的超载率达 72.9%。

(3) 草畜平衡实际上是人-草-畜之间的一种动态平衡问题,涉及草地、牲畜、生态环境及社会经济等多种因素。多目标规划方法研究结果表明,要实现甘南牧区草畜平衡、优化畜群结构和保护草地生态环境的总目标,与减畜优化方案相关的主要决策应该包括调整畜群结构、提高补饲水平、维护牧区生态环境、增强畜牧业生产效益、严格控制人口数量和加强国家政策调控机制等方面的一系列综合措施。

References:

- [1] Lu L L, Li Q F. Feed-animal balance analysis and countermeasure in Northern Pastoral Area-Taking China-Korean ecological demonstration village in Keshiketeng Banner as an Example. *Chinese Journal of Grassland*, 2009, 31(1):98-101.
- [2] Yang L, Hou X Y. Research of the "determine livestock carrying capacity according to grass" theory. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(3):346-349.
- [3] Xu B, Yang X C. Calculation of grass production and balance of livestock carrying capacity in rangeland region of Northeast China. *Geographic Research*, 2009, 28(2):402-408.
- [4] Zhang Z X, Guo H C, Chen B, Zhang N. Economic-environmental system planning for arid regions in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7):1018-1027.
- [5] Wang L J, Guo H C, Wang J H, Liu Y. The watershed environmental-economic system planning and optimizing based on the IMOP. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(2):219-228.
- [6] Duojielongzhi, Li Y, Hu Z J. A liner programming supported prediction of the development of raising livestock, cultivating grassland and rotational grazing — the optimized mathematical models of livestock, grassland and rotational grazing in three river sources area of Hainan Prefecture of Qinghai Province. *Inner Mongolia Prataculture*, 2007, 19(4):36-44.
- [7] Wang Z X, Liu C, Chen W B, Lin X. Preliminary comparison of MODIS-NDVI and MODIS-EVI in Eastern Asia. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(5):407-427.
- [8] Huete A, Didan K, Miura T, Rodriguez E P, Gao X, Ferreira L G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 2002, (83):195-213.
- [9] Zhao M S, Heinsch F A, Nemani R R, Running S W. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 95: 164-176.
- [10] Turner D P, Ritts W D, Cohen W B, Gower S T, Running S W, Zhao M S, Costa M H, Kirschbaum A A, Ham J M, Saleska S R, Ahl D E. Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 102: 282-292.
- [11] Li Z Q, Yu G R, Xiao X M, Li Y N, Zhao X Q, Ren C Y, Zhang L M, Fu Y L. Modeling gross primary production of alpine ecosystems in the Tibetan Plateau using MODIS images and climate data. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 107: 510-519.
- [12] Sims D A, Rahman A F, Cordova V D, El-Masri B Z, Baldocchi D D, Bolstad P V, Flanagan L B, Goldstein A H, Hollinger D Y, Misson L, Monson R K, Oechel W C, Schmid H P, Wofsy S C, Xu L K. A new model of gross primary productivity for North American ecosystems based solely on the enhanced vegetation index and land surface temperature from MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112: 1633-1646.
- [13] Chasmer L, Hopkinson C, Barr A, Black A, McCaughey H, Treitz P. Scaling and assessment of GPP from MODIS using a combination of airborne lidar and eddy covariance measurements over jack pine forests. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113: 82-93.
- [14] Prieto B A, North P R, Barnsley M J, Fox N. Satellite-driven modelling of Net Primary Productivity (NPP): Theoretical analysis. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113: 137-147.
- [15] Yang Y H, Fang J Y, Pan Y D, Ji C J. Aboveground biomass in Tibetan grasslands. *Journal of Arid Environments*, 2009, 73: 91-95.
- [16] Cui X, Liang T G, Liu Y. Modeling of aboveground biomass of grassland using remotely sensed MOD09GA data. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 2009, 45(5):79-87.
- [17] Liang T G, Cui X, Feng Q S, Wang Y, Xia W T. Remotely sensed dynamics monitoring of grassland aboveground biomass and carrying capacity during 2001—2008 in Gannan pastoral area. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18(6):12-21.
- [18] Wang Y, Xia W T, Liang T G, Wang C. Grassland biomass based on MODIS vegetation index in Gannan Prefecture. *Journal of Lanzhou*

