科学通报 2018 年 第 63 卷 第 17 期: 1711 ~ 1721
专辑: 草牧业理论体系与实践 论 文
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

呼伦贝尔农垦集团草畜平衡状况与粮经饲配置模式

匡文慧[1*], 闫慧敏[2], 张树文[3], 李孝永[1,4], 包正义[4,5], 宁静[6], 张平安[7], 范冰[8], 王珊珊[8]

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源利用与环境修复重点实验室, 北京 100101;
3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012;
4. 中国科学院大学, 北京 100049;
5. 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;
6. 东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030;
7. 呼伦贝尔市气像局, 海拉尔 021008;
8. 呼伦贝尔生态产业技术研究院, 呼伦贝尔 021008

* 联系人, E-mail: kuangwh@igsnrr.ac.cn

2018-01-16 收稿, 2018-04-20 修回, 2018-04-23 接受, 2018-05-17 网络版发表
中国科学院科技服务网络计划(STS 计划)重点项目(KFJ-STS-ZDTP-004)和中国科学院重点部署项目(KFZD-SW-101-1)资助

摘要 加快生态草牧业建设以提升草原生态承载力、促进草畜动态平衡, 是实现农牧场畜牧业增产和牧区可持续发展的重要举措. 本文以呼伦贝尔农垦集团24个农牧场为研究区, 基于MODIS, Landsat TM/OLI和高分2号等遥感数据和农牧场草牧业年度报表数据, 应用遥感解译和草地净初级生产力遥感估算模型, 获取了农垦集团24个农牧场草地分布现状和退化状况, 测算了各农牧场草地净初级生产力, 评价了草地生态承载力和超载状况, 进而提出了农牧场生态草牧业建设的粮经饲配置模式. 结果表明: 呼伦贝尔农垦集团24个农牧场中草地总面积的66.16%出现不同程度的退化, 主要表现为草地植被生产力和盖度下降, 由草原开垦等导致草地破碎化面积约占草地总面积的1.55%. 遥感估算的呼伦贝尔农垦集团24个农牧场平年产草总量约为34.07万 t, 欠年(2001年)产草总量为27.43万 t, 丰年(2013年)产草总量为48.89万 t. 2015年农垦集团24个农牧场实际载畜量为164.19万个羊单位, 理论载畜量为86.83万个羊单位, 在不考虑青贮草和外购饲草料的情况下, 超载率为89%, 饲草缺口42.35万 t. 农垦集团24个农牧场现有耕地面积为3.95×10^3 km^2, 基于生态草牧业建设的理念, 将其中10%的耕地开展人工草地种植, 理论上相当于5.86×10^3 km^2 天然草地的产草量, 完全可满足整个农垦集团牲畜饲草料需求. 推行"粮、经、饲'三元结构'、草田轮作"的生产模式, 适度利用现有耕地开展粮改饲和种养结合模式, 提高草地产量、有助于维护草畜平衡, 遏制草地退化趋势, 提高草原牧区草牧业可持续发展和生态保护能力.

关键词 生态草牧业, 草地退化, 草原生态承载力, 草畜平衡, 呼伦贝尔农垦集团

2015年中央一号文件提出加快发展草牧业, 促进粮食、经济作物、饲草料三元种植结构协调发展. 为落实中央一号文件精神, 解决我国农业生产结构布局不合理、畜牧业发展水平低下等问题, 党中央、国家领导人做了关于加快发展草牧业的重要指示. 方精云等率先提出"生态草牧业"理念, 旨在保护草原生态的前提下, 充分利用草原中不足10%但水热条件适宜的耕地, 建立集约化人工草地, 以提高优质饲草产量10~15倍, 从而让90%以上的天然草地得到保护和恢复; 并从根本上解决草畜矛盾问题, 实现畜

引用格式: 匡文慧, 闫慧敏, 张树文, 等. 呼伦贝尔农垦集团草畜平衡状况与粮经饲配置模式. 科学通报, 2018, 63: 1711–1721
Kuang W H, Yan H M, Zhang S W, et al. Forage-livestock status in farms and ranches of ecological grass-animal husbandry construction and allocation model of grain-warp-feed in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group (in Chinese). Chin Sci Bull, 2018, 63: 1711–1721, doi: 10.1360/N972017-01144

© 2018《中国科学》杂志社

牧业增产和农牧民增收的“双赢”成效[1]. 呼伦贝尔草原是我国最重要的畜牧业生产基地之一, 也是我国重要的生态屏障区. 近年来, 在自然和人为活动的双重作用下, 呼伦贝尔草原生态环境已经变得相当脆弱. 草原的承载力及草畜平衡状态受到越来越多的关注.

我国学术界很早就提出“以草定畜、草畜平衡”的概念[2]. 草畜平衡的核心是饲草可供给量与家畜需求的即时平衡[3,4]. 由于中国草地并不只有一个平衡态[5], 因此, 草畜平衡问题不是一个简单的草原植被问题, 其实质是“人-畜-草”的平衡问题, 即草畜平衡不仅是一项管理工作, 还包括畜牧业经营方式问题, 同时也是解决农业、畜牧业统筹布局和协调发展问题的关键和天然草地可持续利用和放牧家畜高效生产的前提. 草畜平衡管理应该由狭义的草畜数量平衡管理转变为广义的草畜平衡管理, 就是放弃对饲草量和牲畜数量之间平衡的管理, 而转变为依据草地生态系统质量变化来调节牲畜数量的管理[6]. 基于可持续发展理论的生态承载力按照“生态系统-生态系统服务-人口和经济(承载力)”的研究主线[7]为呼伦贝尔草原“草畜平衡”提供了新的研究视角.

