

DOI: 10.12357/cjea.20230694

白伊苏拉, 朱培志, 李治国, 韩国栋. 不同载畜率水平家庭牧场草畜能量平衡及效益分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(8): 1401–1410

BAI Y S L, ZHU P Z, LI Z G, HAN G D. Forage–animal energy balance and benefit analysis of household ranches in different stocking rates[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2024, 32(8): 1401–1410

不同载畜率水平家庭牧场草畜能量平衡及效益分析^{*}

白伊苏拉, 朱培志, 李治国^{**}, 韩国栋

(内蒙古农业大学草原与资源环境学院 呼和浩特 010019)

摘 要: 草畜平衡是调节草原牧区生产生态有序发展的有效方式, 而进行草畜能量平衡的研究对于家庭牧场尺度上的草畜供求关系与经济效益的提升具有重要作用。本研究基于内蒙古自治区正蓝旗 59 户家庭牧场的调研数据, 以载畜率现状划分不同载畜率梯度并分别构建典型牧户, 利用草畜能量平衡模型模拟草畜能量年度供需关系并规划合理经营方案, 通过主成分分析确定影响家庭牧场收益的因素。结果表明: 调研区家庭牧场随载畜率的增加饲草料支出增加, 其中高载畜率牧场比低载畜率牧场的年饲料支出平均高 11.75 万元; 从家畜经济效益角度, 低载畜率牧场的单位家畜净收益最高, 为 $1075.82 \text{ 元} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, 显著高于中载畜率与高载畜率牧场 ($P < 0.05$); 家畜能量供需整体在年度内呈不均衡状态, 冬春季草地能量亏缺最高可达 $10.61 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 夏秋季草地满足能量供应且有富余; 天然草地面积与家畜数量对不同载畜率下家庭牧场的收益均呈现显著影响。通过降低家畜数量和改变饲喂组合等方式综合提升家畜个体生产性能, 对于促进家庭牧场的可持续发展和生态经济双赢具有重要意义。

关键词: 家庭牧场; 能量; 载畜率; 净收益

中图分类号: S815.2

Forage–animal energy balance and benefit analysis of household ranches in different stocking rates^{*}

BAI Yisula, ZHU Peizhi, LI Zhiguo^{**}, HAN Guodong

(College of Grassland and Resource Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China)

Abstract: Forage and animal balance is an effective way to regulate the production and ecological development of grassland pastoral areas, and the study of forage and animal energy balance plays an important role in improving forage and animal supply-demand relationships and economic efficiency at the scale of household ranches. In this study, based on research data from 59 household ranches in Zhenglan Banner, different stocking rate gradients were divided into different stocking rate gradients and typical herders were constructed based on the current stocking rate. The grass and livestock energy balance model was used to simulate the annual supply and demand of forage and animal energy and to plan a reasonable management plan. The factors affecting the profitability of household ranches were determined by principal component analysis. The results showed that the forage expenditure of household ranches in the study area increased with the increase in stocking rate. Among them, the average cost of feed in high stocking rate pastures was 117 500 yuan higher than that in low stocking rate pastures; in terms of economic benefits of livestock, low stocking rate household

^{*} 内蒙古自治区科技重大专项项目 (2021ZD0044)、内蒙古自治区科学技术厅中央引导地方科技发展资金项目 (2022ZY0022)、内蒙古自治区科技计划项目 (2020GG0100) 和国家自然科学基金项目 (32060384) 资助

^{**} 通信作者: 李治国, 主要从事草地资源与生态研究。E-mail: nmndlgz@163.com

白伊苏拉, 主要从事草地资源与生态研究。E-mail: baiyisula@163.com

收稿日期: 2023-11-25 接受日期: 2024-03-21

^{*} The study was supported by Inner Mongolia Major Science and Technology Project (2021ZD0044), the Central Government Guide Projects Funded by Local Science and Technology Development of Inner Mongolia Science and Technology Agency (2022ZY0022), Inner Mongolia Autonomous Region Science and Technology Program (2020GG0100), and the National Natural Science Foundation of China (32060384).

^{**} Corresponding author, E-mail: nmndlgz@163.com

Received Nov. 25, 2023; accepted Mar. 21, 2024

ranches had the highest net income per unit of livestock, and the net income per unit of livestock was $1075.82 \text{ yuan} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, which was significantly higher than that of medium stocking rate and high stocking rate household ranches ($P < 0.05$). Livestock energy supply and demand were unbalanced during the year, and the energy deficit of grassland in winter and spring was up to $10.61 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, while the grassland in summer and fall met the energy supply and had a surplus; the area of natural grassland and the number of livestock had a significant effect on the profitability of the household ranch under different stocking rates. Enhancing the performance of individual livestock by reducing the number of livestock and changing feeding combinations is important for the sustainable development of household ranches and for achieving a winning situation in terms of ecology and economy.