- University; Natural Sciences, 2009, 45(5):73-78.
- [19] Wang H R, Zhang W X, Hu X L, Liu Q, Zhao L Y, Zhang H, Bai Y N. Model of interval multi-objective programming of land-use and its application. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(8):68-73.
- [20] Chen G Z, Wang J Q, Xie H M, Li G L. Application of land multi-objective planning based on genetic algorithm. Journal of Anhui Agriculture Science, 2009, 37(24):11659-11663.
- [21] Central Grassland Station of Gansu Province. Grassland Resources of Gansu. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1999:374.
- [22] Central Station of Animal and Veterinary, Ministry of Agriculture, People's Republic of China. Grassland Resources of China. Beijing: China Science and Technology Press, 1996:38.
- [23] Chen J H. Deterioration of environment; how does Gannan Prefecture enhance the ecological construction. Management and Decision-making, 2005, (2):8-19.
- [24] Luosang Lingzhiduojie. Research of the Economic-ecological Demonstration Area in Gannan of Tibetan Plateau. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 2005:20.
- [25] Liu X Y, Feng Q S, Liang T G, Long R J. Spatial-temporal dynamic balance between livestock carrying capacity and productivity of rangeland in Gannan Prefecture of Gansu Province, China. Chinese Journal of Grassland, 2010, 23(1):99-106.
- [26] Yang Z L, Yang G H. Potential productivity and livestock carrying capacity of high-frigid grassland in China. Resource Science, 2000, 22(4):72-77.
- [27] Lei G L, Kong M T, Chen X W. Herd structure and economic benefit. Acta Prataculturae Sinica, 2004, 13(1):105-108.
- [28] Qin M L, Zhou D W. A review of livestock population structure management research. An Ecologiae Animalis Domastici, 2005, 26(6):6-8.
- [29] Yue D X, Hui C. Value flow, livestock structure, optimal-control management and sustainable development of ecological economic system in alpine meadow. Acta Botanica Boreali Occidentalia Sinica, 2004, 23(3):437-442.
- [30] Li C X, Zhang Q. A survey of the adjustment of herd structure and the optimal economic benefit of grazing sheep and goats. Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2002, 32(5):23.
- [31] Department of Animal Husbandry, Minister of Agriculture. Market price of animal products and feeds across China during December 2008. China Feed, 2009, (2):10-11.
- [32] Li W Q, Hu Z Z, Long R J, Gao X C, Li F D. The application effect of the project of restoring grassland from over-grazing in Gansu and the ways for its sustainable development. Prataculturae Sinica, 2007, 24(1):1-6.

参考文献:

- [1] 卢苓苓,李青丰.北方草原牧区草畜平衡分析及对策——以克什克腾旗中-韩生态示范村为例.中国草地学报,2009,31(1):98-101.
- [2] 杨理,侯向阳.以草定畜的若干理论问题研究.中国农学通报,2005,21(3):346-349.
- [3] 徐斌,杨秀春.东北草原区产草量和载畜平衡的遥感估算.地理研究,2009,28(2):402-408.
- [4] 张振兴,郭怀成,陈冰,张宁.干旱地区经济——生态环境系统规划方法与应用.生态学报,2002,22(7):1018-1027.
- [5] 王丽婧,郭怀成,王吉华,刘永.基于IMOP的流域环境——经济系统规划.地理学报,2005,60(2):219-228.
- [6] 多杰龙智,黎与,胡振军.线性规划对建设养畜轮牧育草的预测——青海省海南州三江源区建设养畜、轮牧育草的优化数学模型.内蒙古草业,2007,19(4):36-44.
- [7] 王正兴,刘闯,陈文波,林昕. MODIS 增强型植被指数 EVI 与 NDVI 初步比较. 武汉大学学报, 2006, 31(5): 407-427.
- [16] 崔霞,梁天刚,刘勇.基于MOD09GA产品的草地生物量遥感估算模型.兰州大学学报(自然科学版),2009,45(5):79-87.
- [17] 梁天刚,崔霞,冯琦胜,王莺,夏文韬.2001—2008年甘南牧区草地上生物量与载畜量遥感动态监测.草业学报,2009,18(6):12-21.
- [18] 王莺,夏文韬,梁天刚,王超.基于MODIS植被指数的甘南草地生物量.兰州大学学报(自然科学版),2009,45(5):73-78.
- [19] 王红瑞,张文新,胡秀丽,刘琼,赵励耘,张欢,白亚男.土地利用区间数多目标规划模型及其应用.农业工程学报,2008,24(8):68-73.
- [20] 陈广洲,汪家权,解华明,李国莲.基于遗传算法的土地多目标规划应用.安徽农业科学,2009,37(24):11659-11663.
- [21] 甘肃省草原总站.甘肃草地资源.兰州:甘肃科学技术出版社,1999:374.
- [22] 中华人民共和国农业部畜牧兽医司全国畜牧兽医总站.中国草地资源.北京:中国科学技术出版社,1996:38.
- [23] 陈建华.环境恶化;甘南州如何拉生态建设一把.执政决策,2005,(2):18-19.
- [24] 洛桑.灵智多杰.青藏高原甘南生态经济示范区研究.兰州:甘肃科学技术出版社,2005:20.
- [25] 刘兴元,冯琦胜,梁天刚,龙瑞军.甘南牧区草地生产力与载畜量的时空动态平衡研究.中国草地学报,2010,23(1):99-106.
- [26] 杨正礼,杨改河.中国高寒草地生产潜力与载畜量研究.资源科学,2000,22(4):72-77.
- [27] 雷桂林,孔敏庭,陈秀武.畜群结构与效益的研究.草业学报,2004,13(1):105-108.
- [28] 覃盟琳,周道玮.畜群结构管理研究进展.家畜生态学报.2005,26(6):6-8.
- [29] 岳东霞,惠苍.高寒草地生态经济系统价值流、畜群结构、最优控制管理及可持续发展.西北植物学报,2004,24(3):437-442.
- [30] 李春秀,张琪.放牧绵山羊畜群结构调整调查与最佳经济效益调查.青海畜牧兽医杂志,2002,32(5):23.
- [31] 农业部畜牧业司.2008年12月全国畜产品和饲料价格情况.中国饲料,2009,(2):10-11.
- [32] 李文卿,胡自治,龙瑞军,高新才,李发弟.甘肃省退牧还草工程实施绩效、存在问题和对策.草业科学,2007,24(1):1-6.

CONTENTS

Short-term effects of temperature enhancement on community structure and biomass of alpine meadow in the Qinghai-Tibet Plateau ... LI Na, WANG Genxu, YANG Yan, et al (895)

Effects of submergence on seed germination of nine annual plant species in the Three Gorges Reservoir region and their implication to vegetation restoration ... TAO Min, BAO Dachuan, JIANG Mingxi (906)

Temporal-spatial niches of Chinese White Wax Scale insect (*Ericerus pela*) and its three dominant parasitoid wasps ... WANG Zili, CHEN Yong, CHEN Xiaoming, et al (914)

Species diversity of carabid beetles in desert-steppe in Yanchi of Ningxia, China ... HE Qi, WANG Xinpu, YANG Guijun (923)

Identification of trophic relationships between marine algae and the copepod *Calanus sinicus* in a fatty acid approach ... LIU Mengtan, LI Chaolun, SUN Song (933)

Community structure of macrozoobenthos in Caizi Lake, China ... XU Xiaoyu, ZHOU Lizhi, ZHU Wenzhong, et al (943)

The community distribution pattern of intertidal macrozoobenthos and the responses to human activities in Yueqing Bay ... PENG Xin, XIE Qilang, CHEN Shaobo, et al (954)

The effects of jellyfish (*Rhopilema esculentum* Kishinouye) farming on the sediment nutrients and macrobenthic community ... FENG Jianxiang, DONG Shuanglin, GAO Qinfeng, et al (964)

Diurnal activity rhythm and time budgets of the Dwarf Blue Sheep (*Pseudois schaeferi*) in Zhubalong Nature Reserve ... LIU Guoku, ZHOU Caiquan, YANG Zhisong, et al (972)