近年来, 国内学者对作物生产力的估测方面进行了大量的研究, 为草地估产提供了可行的方法和技术手段, 基于MODIS影像的净初级生产力(NPP)模型能够对草原产草量进行准确估算, 从而为草畜平衡的量化研究提供很好的基础数据. 如牛忠恩等人[8]利用MODIS和Landsat8 OLI遥感数据融合技术对生产力进行估算; 张镱锂等人[9]利用CASA模型对青藏高原区草地NPP时空分异特征进行分析; 吴姗姗等人[10]利用MODIS影像对长江源区植被的NPP的变化特征及水文效应进行研究. 在草地产草量估算、超载程度和草畜平衡状态方面的研究也在此基础上开展了深入的研究, 如李刚等人[11]对锡林浩特市草地载畜量和草畜平衡特征进行了研究; 张良侠等人[12]基于GLO-PEM模型和载畜压力指数, 对比分析了三江源地区实施生态工程前后草地产草量和载畜压力的变化; 刘纪远等人[13]以土地覆盖结构和草地退化结构为核心建立生态系统结构指标群; 刘兴元等人[14]对甘南牧区草地生产力与载畜量时空动态平衡问题进行研究. 上述研究重点分析了草场本身的承载情况, 强调牲畜的数量, 忽视了如何通过提高草原可持续利用来解决草畜平衡问题.

本文对呼伦贝尔农垦集团农牧场草地生产力状况进行了估算, 并测算了24个农牧场的理论载畜量, 分析了24个农牧场载畜压力, 进而估计了不同粮经饲配置模式农牧场草畜平衡状况, 服务于草原牧区草牧业可持续发展.

1 研究区概况

呼伦贝尔农垦集团始建于1954年, 位于内蒙古自治区东北部, 包括海拉尔农牧场管理局和大兴安岭农场管理局, 拥有24个农牧场(图1). 施业区面积30×10^3 km^2, 分布在呼伦贝尔市9个旗和市区, 辖24个县团级现代化农牧场和27个企事业单位, 总人口17万, 其中各类从业人员7.4万; 大部分地区属中温带大陆性季风气候, 部分地区属寒温带大陆性季风气候, 大兴安岭山脊和两麓气候差异明显. 其特点是: 冬季寒冷漫长, 夏季温凉短促, 春季干燥风大, 秋季气温骤降、霜冻早. 农垦集团无霜期较短, 大兴安岭以西地区(以下简称: 岭西)为75~120 d, 大兴安岭以东地区(以下简称: 岭东)为100~125 d, 大兴安岭山地为35~85 d. 农垦集团年平均降水量为250~550 mm, 受大兴安岭地势的影响, 降水量由东向西递减. 各地年平均气温为–5~3℃, ≥10℃的有效积温自东向西、自南向北逐渐减少, 1980~2012年, 岭东地区扎兰屯市为1920~3037℃, 岭西海拉尔区为1651~2647℃. 呼伦贝尔农垦集团土地资源丰富, 类型多样, 主要以草地、耕地为主. 拥有3.95×10^3 km^{2}耕地, 可利用草场面积达5.16×10^3 km^2, 耕地面积在全国农垦集团中排在第3位. 土壤主要以棕色针叶林土、暗棕壤、灰色森林土、黑土、黑钙土、栗钙土、暗色草甸土等为主. 各农牧场的组织化程度高, 农牧业机械装备能力强, 田间农业综合机械化水平达95%, 为维护我国粮食安全和食品安全做出了突出贡献.

2 数据与方法

2.1 数据源与数据处理

本研究数据源包括呼伦贝尔市和24个农牧场行政边界、SRTM地形等基础地理数据, 2000~2015年逐月气温和降水站点500 m插值数据, 2015年1∶10万土地利用/覆盖现状图和农牧场1∶1万土地利用现状数据, 2000~2015年MODIS 250 m分辨率NDVI指数, 2005和2015年Landsat TM/OLI、GF-2号等遥感影像数据, MODIS 500 m分辨率NPP数据及相应的干草产量估算



图 1 (网络版彩色)呼伦贝尔农垦集团农牧场分布图

Figure 1 (Color online) Spatial distribution of farms and ranches in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group

数据和2005~2015年逐年24个农场农牧业统计数据.

基于2005和2015年Landsat TM/OLI遥感影像、1∶10万土地利用/覆盖现状图和农牧场1∶1万土地利用现状数据获取呼伦贝尔农垦集团24个农牧场草地分布现状数据以及不同草地覆盖度状况. 依据中国土地利用/覆盖现状分类系统[15], 根据草地盖度将草地分为高覆盖度草地(盖度>50%) 、中覆盖度草地(盖度20%~50%) 和低覆盖度草地(盖度5%~20%). 由于同一期的草地覆盖度状况并不能反映出草地退化状况. 本研究参考三江源草地退化遥感分类解译方法[16], 根据两期图像色调和纹理特征的对比判断, 草地覆盖度下降、破碎化等特征, 制图24个农牧场草地退化状况.

2.2 净初级生产力估算

基于植被光合模型(vegetation photosynthesis model, VPM)估算草地NPP, VPM模型是一个基于卫星遥感数据进行生态系统生产力估算的光能利用率模型. 自2004年模型建立以来已针对中国范围不同生态系统类型开展了一系列的模型校验和验证研究, 且表现良好的模拟能力[8,17,18].

该模型首先利用Monteith方程原理对生态系统总初级生产力(GPP)进行模拟, 进而根据自养呼吸与GPP的比例关系计算NPP. 模型的输入数据为增强型植被指数EVI (enhanced vegetation index)以及地表水分指数LSWI (land surface water index), 利用空间分辨率500 m、时间分辨率8天的MODIS地表反射率产品(MOD09A1)(http://www.edc.usgs.gov/)计算得到. 气温数据来自于中国气象局的中国气象科学数据共享服务网提供的气象站点气温数据应用ANUSPLINE软件进行插值得到每8天、500 m时空分辨率栅格数据.