Keywords: Household ranch; Energy; Stocking rate; Net income

我国的草地约占国土陆地面积的 41%, 分布区域广泛, 且草地能够为畜牧业生产提供大量饲草料^[1], 是发展畜牧业的基础^[2]。草地是我国最大的陆地生态系统类型, 不仅能为人类提供具有直接经济价值的产品, 还具有调节气候、保持水土和维持生物多样性等多种生态系统服务功能^[3-4], 同时草地也是我国重要的生态屏障^[5]。内蒙古地区的草地面积在我国最为广阔。但在 20 世纪 80 年代实施生产责任制将草地划分到户以来^[6], 我国北方牧区以家庭为单位的经营管理模式成为主要畜牧业生产模式, 放牧方式从游牧转变为固定草场连续放牧^[7]。面对有限的可利用草场面积, 牧民不断增加家畜数量来实现经济效益的最大化, 草地承载了巨大的家畜数量, 从而呈现出较为明显的退化趋势, 草-畜-人之间的矛盾日益加重^[8-9]。

草畜平衡是指为了维持草地生态系统的良性循环, 由草场承包经营者通过多种途径获取的可利用饲草料总量与其饲养牲畜所需的饲草饲料量保持动态平衡, 家畜生产、草地资源和牧民生活三者是达到草畜平衡的重要指标。我国草畜平衡的管理方式是以审批监管为主体, 以饲草和家畜的均衡管理为主线^[10-11], 主要是侧重对饲草饲料供应数量的计算, 而放牧家畜对于饲草营养及能量的真正需求并未真实体现^[12-14]。因此了解草地和牲畜生产节律, 实现以草定畜, 以畜促草, 才能实现科学管理下草地利用和生产效益最大化。

近年来, 内蒙古自治区锡林郭勒盟地区草地畜牧业仍以传统的粗放经营为主^[15], 缺乏精准化养殖策略, 基础建设不完备, 从而制约着畜牧业经济的发展^[16]。家庭牧场是牧区基本生产单元, 在畜牧业领域扮演着重要角色。李治国等^[17]对锡林郭勒盟不同草地类型的研究表明, 家庭牧场家畜能量供需在年度内呈不平衡状态, 均出现补饲不足与补饲过量现象。段庆伟^[18]利用 Grassgro 模型对锡林郭勒典型草原进行模拟研究, 发现不同管理方式和放牧强度会直接影响草地产草量和载畜率, 进而导致牧民收益状况

不佳。研究表明^[19]内蒙古以家庭牧场为单位的连续放牧使草场出现比较明显的空间异质性, 草地退化后杂草影响物种多样性、改变土壤性质和影响群落稳定, 随之制约畜牧业经济发展^[20]。长期以来, 草地退化所造成的影响不可忽视^[21], 草畜关系的平衡与否关系着我国北方牧区社会经济发展。因此, 本文根据选取的具有代表性的典型牧户, 通过分析草畜能量供需、家畜饲喂状况和经济收入情况, 全面分析影响牧户生态效益和经济效益的因素, 并提出相应改进措施, 找出草-畜-人之间的矛盾之处, 为家庭牧场发挥出生态、生产、生活的最优效果, 同时对维持畜牧业稳定发展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区锡林郭勒盟正蓝旗, 处于锡林郭勒盟南部, 该旗地理坐标为 $115^{\circ}00' \sim 116^{\circ}42' \text{E}$, $41^{\circ}56' \sim 43^{\circ}11' \text{N}$, 总面积约 $1.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。试验区选择浑善达克沙地腹地的桑根达来镇与北部的那日图苏木。该区域是一个以蒙古族为主体的多民族聚集区, 属中温带半干旱大陆性气候, 平均海拔 1325 m , 地形、地貌主要是沙地丘陵, 沙丘间分布有大面积的河谷盆地和塔拉草场。春季干旱少雨, 冷空气频繁, 大风天气居多; 夏季较温热, 风力最小, 降雨主要集中在 7—9 月份, 年降雨量为 345.6 mm ; 秋季短促, 降水锐减, 气温下降, 风力加大; 冬季寒冷漫长, 常有风雪交加和持续低温天气, 冬季有 180 d 的冰雪期。试验区主要草地类型为温性典型草原沙质草原亚类, 主要植物类型有豆科 (Fabaceae)、鸢尾科 (Iridaceae)、菊科 (Asteraceae)、藜科 (Chenopodiaceae)、禾本科 (Poaceae) 等。

1.2 试验设计

本研究于 2021 年对内蒙古锡林郭勒盟正蓝旗中部和北部地区两个苏木(乡)的所有纯牧业嘎查(村)中的家庭牧场进行入户调研, 每个嘎查随机选取 3 个牧户作为调查对象, 为了保证数据的真实有效, 问

卷内容为蒙汉双语并采取与牧民面对面交谈的方式进行填写并核实。在得到 59 户有效调研数据的基础上, 结合调研区域的气象资料、草地资料和畜牧业生产资料, 根据调查区牧户草场面积、家畜数量、畜牧业生产生活支出等综合情况, 按载畜率高低将调查样本划分为 3 类载畜率水平的典型牧户, 分别是低载畜率牧场 (L1, $\leq 0.9 \text{ SE} \cdot \text{hm}^{-2}$ (羊单位 $\cdot \text{hm}^{-2}$), 样本量 17 户)、中载畜率牧场 (L2, $0.9 \sim 2.7 \text{ SE} \cdot \text{hm}^{-2}$, 样本量 23 户) 和高载畜率牧场 (L3, $\geq 2.7 \text{ SE} \cdot \text{hm}^{-2}$, 样本量 19 户)。运用 OMMLP (Optimized Management Models for Household Pasture Livestock Farm Production) 系统中的草畜平衡模型 FBA (Feed Balance Analyzer)^[22], 以典型牧户为研究对象, 分别模拟其全年草地能量供给量和家畜能量需求量, 根据模型模拟结果, 利用规划求解算法优化家庭牧场的饲喂方案及生产经营, 提高补饲的精准度, 并对调研数据进行主成分分析, 得到主要影响家庭牧场经营管理的相关因素。