Comparison of leaf, height and seed functional traits of species in dry-hot valleys ... ZHENG Zhixing, SUN Zhenhua, ZHANG Zhiming, et al (982)

Dynamics of soil seed banks in the reversion process of desertification in the middle reaches of the Shiyang River ... MA Quanlin, ZHANG Dekui, LIU Youjun, et al (989)

Modelling the spatial distribution of forest carbon stocks with artificial neural network based on TM images and forest inventory data ... WANG Shaohua, ZHANG Maozhen, ZHAO Pingan, et al (998)

The GIS-based visual landscape evaluation in mountain area: a case study of Mount Nan-kun National Forest Park, Guangdong Province ... QIU Yishu, GAO Jun, ZHAN Qilin (1009)

A functional classification method for examining landscape pattern of urban wetland park: a case study on Xixi Wetland Park, China ... LI Yufeng, LIU Hongyu, ZHENG Nan, et al (1021)

Effects of AM fungi on the growth and drought resistance of *Seriphidium minchinense* under water stress ... HE Xueli, GAO Lu, ZHAO Lili (1029)

Modeled impact of irrigation on regional climate in India ... MAO Huiqin, YAN Xiaodong, XIONG Zhe, et al (1038)

The responses of photosynthetic energy use in wheat flag leaves to nitrogen application rates and light density under elevated atmospheric CO₂ concentration ... ZHANG Xucheng, YU Xianfeng, MA Yifan, et al (1046)

Enhanced drought and photooxidation tolerance of transgenic tobacco plants overexpressing pea catalase in chloroplasts ... WANG Fengde, YI Yanjun, WANG Haiqing, et al (1058)

Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress ... WANG Shugang, WANG Zhenlin, WANG Ping, et al (1064)

Predicting winter wheat growth based on integrating remote sensing and crop growth modeling techniques ... HUANG Yan, ZHU Yan, WANG Hang, et al (1073)

Effects of spraying ABA on bleeding intensity in neck-panicle node, spike traits and grain yields of two different panicle-type winter wheat ... CUI Zhiqing, YIN Yanping, TIAN Qizhuo, et al (1085)

Nitrogen and phosphorus cycling from rice-duck mutual ecosystem during late rice growth season ... ZHANG Fan, SUI Peng, CHEN Yuanquan, et al (1093)

Initial exploration of the ecological costs of food production in the hilly red soil region of Southern China ... LI Xiao, XIE Yongsheng, ZHANG Yinglong, et al (1101)

Optimization strategy and management decision-making in balancing forage and livestock in Gannan pastoral area ... LIANG Tiangang, FENG Qisheng, XIA Wentao, et al (1111)

Species-area relationship in travertine area in Huanglong valley, Sichuan ... HUANG Baoqiang, LUO Yibo, AN Dejun, et al (1124)

Influencing factors of fine root lifespans in two Chinese fir plantations in subtropical China ... LING Hua, YUAN Yiding, YANG Zhijie, et al (1130)

Age structure effects on stand biomass and carbon storage distribution of *Larix olgensis* plantation ... JU Wenzhen, WANG Xinjie, WANG Xinjie (1139)

Effects on controlling banana Fusarium wilt by bio-fertilizer, chitosan, hymexazol and their combinations ... ZHANG Zhihong, PENG Guixiang, LI Huaxing, et al (1149)

Seasonal dynamics of culturable bacterium numbers in freshwater bodies of different water quality in Beijing ... GAO Cheng, HUANG Manrong, TAO Shuang, et al (1157)

Review and Monograph

On the coordinated regulation of forest transpiration by hydraulic conductance and canopy stomatal conductance ... ZHAO Ping (1164)

Impacts of plant parasitism on structure and function of ecosystems ... LI Junmin, DONG Ming (1174)

Invasion mechanisms of *Solidago canadensis* L.: a review ... YANG Ruyi, ZAN Shuting, TANG Jianjun, et al (1185)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任:孔红梅

执行编辑:刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 4 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 4 2011

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

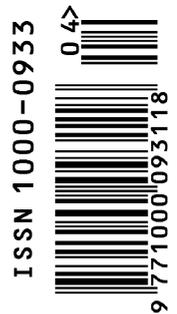
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元