2.3 单位面积干草总量计算

草地生产力以单位面积干草产量表示, 反映草

地初级生产力, 即单位面积特定时间内生产的牧草的干物质总产量, 是草地生产力的基本评价指标. 干草产量以标准干草来衡量, 指的是达到最高月产量时, 收割的以禾本科牧草为主的温性草原草地或山地草甸草地之含水量14%的干草. 单位面积干草总量可通过草地*NPP*推算得到:

$$B_g = \frac{NPP}{S_{bn}\left(1+S_{ug}\right)}, \tag{1}$$

其中, B_g为年总单位面积干草产量(g/(m^2 a)), *NPP*为草地年总*NPP*(gC/(m^2 a)), S_{bn}为草地生物量到*NPP*的转换系数(*g*/*gC*), 数值为0.45; S_{ug}为草地地下部分和地上部分生物量比例系数.

2.4 理论载畜量计算

家畜日食草量是维持家畜的正常生长、发育、繁殖及正常的生产畜产品, 每头家畜每天所需摄取的饲草量. 其计算公式如下:

$$CA = \frac{G \times C_{\text{use}}}{U_G \times DOY}. \tag{2}$$

*CA*为全年当前理论载畜量(羊单位); *G*为全年干草产量, C_{use}为牲畜对牧草的利用率, U_G为家畜日食量, 1.25 kg/d; *DOY*为一年的天数, 365 d.

牧草利用率(C_{use})的确定是草地合理利用的重要环节, 也是确定适宜载畜量, 防止草地退化, 使草地可持续利用的重要依据. 草地的利用率就是适宜载畜量所代表的放牧强度. 它主要取决于一定状况下牧草的生物学特性, 即家畜采食掉的部分在牧草的忍耐限度以上, 而草地放牧中等, 并保持家畜的正常生长、发育. 温带草甸放牧地的利用率为50%~60%, 割草地的利用率为75%, 这里取平均可利用率为60%.

2.5 草畜平衡状态计算

在完全放牧条件下(不考虑补饲), 草场的草畜平衡计算公式为

$$R = \frac{Ga - Gb}{Ga} \times 100\%. \tag{3}$$

式中, *R*为草地的超欠载率, 结果为正时表明草地欠载, 结果为负时表明草地超载; *Ga*为草地的理论载畜量; *Gb*为草地的实际载畜量.

3 结果与分析

3.1 呼伦贝尔农垦集团草地面积及退化状况分析

草地资源具有高度的时空差异分布特征, 其草地的数量和质量时空分布对于畜牧生产具有重要影响[6]. 呼伦贝尔农垦集团24个农牧场现有牧草地面积约为6.90×10^3 km^2. 不同农牧场之间牧草地分布差异显著, 特泥河农牧场草地面积最大, 约为1.02×10^3 km^2; 其次为三河种马场、哈达图农牧场和苏沁农牧场, 草地面积分别为781, 606和605 km^2(图2). 另外,

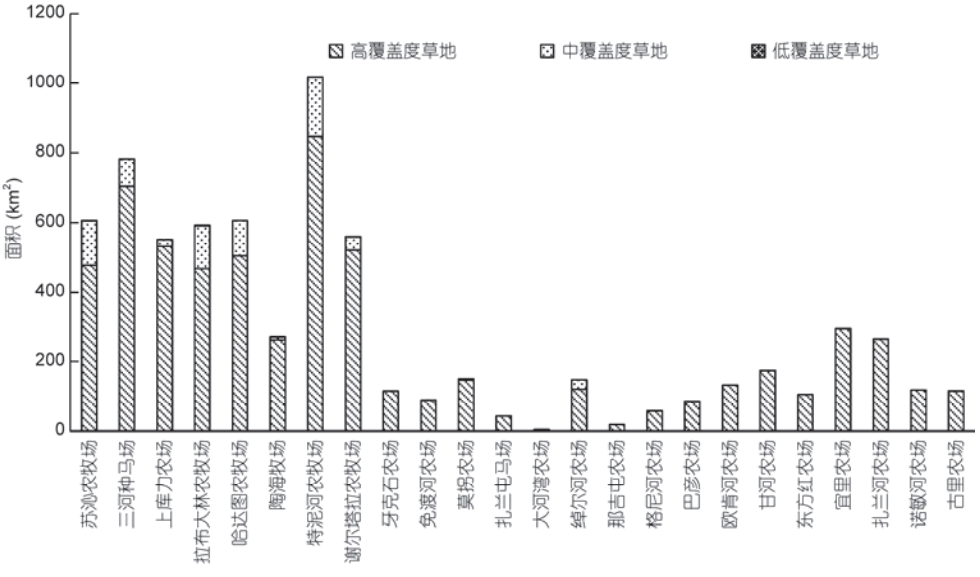


图 2 呼伦贝尔农垦集团农牧场草地面积统计图

Figure 2 Grassland area of farms and ranches in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group

拉布大林农牧场、谢尔塔拉农牧场和上库力农场草地面积在550~600 km^2; 宜里农场、陶海牧场和扎兰河农场草地面积在200~300 km^2; 甘河农场、莫拐农场、绰尔河农场、欧肯河农场、诺敏河农场、古里农场、牙克石农场和东方红农场面积在100~200 km^2; 免渡河农场等6个农牧场草地面积不足100 km^2.

由于呼伦贝尔草原是世界著名的四大天然草场之一, 属温带大陆性气候草原, 主要以草甸草原为主. 因此, 该区24个农牧场草地覆盖度以50%的高覆盖度草地为主, 其中高覆盖度草地面积约占农牧场草地总面积的90%以上, 但是各农牧场高中低覆盖度所占的比例差异也显著(图2). 由此来看, 农牧场除了为国家粮食生产发挥重要作用以外, 还具有丰富的草地资源和野生动植物资源, 是畜牧业发展的重要基地.