1.3 数据采集

对研究区的家庭牧场采用半结构式问卷调查形式随机入户调研, 调研具体内容包括: 牧户基本信息、家庭牧场基础设施、草场面积、牲畜头数、经济收支情况和生产经营现状等基本情况 (表 1)。

1.4 数据模型模拟与数据处理

本研究使用 Excel 构建数据库, 进行规划求解算法; 利用 SigmaPlot 14.0 绘图。使用 SPSS 27.0 对不同类型牧场进行方差分析以及对调研指标进行主成分降维分析, 简化数据量, 最后按综合得分排列主次。

1.4.1 数据模型模拟

本研究利用草畜平衡模型 (FBA 模型) 进行模拟, 用来具体评估每一类家庭牧场。运用该模型前对所研究的家庭牧场有较详细的了解后, 需在此模型中录入草地面积、家畜生产、补饲量、经济效益和气象因素 5 个模块, 共 787 个基本参数。该模型采用可代谢能量将饲料供应、需求和利用进行综合, 通过输入一个家庭牧场的基本信息 (草地面积、家畜数量等), 模拟该牧场全年草地能量供给量和家畜能量需求量, 结合实际补饲情况, 最终输出结果以全年逐月的草畜平衡模拟曲线的形式体现。该模型中涉及到关于草地能量供给量和家畜能量需求量的主要公式如下:

草地能量供给量估算模型:

$$G_j^t = G_j^{t-1} - I_j^{t-1} - \text{GW}(G_j^t) \quad (1)$$

式中: G 是草地供给家畜的牧草干物质质量 (kg); I 和 t 分别为家畜干物质采食量 (kg)、时间 (d); j 为草地类型; GW 为草地干物质损耗量 (kg), 通常为总量的 10%。

干物质采食量转化为代谢能摄入量 (MEI):

$$\text{MEI} = \text{DMI}(-1.7 + 0.17 \text{DMD}) \quad (2)$$

式中: MEI 为家畜代谢能摄入量 (MJ), DMI 为牧草和饲料的每日干物质摄入量 [$\text{kg}(\text{DM}) \cdot \text{d}^{-1}$], DMD 为饲草料的平均消化率 (%)。

家畜能量需求量:

$$\text{ME}_g = \text{EI} - \text{ME}_M - \text{ME}_W \quad (3)$$

式中: ME_g 为放牧家畜总代谢能需求量 (MJ), EI 为代谢能总耗能 (MJ), ME_M 为家畜妊娠代谢能需求 (MJ),

表 1 家庭牧场调研内容一览表
Table 1 Content of survey in household ranch level

项目 Item	内容 Content
草地 Grassland	天然草地(面积、季节牧场种类、利用方式、产量、营养成分、消化率、植被组成等) Natural grassland (area, seasonal pasture type, utilization, yield, nutrient content, digestibility, vegetation composition, etc.)
家畜 Livestock	种类、品种、数量、年龄、体重、饲养方式(放牧、舍饲)、放牧或舍饲的起止时间、家畜饲喂日粮的组成及数量等 Species, breed, quantity, age, weight, feeding method (grazing, house feeding), start and end time of grazing or house feeding, composition and quantity of livestock feeding diet, etc.
经济 Economy	家畜产品: 不同种类家畜的购买及出售的数量和价格; 牧场中所有生产的畜产品产量和价格(羊毛、羊绒、奶、皮革等) Livestock products: quantities and prices of different types of livestock purchased and sold; production and price of all livestock products produced on the pasture (wool, cashmere, milk, leather, etc.)
	饲草饲料: 牧户购买的所有种类的饲草饲料数量及价格 Forage feed: quantity and price of all types of forage purchased by herders
	草地: 租用草场、饲草料地的种植、收获、加工、贮藏、运输等产出的支出 Grassland: expenditure on planting, harvesting, processing, storage, transportation and other outputs of rented pasture and forage land
	生产管理: 防疫、燃油、机械、补盐、雇工等方面的数量及单价 Production management: quantity and price of epidemic prevention, fuel, machinery, salt replenishment, employment, etc.
生产日历 Production calendar	配种、产羔、断奶、剪毛、出售时间 Breeding, lambing, weaning, shearing, selling time

ME_w 为家畜生长代谢能需求 (MJ)。

$$DMI = I_{\max} \times (RI_{\text{PSUM}} - RI_s) \quad (4)$$

式中: $I_{\max}$ 为干物质摄入量最大值 [$\text{kg}(\text{DM}) \cdot \text{d}^{-1}$], RI_{PSUM} 为干物质累积摄入量 [$\text{kg}(\text{DM}) \cdot \text{d}^{-1}$], RI_s 为补饲摄入量 [$\text{kg}(\text{DM}) \cdot \text{d}^{-1}$]。

基于所调研家庭牧场的基础数据, 整理 FBA 模型运行时所需的参数指标 (表 2)。其中, 草地、家畜和生产经营等方面的数据来源于牧户的入户调查数据和文献数据; 气象数据从正蓝旗气象部门获得, 主要包括逐月的气温、降水 (图 1)。

1.4.2 补饲方案的优化分析

根据实地调研结果, 筛选出饲喂家畜的精饲料 (颗粒饲料、青贮玉米) 与粗饲料 (秸秆、干草), 两类饲料代谢能按照测定结果分别标注其代谢值。基于

模型模拟的能量供需值, 计算出全年不同载畜率下的月平均能量亏缺值, 从家畜最适补饲量的角度出发, 利用规划求解算法分别对低载畜率 (L1)、中载畜率 (L2)、高载畜率 (L3) 的典型家庭牧场能量亏缺月建立单纯线性规划公式。所建立公式为:

$$\begin{cases} Y = 10.4x_i + 6.6x_j \\ x_i + x_j \leq 1.8 \\ 3.4x_j \leq 1.5 \end{cases} \quad (5)$$

设目标函数 Y 为月平均能量值, 精饲料的决策变量为 x_i , 粗饲料为 x_j , x_i 、 x_j 分别表示 L1、L2、L3 载畜率下的饲喂值。求解过程中设定依据家畜采食量限制因素和优先采食问题进行条件约束。其中, 根据家畜日消耗量标准以及能量的平衡与否, 设定精饲料日消费不得超过 1.5 元, 以及家畜日摄入量不

表 2 正蓝旗不同载畜率家庭牧场模型参数
Table 2 Parameters of household ranches with different stocking rates in Zhenglan Banner

参数 Parameter	单位 Unit	低载畜率 Low stocking rate (L1)	中载畜率 Medium stocking rate (L2)	高载畜率 High stocking rate (L3)
草地面积 Grassland area	hm^2	205.86	160.97	239.30
后备母羊数量 Reserve ewes number	heads	145	237	488.79
羔羊数量 Lamb number	heads	43	76	147
产羔率 Lambing rate	%	100	100	100
羔羊死亡率 Lamb mortality	%	100	95	85
销售时间 Timing of the sale	month	8	8	8
产羔时间 Lambing time	month	3	3	3
断奶月份 Weaning month	month	8	8	8
成羊利用年限 Production years as adult sheep	a	6	6	6
羔羊单价 Lamb price	$\text{¥} \cdot \text{kg}^{-1}$	24.5	25.2	24.5
成年母羊单价 Adult ewes price	$\text{¥} \cdot \text{kg}^{-1}$	23	23	23
羔羊初生重 Weight of lamb at birth	kg	1.9	1.8	1.8
断奶时羔羊体重 Lamb weight at weaning	kg	38	36	35
出售母羊体重 Ewe weight for sale	kg	56	55	53
精料价格 Price of concentrates	$\text{¥} \cdot \text{kg}^{-1}$	3.4	3.4	3.4
粗饲料价格 Price of coarse forage	$\text{¥} \cdot \text{kg}^{-1}$	1.7	1.7	1.7
精饲料补饲量 Concentrates supplement	$\text{kg} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	0.4	0.3	0.4
粗饲料补饲量 Coarse forage supplement	$\text{kg} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	1.0~1.5	0.9~1.6	0.9~1.8

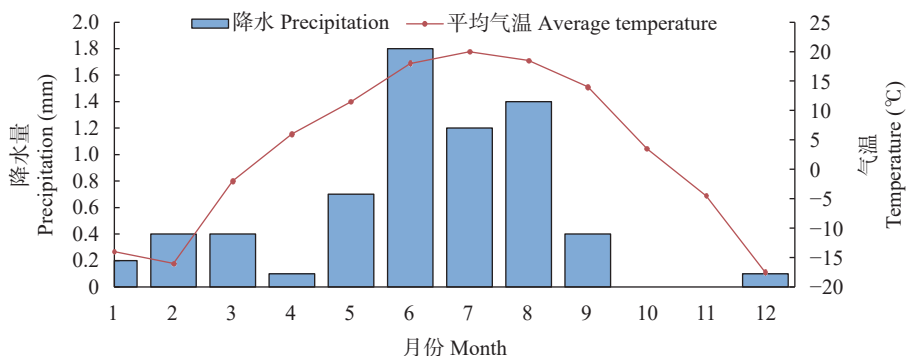


图 1 2021 年正蓝旗降雨和气温月变化

Fig. 1 Monthly changes of precipitation and temperature of Zhenglan Banner in 2021

得超过 1.8 kg, 以上限制条件均依据当地精饲料实际售卖价格以及 NY/T 635—2015 标准进行设定。

1.4.3 家庭牧场收益主成分分析

主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 是通过改变数据集的特征数量, 保留信息特征的同时简化其数据, 从而达到数据的可视化识别的一种多元统计分析方法。根据实地调研的基础信息, 计算并分别列出各牧户的相关生产经营数据。对其原始数据进行标准化处理, 再进行巴特利特球形度检验和 KMO 检验。

2 结果与分析

2.1 不同载畜率家庭牧场基本情况比较

表 3 为不同载畜率家庭牧场的基本信息对比。由表 3 可知, 不同载畜率牧场的草场总面积无显著差异, 整体呈 $L3>L1>L2$ 。母羊数量、羔羊数量、羊单位数量和羔羊出售数量均存在 $L3>L2>L1$ 的规律, 并且高载畜率牧场家畜数量均显著大于低载畜率和中载畜率牧场 ($P<0.05$)。购买饲料支出方面, 低载畜率和中载畜率牧场与高载畜率牧场呈现显著差异 ($P<0.05$), 其中, 高载畜率牧场比低载畜率牧场年饲料支出高 11.75 万元。补贴总收入表现为 $L1>L2>L3$ 。净收益指标表现为 $L3>L2>L1$, 其中, 高载畜率牧场的净收益最高, 是低载畜率牧场的 1.46 倍。从家畜经济效益角度, 低载畜牧场的单位家畜净收益为 $1075.82 \text{ 元} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, 显著高于中载畜率与高载畜率牧场 ($P<0.05$); 从草地经济效益角度, 高载畜率牧场的单位草地面积净收益最高, 达 $1403.74 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 显著高于低载畜率牧场 ($P<0.05$), 中载畜率牧场与高载畜率牧场之间无差异。