尽管农垦集团24个农牧场优质牧草和高覆盖度草地所占比例较高. 但是近20年来, 由于气候因素, 草原开垦以及过度放牧等因素的影响, 草地退化趋势较为严重, 主要表现为草场生产力下降, 草地覆盖度降低和草场沙化等问题. 遥感监测表明, 截至2015年呼伦贝尔农垦集团24个农牧场中草地总面积的66.16%出现不同程度的退化. 由于草原开垦等干扰导致草地破碎化约占草地总面积的1.55%, 24个农牧场中谢尔塔拉、陶海、哈达图和特泥河等农牧场草地退化状况较为严重, 过度放牧是草地退化的主因, 特别是农牧养殖场及公路两侧、水源附近、居民点周围的草场超载放牧现象持续发生, 导致草原植被盖度、高度和产草量下降.

3.2 呼伦贝尔农垦集团草地生产力和干草产量分析

基于VPM模型对呼伦贝尔农垦集团NPP进行估算, 并利用公式(1)获取草地干草产量, 从图3可以看出呼伦贝尔市域内干草产量的分布呈现由西北向东

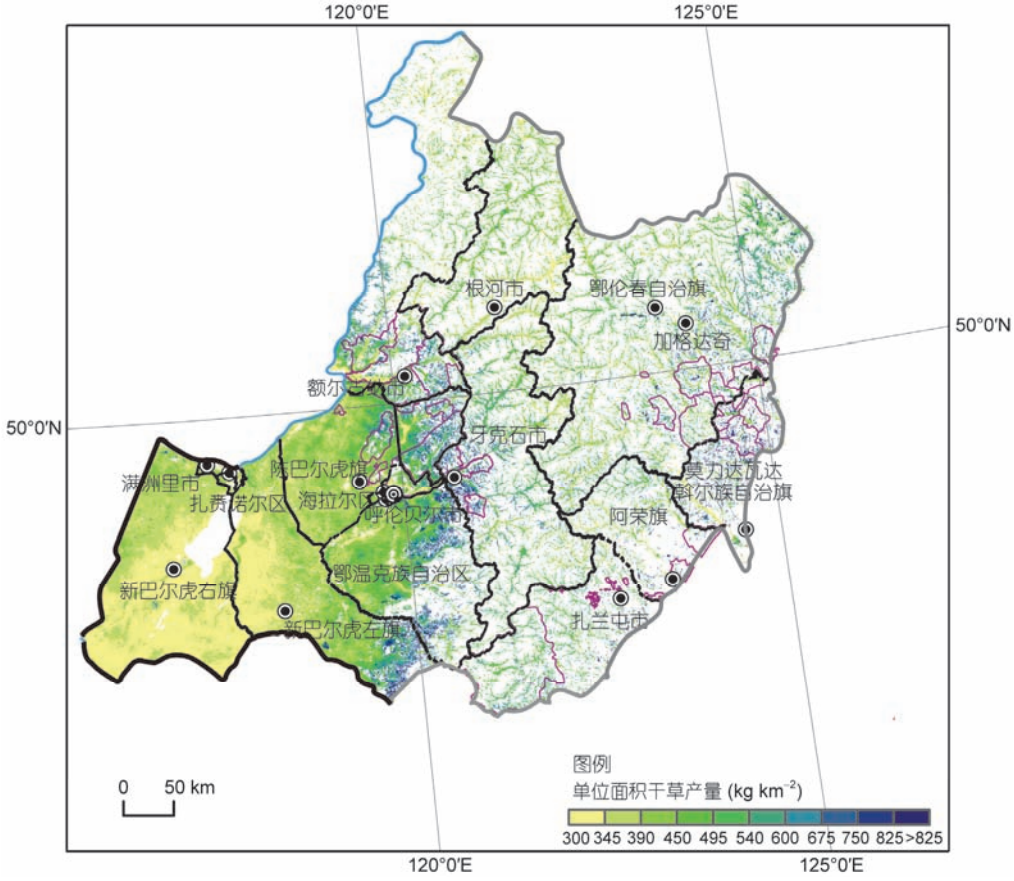


图 3 2015 年呼伦贝尔农垦集团农牧场干草产量分布图

Figure 3 The spatial distribution of hay yield of farms and ranches in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group in 2015

南逐渐增加的趋势, 干草产量的空间分布规律与草地分布规律基本一致, 从总产草量来看, 干草的总产量较大的区域主要分布在新巴尔虎右旗、新巴尔虎左旗以及陈巴尔虎旗. 呼伦贝尔农垦集团24个农牧场平年产草量约为34.07万 t, 2001年欠年产草量为27.43万 t, 2013年丰年年产量为48.89万 t.

从农垦集团各农牧场的干草产量分布情况来看, 海拉尔农牧场管理局各农牧场的干草总产量均高于大兴安岭农场管理局的各农牧场. 结合表1可知, 哈达图农牧场、拉布大林农牧场、上库力农场、苏沁农牧场、特泥河农牧场等, 丰年与平年产草量、平年与欠年产草量差异均较大, 说明这些以畜牧业为主的农牧场, 草地生产力在不同年份受夏季降水波动影响较大. 特别是在极端干旱年份, 草地生产力会严重下降, 导致草场载畜压力的增加和农牧场饲草料的不足. 对于农垦集团载畜量及草畜平衡的调控具有很大的不可控因素.

3.3 呼伦贝尔农垦集团农牧场承载力分析

对于呼伦贝尔农垦集团, 由于各农牧场主要位于草场生产力较好的草甸区, 草场承载力水平高于呼伦贝市平均水平, 各农牧场理论承载力如表2所示. 可以看出呼伦贝尔农垦集团各个农牧场平年理论承载力为108.94万个羊单位, 欠年2001年理论承载力为86.25万个羊单位, 丰年2013年理论承载力为138.45万个羊单位.