2.2 不同载畜率家庭牧场草畜能量平衡现状分析

利用草畜平衡模型对 3 类载畜率牧场的草畜能量平衡进行模拟分析, 从图 2 可看出, 3 类家庭牧场草地能量供给的趋势基本相同, 但草畜能量供需整体呈现不均衡的状态, 冬春季草地能量供应不足, 夏秋季草地满足能量供应且有富余。自 4 月份返青后, 牧草生长速率逐渐提高, 草地能量供应随之增加, 最高出现在 7—8 月。L1、L2 载畜率下, 10 月至翌年 5 月, 该阶段家畜实际摄入能量小于维持生长所需的能量; L3 载畜率下, 从 9 月家畜实际摄入的能量开始减少。L1、L2、L3 载畜率下, 均出现两个能量缺口, 全年能量缺口最大出现在 3 月份的产羔期, 家畜的能量需求呈急剧增加, 能量亏缺值最高可达 $10.61 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。L1、L2 载畜率下, 6—8 月草地能量供应大于需求, 其富余量平均可达 $1.87 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; 但在 L3 载畜率水平下, 仅 7—8 月能量供应存在盈余, 平均富余量仅为 $0.41 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 其对于草地的利用程度较大。

2.3 基于规划求解算法的最优经营方式

为了更好地均衡草地供给及家畜需求之间的关系, 经草畜平衡模型优化模拟后, 得到不同载畜率下家庭牧场的能量盈余与亏缺状况 (表 4)。L1 家庭牧场在 6—9 月, 能量日平均剩余量为 $1.71 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 10 月—翌年 5 月, 能量平均亏缺量为 $5.09 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。综合分析, 根据算法得到: 11—12 月干草的饲喂量为 $0.5 \sim 0.7 \text{ kg} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; 1 月份开始精饲料与干草合理搭配饲喂, 精饲料 $0.3 \sim 0.4 \text{ kg} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 相应干草饲喂量控制在 $0.4 \sim 0.9 \text{ kg} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。L2 家庭牧场 7—9 月能量日平均剩余量为 $1.36 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 10 月—翌年 6

表 3 正蓝旗不同载畜率家庭牧场基本状况

Table 3 Basic condition of household ranches with different stocking rates in Zhenglan Banner

项目 Item	单位 Unit	低载畜率 Low stocking rate (L1)	中载畜率 Medium stocking rate (L2)	高载畜率 High stocking rate (L3)
草场面积 Grassland area	hm^2	205.86±62.00a	160.97±112.03a	239.30±154.54a
母羊数量 Number of ewes	heads	144.82±46.49b	237.30±155.25b	488.79±300.71a
羔羊数量 Number of lambs	heads	43.41±13.66b	75.86±53.04b	146.81±89.10a
羔羊出售数量 Number of lambs sold	heads	42.99±13.68b	68.92±46.88b	133.02±82.58a
羊单位数量 Number of sheep units	SE	188.24±59.29b	313.17±208.16b	635.60±389.28a
购买饲料支出 Cost of supplementary	$\times 10^4 \text{ ¥} \cdot \text{farm}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$	6.28±3.66b	8.62±5.64b	18.03±6.73a
载畜率 Stocking rate	$\text{SE} \cdot \text{hm}^{-2}$	0.9±0.07c	2.0±0.22b	2.7±0.37a
补贴总收入 Subsidized gross income	$\times 10^4 \text{ ¥} \cdot \text{farm}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$	1.92±0.97a	1.13±0.77b	0.88±0.42b
净收益 Net income	$\times 10^4 \text{ ¥} \cdot \text{farm}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$	20.47±10.83b	21.28±13.99ab	29.94±15.74a
单位家畜净收益 Net income per sheep unit	$\text{¥} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$	1075.82±361.39a	574.66±222.38b	505.24±176.22b
每公顷草地净收益 Net income per hectare grassland	$\text{¥} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	987.99±373.04b	1157.92±476.89ab	1403.74±599.31a

同行不同小写字母表示不同载畜率在 $P<0.05$ 水平差异显著。Different lowercase letters in the same row mean significant differences in different stocking rate at $P<0.05$ level.