3.4 农垦集团农牧场草畜平衡状况评估

2015年呼伦贝尔24个农牧场实际载畜量为164.19万个羊单位, 理论载畜量为86.83万个羊单位,

表 1 呼伦贝尔农垦集团各农牧场产草量情况表(单位: 万t)[a)]

Table 1 Statistics of hay yield of farms and ranches in HulunBuir Agricultural Reclamation Group (Unit: Ten thousand ton)[a)]

农牧场	平年产草量	欠年产草量	丰年产草量	平年–欠年产草量	丰年–平年产草量
大河湾农场	0	0	0	0	0
哈达图农牧场	4.36	3.27	7.52	1.09	3.16
拉布大林农牧场	3.68	2.92	6.32	0.76	2.64
免渡河农场	0.16	0.14	0.19	0.02	0.03
莫拐农场	0.82	0.67	0.92	0.15	0.10
那吉屯农场	0.65	0.55	0.67	0.10	0.02
格尼河农场	0.10	0.09	0.12	0.01	0.02
三河种马场	2.10	1.68	2.95	0.42	0.85
上库力农场	5.33	4.70	7.22	0.63	1.89
苏沁农牧场	4.36	2.96	6.45	1.40	2.09
陶海牧场	0.51	0.43	0.72	0.08	0.21
特泥河农牧场	6.86	5.35	9.40	1.51	2.54
谢尔塔拉农牧场	1.46	1.15	2.30	0.31	0.84
牙克石农场	0.56	0.48	0.64	0.08	0.08
扎兰屯马场	0.18	0.16	0.20	0.02	0.02
东方红农场	0.07	0.07	0.07	0	0
甘河农场	0.26	0.26	0.29	0	0.03
巴彦农场	0.14	0.13	0.14	0.01	0
绰尔河农场	0	0	0	0	0
诺敏河农场	0.16	0.15	0.17	0.01	0.01
欧肯河农场	0.34	0.34	0.38	0	0.04
宜里农场	0.21	0.21	0.23	0	0.02
扎兰河农场	0.40	0.37	0.44	0.03	0.04

a) 绰尔河、免渡河、苏沁和谢尔塔拉农牧场的可利用草场面积数据缺失, 这里根据草原面积进行估算

表 2　呼伦贝尔农垦集团各农牧场承载力情况表(单位: 万羊单位)

Table 2　Statistics of carrying capacity of farms and ranches in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group (Unit: Ten thousand sheep-unit)

农牧场	平年承载力	欠年承载力	丰年承载力
巴彦农场	0.69	0.55	0.88
绰尔河农场	0.01	0.00	0.01
大河湾农场	0.00	0.00	0.00
东方红农场	0.42	0.33	0.53
甘河农场	0.66	0.52	0.84
格尼河农场	0.21	0.17	0.27
古里农场	2.71	2.14	3.44
哈达图农牧场	17.69	14.00	22.48
拉布大林农牧场	10.00	7.92	12.71
免渡河农场	0.24	0.19	0.30
莫拐农场	1.23	0.97	1.56
那吉屯农场	1.09	0.86	1.39
诺敏河农场	0.34	0.27	0.43
欧肯河农场	1.59	1.26	2.02
三河种马场	20.73	16.41	26.34
上库力农场	15.89	12.58	20.20
苏沁农牧场	11.63	9.21	14.78
陶海牧场	1.30	1.03	1.65
特泥河农牧场	13.31	10.54	16.92
谢尔塔拉农牧场	5.39	4.27	6.85
牙克石农场	1.11	0.88	1.42
宜里农场	0.55	0.43	0.70
扎兰河农场	1.74	1.38	2.21
扎兰屯马场	0.41	0.33	0.53
总计	108.94	86.25	138.45

在不考虑青贮草和外购饲草料的情况下, 超载率为89%, 饲草缺口42.35万 t. 如图4, 对于以畜牧养殖为主的哈达图农牧场实际载畜量为30.32万个羊单位, 理论载畜量仅有12.25万个羊单位, 超载率为147%; 三河种马场、拉布大林农牧场和苏沁农牧场, 实际载畜量均超过了10万个羊单位, 高于理论载畜量, 存在一定程度的超载现象. 对于农业为主的农牧场, 如巴彦农场、甘河农场等, 超载现象比较严重, 但是这些农牧场实际载畜量均不足6万个羊单位.

目前主要通过青贮饲料、外购饲草料等方式解决超载问题, 2015年青贮饲料7万 t, 外购饲草料13万 t, 仍然存在饲草料短缺问题. 如果考虑年际间气候条件, 图4所示为正常年份, 24个农牧场的平均降水量在453 mm农牧场产草量状况. 如在极端气候条件, 特别是极端干旱年, 如2017年出现严重的旱情, 24个农牧场的夏季平均降水量不足100 mm, 农垦集团24个农牧场将会导致更大的饲草料缺口.

3.5　农垦集团粮经饲配置模式

“粮经饲”三元种植结构是在以粮食作物为主、经济作物为辅的二元结构的基础上, 把饲料生产从粮食生产概念中分离出来, 安排一定面积土地和适当的作物茬口来生产饲料, 逐渐使饲料生产成为一个相对独立的产业, 将人畜共粮的种植模式改变为人畜分粮, 粮食作物、经济作物和饲料作物生产协调发展的种植模式. “粮改饲”的策略作为农业供给侧改革的措施之一, 旨在将稀缺资源进行有效配置[19]. 如东北和华北一些地区将部分玉米和春小麦种植调整为燕麦、苜蓿、青贮玉米/甜高粱等, 适当调减一部分经济作物占地, 充分利用农牧交错带的资源发展人工种草, 以满足养殖牲畜的需求[20]. 2016年, 农垦集团特泥河农牧场总播种面积36.8万亩, 优化农业种植

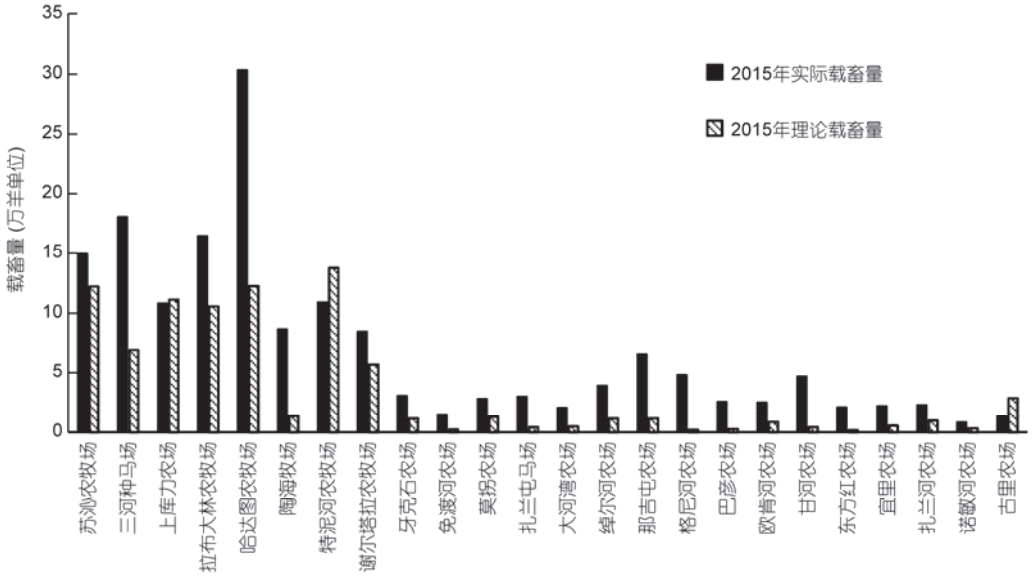


图 4 呼伦贝尔农垦集团各农牧场载畜量统计图

Figure 4 Statistics of grazing capacity of farms and ranches in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group

结构, 建立粮、经、饲相协调的种植模式, 将经济作物和饲料作物播种面积增加到19%, 从而实现高附加值的作物和品种种植比例, 提高整体农牧业效益[21].

根据2000~2015年呼伦贝尔农垦集团耕地的NPP的平均值, 选择NPP均值相对较低耕地, 即中低产田的10%、20%、30%的开展人工草地种植[22], 各农牧场的人工草地面积分配如下表:

中国科学院植物研究所和呼伦贝尔农垦集团牵头实施的生态草牧业人工草地建植试验研究表明, 人工草地种植可以有效提高干草生产能力[22~24]. 呼伦贝尔农垦集团24个农牧场现有耕地面积3.95×10^3 km^2, 将其中10%的耕地开展人工草地种植, 按照燕麦(平均亩产干草400~600 kg)、苜蓿(平均亩产干草300~500 kg)、青贮玉米/甜高粱(平均亩产折算干草1600~2100 kg)种植面积比例5:3:2的模式, 可以生产干草43万吨, 可满足94万个羊单位的牧草需求[22~24]. 根据草牧业"以草定畜、以畜定草、草畜动态平衡"的理念, 理论上相当于5.86×10^3 km^2天然草地的产草量, 完全可满足整个呼伦贝尔农垦集团牲畜饲草料需求; 如果将其中30%的耕地开展人工草地种植, 可以生产干草129万吨, 可满足282万个羊单位的牧草需求, 可以扩大畜牧业发展规模约1.7倍. 因此, 天然草场资源之外的人工草地饲料补给是实现畜牧业可持续发展的关键环节.

4 结论与讨论

如何提升草原承载力、改善草畜平衡状态, 是实现呼伦贝尔草原可持续发展的当务之急. 基于遥感数据与VPM模型, 本文在获取呼伦贝尔农垦集团草原和各农牧场草畜现状的基础上, 估算其草地NPP及载畜量状况, 评估了该区草地生态承载力和草畜平衡状态, 进而提出了相应粮经饲配置措施. 主要结论有:

(1) 草原退化和超载问题日益突出且极为严重. 呼伦贝尔农垦集团24个农牧场现有天然草地总面积中66.16%呈现不同程度的退化. 同时, 该区草原超载问题严重.

(2) 呼伦贝尔农垦集团平年产草量约为34.07万吨, 欠年产草量为27.43万吨, 丰年年产量为48.89万吨. 实际载畜量为164.19万个羊单位, 理论载畜量为86.83万个羊单位, 在不考虑青贮草和外购饲草料的情况下, 超载率为89%, 饲草缺口42.35万吨.

(3) 呼伦贝尔农垦集团24个农牧场现有耕地面积3.95×10^3 km^2, 基于生态草牧业建设的理念, 将其中10%的耕地开展人工草地种植, 理论上相当于5.86×10^3 km^2天然草地的产草量, 完全可满足整个呼伦贝尔农垦集团牲畜饲草料需求. 推行"粮、经、饲'三元结构'、草田轮作"的生产模式, 适度利用现有耕地开展粮改饲和种养结合模式, 有助于提高草原牧区畜牧业可持续发展和生态保护能力.

表 3 呼伦贝尔农垦集团农牧场人工草地面积规划表(单位: km^2)

Table 3 Statistics of planning area for artificial grassland of farms and ranches in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group (Unit: km^2)

农牧场	人工草地面积(10%)	人工草地面积(20%)	人工草地面积(30%)
巴彦农场	6.54	14.02	23.10
绰尔河农场	3.74	14.42	26.91
大河湾农场	9.48	11.02	11.22
东方红农场	17.96	30.98	39.73
甘河农场	6.61	34.38	58.89
格尼河农场	35.79	48.74	54.82
古里农场	1.54	5.54	11.08
哈达图农牧场	33.98	59.42	82.66
拉布大林农牧场	30.91	79.59	120.11
免渡河农场	3.27	6.21	9.61
莫拐农场	2.80	9.95	17.56
那吉屯农场	14.35	16.76	19.30
诺敏河农场	3.41	30.11	52.95
欧肯河农场	4.27	13.62	39.53
三河种马场	67.23	121.78	160.11
上库力农场	5.94	14.82	34.52
苏沁农牧场	40.19	85.46	106.03
陶海牧场	4.54	4.67	6.68
特泥河农牧场	15.96	41.60	67.50
谢尔塔拉农牧场	64.23	78.25	85.66
牙克石农场	6.28	17.43	39.99
宜里农场	2.80	17.49	70.31
扎兰河农场	0.27	11.08	22.30
扎兰屯马场	9.35	15.82	20.16
总计	391.52	783.11	1180.84