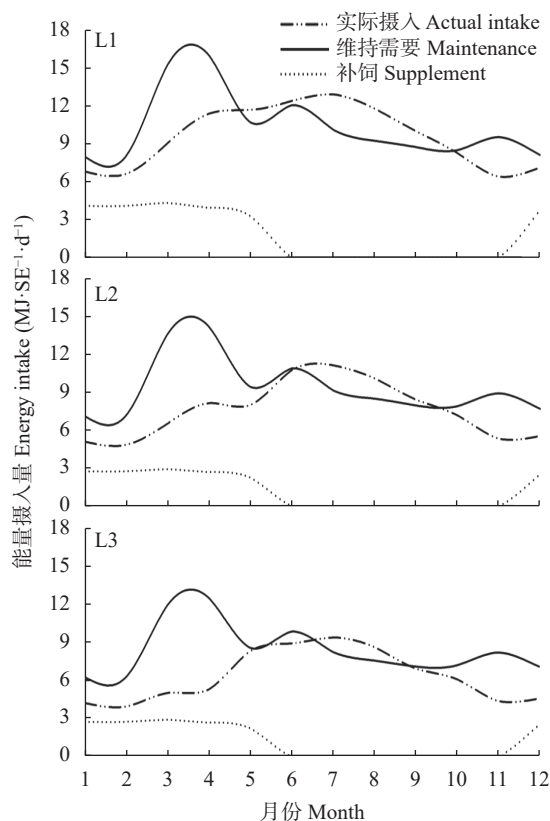


图 2 不同载畜率家庭牧场草畜能量平衡状况

Fig. 2 Forage-animal energy balance simulation of household ranches in different stocking rates

L1: 低载畜率; L2: 中载畜率; L3: 高载畜率。L1: low stocking rate; L2: medium stocking rate; L3: high stocking rate.

月能量平均亏缺量为 $4.67 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。其中 11 月饲喂干草量为 $0.5 \text{ kg} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 需在 1 月份增加补饲, 补饲量为 $0.2 \sim 0.4 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。L3 家庭牧场 7—8 月能量日平均剩余量为 $1.11 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 9 月—翌年 6 月能量平均亏缺量为 $4.19 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。L3 牧场 11 月能量亏缺明显升高, 精饲料饲喂量为 $0.3 \text{ kg} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 在 3—4 月产羔期干草饲喂量为 $0.7 \text{ kg} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 精饲料饲喂量为 $0.4 \text{ kg} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 11 月开始饲喂精料是为提高产羔率, 以保证家畜维持需要的能量和实际摄

入能量基本持平, 促进家畜更好地生长发育。

L1、L2 载畜率牧场从 10 月起草地能量供给减少, 并产生能量亏缺, L3 载畜率牧场家畜能量需求大幅增加, 能量亏缺出现在 9 月, 最大能量需求值出现在产羔期。综合分析 (表 5), 高载畜率能量缺失值最大; 根据算法优化后, L1、L2 和 L3 载畜率牧场 3 月的缺失值分别降至 $0.51 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $1.06 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $1.28 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。此外, 3 个载畜率下家庭牧场每年的补饲支出分别为 6.28 万元、10.27 万元和 18.03 万元。根据规划求解算法的饲喂比例, 优化家庭牧场补饲方案后, 各个牧场的补饲支出分别减少至 4.76 万元、6.30 万元和 16.90 万元。

2.4 影响不同家庭牧场经营效益的主成分分析

将上述不同载畜率牧场下的调研数据进行标准化后, 对数据进行 KMO 和 Bartlett 球形检验, 得到 KMO 值均大于阈值 0.5; Bartlett 球形检验的结果显著性小于 0.05。由表 6 可知, 根据初始特征值 ≥ 1 原则对 3 个载畜率的家庭牧场分别提取了 2 个主成分, 总体概括影响家庭牧场经营收益的因素。L1 牧场的累计贡献率为 86.56%。其中, 第 1 主成分初始特征值为 5.20, 方差贡献率为 64.95%, 第 2 个主成分初始特征值为 1.73, 方差贡献率为 21.61%; L2 牧场的累计贡献率为 89.07%。其中, 第 1 主成分初始特征值为 5.38, 方差贡献率为 67.28%, 第 2 主成分初始特征值为 1.74, 方差贡献率为 21.80%。L3 牧场的累计贡献率为 85.98%。其中, 第 1 主成分初始特征值为 5.54, 方差贡献率为 69.30%, 第 2 主成分初始特征值为 1.34, 方差贡献率为 16.69%。不同载畜率牧场主成分 1 为家畜相关指标, 该主成分载荷系数所对应的信息均为羔羊出售数量、羔羊数量、羊单位数、草地面积和总支出; 第 2 主成分中载荷高的成分为单位家畜净收益。共同度是对指标的解释能力, 共同度越大对指标的解释能力越强 (表 7)。

表 4 不同载畜率家庭牧场草畜能量平衡状况

Table 4 Energy balance of forage and livestock of household ranches in different stocking rates

项目 Item	单位 Unit	低载畜率 Low stocking rate (L1)	中载畜率 Medium stocking rate (L2)	高载畜率 High stocking rate (L3)
能量平均剩余量 Average amount of energy remaining	$\text{MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	1.71	1.36	1.11
能量剩余时间 Time remaining in the energy		6—9月 June to September	7—9月 July to September	7—8月 July to August
能量平均亏缺量 Average energy deficit	$\text{MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	5.09	4.67	4.19
能量亏缺总量 Total energy deficit	$\text{MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	1236.87	1274.91	1269.57
能量亏缺时间 Energy deficit time		10月—翌年5月 October to May of the next year	10月—翌年6月 October to June of the next year	9月—翌年6月 September to June of the next year

表 5 不同载畜率家庭牧场饲喂优化结果对比
Table 5 Comparison of feeding optimization results of household ranches in different stocking rates

项目 Item	单位 Unit	低载畜率 Low stocking rate (L1)	中载畜率 Medium stocking rate (L2)	高载畜率 High stocking rate (L3)
产羔月份 Lambing month		3月 March	3月 March	3月 March
能量亏缺值 Energy deficit value	MJ·SE ⁻¹ ·d ⁻¹	10.61	10.10	19.84
优化后能量亏缺值 Energy deficit after optimization	MJ·SE ⁻¹ ·d ⁻¹	0.51	1.06	1.28
优化前补饲支出 Optimized pre-feeding expenditure	×10 ⁴ ¥·farm ⁻¹ ·a ⁻¹	6.28	10.27	18.03
调整后补饲支出 Adjusted supplementary feeding expenditure	×10 ⁴ ¥·farm ⁻¹ ·a ⁻¹	4.76	6.30	16.90

表 6 基于主成分分析影响家庭牧场经营的主要指标
Table 6 Principal components of affecting household ranches management based on principal component analysis

成分 Ingredient	低载畜率 Low stocking rate (L1)			中载畜率 Medium stocking rate (L2)			高载畜率 High stocking rate (L3)		
	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate (%)	累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate (%)	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate (%)	累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate (%)	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate (%)	累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate (%)
1	5.20	64.95	64.95	5.38	67.28	67.28	5.54	69.30	69.30
2	1.73	21.61	86.56	1.74	21.80	89.07	1.34	16.69	85.98
3	0.77	9.60	96.16	0.77	9.57	98.64	0.79	9.81	95.80
4	0.26	3.28	99.43	0.06	0.71	99.35	0.19	2.34	98.13
5	0.03	0.31	99.75	0.03	0.36	99.71	0.12	1.48	99.61
6	0.02	0.19	99.93	0.02	0.19	99.90	0.02	0.23	99.85
7	0.00	0.05	99.98	0.01	0.09	99.99	0.01	0.14	99.98
8	0.00	0.02	100.00	0.00	0.01	100.00	0.00	0.02	100.00

表 7 不同载畜率家庭牧场载荷系数表
Table 7 Load coefficient table of household ranches in different stocking rates

项目 Item	低载畜率 Low stocking rate (L1)			中载畜率 Medium stocking rate (L2)			高载畜率 High stocking rate (L3)		
	载荷系数 Load factor		共同度 Commonality	载荷系数 Load factor		共同度 Commonality	载荷系数 Load factor		共同度 Commonality
	成分1 Ingredient 1	成分2 Ingredient 2		成分1 Ingredient 1	成分2 Ingredient 2		成分1 Ingredient 1	成分2 Ingredient 2	
草地面积 Grassland area	0.98		0.94	0.99		0.99	0.98		0.96
羊单位数 Number of sheep units	0.98		0.96	0.99		0.99	0.99		0.98
羔羊数量 Number of lambs	0.99		0.97	0.99		0.99	0.99		0.99
羔羊出售数量 Number of lambs sold	0.99		0.98	0.99		0.99	0.98		0.97
总支出 Total cost	0.75		0.81	0.90		0.95	0.90		0.83
单位家畜净收益 Net income per sheep unit		0.80	0.75		0.93	0.87	-0.53	0.61	0.65

家庭牧场由多重要素组成,草场面积与家畜数量是其中的主要组成部分。草场面积决定了牧场所能提供的饲料资源量。足够的草场面积可以提供充足的饲料供应,使家畜能够获得充足的营养,保持健康的生长和繁殖。草场面积的充足还可以减少家畜之间的争夺食物的竞争,提高养殖效益。适量的家畜数量可以充分利用草场资源,提高养殖效益。另外,家畜生产性能的提高也意味着更多的出售

机会,可增加经济收入。在家庭牧场中,草场面积和家畜数量之间需要保持平衡。因此,草场面积和家畜数量在家庭牧场中都起到重要的作用,它们相互影响并共同决定着养殖的可持续发展和经济效益。

3 讨论

自 20 世纪 80 年代草原牧区“包畜到户”和“草地划分到户”政策实施以来,牧户的畜牧业养殖方式以

粗放的自然放牧为主,长期通过增加家畜数量来获取养殖效益最大化。但由于草地被采食、践踏的强度增加,优良草地植被种类减少,草地生产力严重下降,饲草料投入不断增加,致使草畜能量季节性不平衡问题日益突出。此外,由于不同区域家庭牧场的饲喂方法存在一定的差异,导致能量补充不科学,不合理现象普遍存在。相关研究表明,载畜率提高对饲草料支出随之增加的结果与本研究一致^[22-23]。近年来,随着科技和信息化的快速发展,虽然接收信息的渠道得到了极大的拓展,使牧民能够便捷地获取各类信息,但在养殖方面新知识和新技术的获取渠道相对有限,传统的养殖观念和思想意识并未转变。调研发现中高载畜率牧场中存在羯羊、老龄羊占比大的问题,产羔死亡率也随载畜率增大略有提高。本研究依托模拟模型,通过精准调节饲喂计划,在维持草畜能量平衡和明确家庭牧场生产经营目标方面成效显著,具有重要的现实意义。