参考文献

1 Fang J Y, Li L H, Jiang G M, et al. Understanding “Grass industry and animal husbandry” correctly to promote sustainable development (in Chinese). Chin Anim Husband Vert Med, 2015, 7: 7–26 [方精云, 李凌浩, 蒋高明, 等. 正确理解“草牧业”促进可持续发展. 中国畜牧兽医报, 2015, 7: 7–26]

2 Jia Y L. On the concepts and practices concerning grassland-livestock balance (in Chinese). Acta Agrest Sin, 2005, 13: 265–268 [贾幼陵. 关于草畜平衡的几个理论和实践问题. 草地学报, 2005, 13: 265–268]

3 Ren J Z, Xu G, Li X L, et al. Trajectory and prospect of China’s prataculture (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 178–192 [任继周, 胥刚, 李向林, 等. 中国草业科学的发展轨迹与展望. 科学通报, 2016, 61: 178–192]

4 Li Q F. Series of studies on balance control between animal demanding and feed availability (1)—Discussions and comments on the currently practiced animal-feed balance control system (in Chinese). Pratacult Sci, 2011, 28: 1869–1972 [李青丰. 草畜平衡管理系列研究(1)——现行草畜平衡管理制度刍议. 草业科学, 2011, 28: 1869–1972]

5 Hao D Y, Liu Z L, Wang W, et al. Research on the restoring succession of the degenerated grassland in Inner Mongolia—A mathematical model for plant community succession (in Chinese). Acta Phytoecol Sin, 1997, 21: 503–511 [郝敦元, 刘钟龄, 王炜, 等. 内蒙古草原退化群落恢复演替的研究——群落演替的数学模型. 植物生态学报, 1997, 21: 503–511]

6 Xu M Y. A review of grassland carrying capacity: Perspective and dilemma for research in China on “forage-livestock balance” (in Chinese). Acta Pratacult Sin, 2014, 23: 321–329 [徐敏云. 草地载畜量研究进展: 中国草畜平衡研究困境与展望. 草业学报, 2014, 23: 321–329]

7 Cao Z, Min Q W, Liu M C, et al. Ecosystem-service-based ecological carrying capacity: Concept, content, assessment model and application (in Chinese). J Nat Resour, 2015, 30: 1–11 [曹智, 闵庆文, 刘某承, 等. 基于生态系统服务的生态承载力: 概念、内涵与评估模型及应用. 自然资源学报, 2015, 30: 1–11]

8 Niu Z E, Yan H M, Huang M, et al. Agricultural productivity estimation with MODIS-OLI fusion data (in Chinese). J Nat Resour, 2016,

31: 875–885 [牛忠恩, 闫慧敏, 黄玫, 等. 基于 MODIS_OLI 遥感数据融合技术的农田生产力估算. 自然资源学报, 2016, 31: 875–885]
9 Zhang Y L, Qi W, Zhou C P, et al. Spatial and temporal variability in the net primary production (NPP) of alpine grassland on Tibetan Plateau from 1982 to 2009 (in Chinese). Acta Geogr Sin, 2013, 69: 1197–1127 [张镱锂, 祁威, 周才平, 等. 青藏高原高寒草地净初级生产力(NPP)时空分异. 地理学报, 2013, 69: 1197–1127]
10 Wu S S, Yao Z J, Jiang L G, et al. The spatial-temporal variations and hydrological effects of vegetation NPP based on MODIS in the source region of the Yangtze River (in Chinese). J Nat Resour, 2016, 31: 39–51 [吴珊珊, 姚治君, 姜丽光, 等. 基于 MODIS 的长江源植被 NPP 时空变化特征及其水文效应. 自然资源学报, 2016, 31: 39–51]
11 Li G, Wang D L, Xin X P, et al. Analyses on grassland carrying capacity and livestock-feeds balance in Xilinhot (in Chinese). Pratacult Sci, 2009, 26: 87–93 [李刚, 王道龙, 辛晓平, 等. 锡林浩特草地载畜量及草畜平衡分析. 草业科学, 2009, 26: 87–93]
12 Zhang L X, Fan J W, Shao Q Q, et al. Changes in grassland yield and grazing pressure in Three Rivers Headwater region before and after the implementation of the eco-restoration project (in Chinese). Acta Pratacult Sin, 2014, 23: 116–123 [张良侠, 樊江文, 邵全琴, 等. 生态工程前后三江源草地产草量与载畜压力的变化分析. 草业学报, 2014, 23: 116–123]
13 Liu J Y, Shao Q Q, Fan J W. The integrated assessment indicator system of grassland ecosystem in the Three-River Headwaters region (in Chinese). Geogr Res, 2009, 28: 273–283 [刘纪远, 邵全琴, 樊江文. 三江源区草地生态系统综合评估指标体系. 地理研究, 2009, 28: 273–283]
14 Liu X Y, Feng Q S, Liang T G, et al. Spatial-temporal dynamic balance between livestock carrying capacity and productivity of rangeland in Gannan of Gansu Province, China (in Chinese). Grassl China, 2010, 32: 99–106 [刘兴元, 冯琦胜, 梁天刚, 等. 甘南牧区草地生产力与载畜时空动态平衡研究. 中国草地学报, 2010, 32: 99–106]
15 Liu J, Liu M, Tian H, et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990–2000: An analysis based on Landsat TM data. Remote Sens Environ, 2005, 98: 442–456
16 Liu J Y, Xu X L, Shao Q Q. Grassland degradation in the "Three-River Headwaters" region, Qinghai Province. J Geogr Sci, 2008, 18: 259–273
17 Yan H M, Fu Y L, Xiao X M, et al. Modeling gross primary productivity for winter wheat-maize double cropping system using MODIS time series and CO_2 eddy flux tower data. Agr Ecosyst Environ, 2009, 129: 391–400
18 Wang Z, Xiao X M, Yan X D. Modeling gross primary production of maize cropland and degraded grassland in northeastern China. Argric Forest Meteorol, 2010, 150: 1160–1167
19 Wang Y R, Sun F, Cui W D. A literature study on the effective allocation of farming and animal husbandry resources under the background of "food change feed" (in Chinese). Spec Zone Econ, 2017, (9): 97–101 [王怡然, 孙芳, 崔文典. "粮改饲"背景下农牧业资源有效配置文献研究. 特区经济, 2017, (9): 97–101]
20 Zhou Z M. Cropping mode with grain-warp-feed (in Chinese). New Rural Technol, 2015, (7): 4–6 [周志明. "粮经饲"三元种植模式. 农村新技术, 2015, (7): 4–6]
21 Xue S T, Yang G W, Chi X X, et al. Survey of production status of forage and animal husbandry in Tenihe farmland and its surroundings in Hulun Buir (in Chinese). Grassland Pratacult, 2017, 29: 1–9 [薛淑婷, 杨高文, 迟晓雪, 等. 呼伦贝尔特泥河农场及周边地区草牧业生产现状调查. 草原与草业, 2017, 29: 1–9]
22 Fang J Y, Pan Q M, Gao S Q, et al. "Small vs. Large Area" Principle: Protecting and restoring a large area of natural grassland by establishing a small area of cultivated pasture (in Chinese). Pratacult Sci, 2016, 33: 1913–1916 [方精云, 潘庆民, 高树琴, 等. "以小保大"原理: 用小面积人工草地建设换取大面积天然草地的保护与修复. 草业科学, 2016, 33: 1913–1916]
23 Bai Y F, Yu Z, Yang Q C, et al. Mechanisms regulating the productivity and stability of artificial grasslands in China: Issues, progress, and prospects (in Chinese). Chin Sci Bull, 2018, 63: 511–520 [白永飞, 玉柱, 杨青川, 等. 人工草地生产力和稳定性的调控机理研究: 问题、进展与展望. 科学通报, 2018, 63: 511–520]
24 Fang J Y, Bai Y F, Li L H, et al. Scientific basis and practical ways for sustainable development of China's pasture regions (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 155–164 [方精云, 白永飞, 李凌浩, 等. 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: 155–164]

Summary for "呼伦贝尔农垦集团草畜平衡状况与粮经饲配置模式"

Forage-livestock status in farms and ranches of ecological grass-animal husbandry construction and allocation model of grain-warp-feed in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group

Wenhui Kuang[1*], Huimin Yan[2], Shuwen Zhang[3], Xiaoyong Li[1,4], Zhengyi Bao[4,5], Jing Ning[6], Ping'an Zhang[7], Bing Fan[8] & Shanshan Wang[8]

[1] *Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*
[2] *Key Laboratory of Resource Utilization and Environmental Remediation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*
[3] *Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China;*
[4] *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*
[5] *State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*
[6] *College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;*
[7] *Hulunbuir Meteorological Bureau, Hailar 021008, China;*
[8] *Institute of Eco-Industrial Technology Research, Hulunbuir, Hulunbuir 021008, China*
* Corresponding author, E-mail: kuangwh@igsnrr.ac.cn

In order to increase of husbandry production and to have a sustainable development of pastures, it is important to accelerate the construction of ecological grass-animal husbandry, to promote the grassland ecological carrying capacity and to reach the equilibrium in the grassland-livestock balance. We chose twenty-four farms and ranches in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group as study area, satellite imagery from 500-m MODIS, 30-m Landsat, and 4-m GF-2 are used together with annual report data of farms and ranches. We mapped the spatial distribution and the status of degradation of grassland and we computed the net primary productivity (NPP) of farms and ranches in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group, using remote sensing images as input data in a Vegetation Photosynthesis Model (VPM). We then analyzed the carrying capacity of grassland and its over-grazing degree and proposed the construction of artificial grassland mode of ecological grass-animal husbandry in farms and ranches. We found that about 66.16% of natural grassland has been subject to serious degradation in different degrees in the twenty-four farms and ranches, mainly manifested in the decline of grassland vegetation productivity and coverage. The grassland fragmentation area was about 1.55% of the total grassland area. Based on remote sensing the result that annual average grassland yield was about 34.07×10^4 t, ranging from 27.43×10^4 t in 2001 to 48.89×10^4 t in 2013 of farms and ranches in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group. The actual grazing capacity was 164.19×10^4 sheep units while the theoretical grazing capacity was only 86.83×10^4 sheep units in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group in 2015. The forage gap was 42.35×10^4 t and overload rate reached 89% without the consideration of the silage grass and purchased forage. The cultivated land area is 3.95×10^3 km^2 in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group. Converting 10% of the cultivated land area into artificial grassland could provide grass yield amounting to 5.86×10^3 km^2 of the natural grassland, which would meet with the forage demand of livestock in Hulunbuir Agricultural Reclamation Group. The implementation of the Grain-Warp-Feed and the Grass-Crop rotation production mode, and the establishment of artificial grassland on cultivated land can improve the grassland quality, grassland-livestock balance, and reduce grassland degradation, which is critical to promoting the ability of the sustainable development of husbandry and ecological protection in pastures. As a measure of agricultural supply side reform, the strategy of transforming grain into forage aims to achieve effective allocation of resources.

ecological grass-animal husbandry, grassland degradation, grassland carrying capacity, grassland-livestock balance, Hulunbuir Agricultural Reclamation Group

doi: 10.1360/N972017-01144