利用草畜平衡模型模拟家庭牧场生产经营状况,既可找到最优管理方式,也缩减了各项成本的输出。本研究中,在 3 类载畜率水平下,草地能量供给在冬春季供应不足,夏秋季草地满足能量供应且有盈余,这一研究结论与特力格尔等学者^[24-27]结论一致。在产羔期能量缺失程度最高,这与哈洁^[28]分析结果相同。这一现象主要由于家畜进入妊娠期、产羔期和哺乳期,能量需求急剧上涨,加之气象因素的影响,从而产羔期为全年能量的最大亏空期,即使进行补饲能量仍然缺失较多。由于冬季气候寒冷,草地供应的饲草质量下降,家畜维持自身能量需求增加,加之放牧使家畜能量消耗进一步增加。冬季舍饲能够维持家畜体温的恒定,与放牧相比减少能量的流失,家畜拥有充足的能量越冬,优化家畜的生产性能同时提高家畜产羔率,促进幼畜正常生长,使得整个畜群稳定发展。既可以在保护生态环境的基础上实现全年草畜平衡,又可提高家畜生产性能,使草地资源得到充分高效利用。就补饲问题,牧民购买大量精饲料的成本投入增长,但其饲喂方法会对家畜的能量产生相应的影响。为减少成本与饲喂量,人工草地建设成为解决冬季牧草短缺的有效方式。有研究指出,通过建立人工草地,选择适合的品种种植,能够有效缓解家畜的能量不平衡问题^[25]。由于牧户对饲喂精饲料的认识有所欠缺,因此提高对饲料方面的认知与调整饲喂方法,及时补充牧草解决能量短缺问题,可节省更多成本支出。

本研究对影响家庭牧场经营规模的因素进行主

成分分析,结果显示,第 1 主成分均与家畜与草地相关。家畜数量反映家庭牧场规模的大小,同时总支出也会随数量增加而改变。但是由于天然草场相对有限,家畜数量增多,草场无精准的放牧管理模式,使得冬季牧草缺乏,草料矛盾日益明显。畜群养殖数量以及饲喂养殖方式等都会影响羔羊的产羔率,所以,家畜生产性能的提高对家庭牧场的经济效益有直接的影响。对此,需要科学合理地管理和配置,平衡生态与经济关系,使家庭牧场的经营规模达到最佳水平。

4 结论

1) 研究区高载畜率牧场年饲料支出比低载畜率牧场平均高 11.75 万元,尽管其牧场净收益显著高于低载畜率牧场,但其草地利用强度增加并同时降低了家畜个体生产性能。

2) 研究区全年草畜能量供需总体上呈不均衡的状态,冬春季节能量亏缺严重,最高为 $10.61 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。高载畜率牧场草地利用强度较大,仅在夏季牧草生长旺盛的 7—8 月,草地的能量供应能够满足家畜维持需要。

3) 根据不同载畜率水平家庭牧场草畜能量平衡现状,通过饲草料优化调整,使各类牧场能量亏缺现象得到有效缓解。优化后低、中、高载畜率牧场单位家畜的能量亏缺分别减少 $10.10 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $9.04 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $18.56 \text{ MJ} \cdot \text{SE}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,优化后家庭牧场补饲节支分别为 24%、39% 和 6%。

4) 草场面积和家畜数量是影响家庭牧场经营效益的重要因素,通过降低家畜数量和改变饲喂组合提升家畜个体生产性能,是合理均衡牧场草畜资源的关键。

参考文献 References

- [1] 白永飞,赵玉金,王杨,等.中国北方草地生态系统服务评估和功能区划助力生态安全屏障建设[J].中国科学院院刊,2020,35(6): 675–689
BAI Y F, ZHAO Y J, WANG Y, et al. Assessment of ecosystem services and ecological regionalization of grasslands support establishment of ecological security barriers in northern China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(6): 675–689
- [2] 庄长楠,袁英良,王笛,等.草原植被退化对畜牧业可持续发展的影响及改进措施[J].饲料博览,2023(3): 48–51, 67
ZHUANG C N, YUAN Y L, WANG D, et al. Impact of grassland vegetation degradation on sustainable development of animal husbandry and improvement measures[J]. Feed Review, 2023(3): 48–51, 67

- [3] 彭云峰, 常锦峰, 赵霞, 等. 中国草地生态系统固碳能力及其提升途径[J]. 中国科学基金, 2023, 37(4): 587–602, 1–3
PENG Y F, CHANG J F, ZHAO X, et al. Grassland carbon sink in China and its promotion strategies[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2023, 37(4): 587–602, 1–3
- [4] 李雪敏, 李同宁, 吴芝雨, 等. 多情景模拟下内蒙古草地生态系统服务价值时空演变[J]. 草业学报, 2023, 32(8): 14–27
LI X M, LI T N, WU Z Y, et al. Spatio-temporal evolution of grassland ecosystem service value in Inner Mongolia under multi scenario simulation[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2023, 32(8): 14–27
- [5] YOU C H, WANG Y B, TAN X R, et al. Inner Mongolia grasslands act as a weak regional carbon sink: a new estimation based on upscaling eddy covariance observations[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2023, 342: 109719
- [6] 马永林, 刘统海. 深化草地有偿承包责任制 促进畜牧业生产稳定发展[J]. 青海草业, 1998, 7(1): 33–35
MA Y L, LIU T H. Deepening the grassland paid contract responsibility system and promoting the stable development of animal husbandry production[J]. Qinghai Pratacuture, 1998, 7(1): 33–35
- [7] FRITZLER L D, STEFFENS T J, RHOADES M B, et al. Grazing patterns, diet quality, and performance of cow-calf pairs using continuous or rotational grazing in the Texas panhandle USA[J]. *Journal of Arid Environments*, 2023, 211: 104925
- [8] 何欣, 牛建明, 郭晓川, 等. 中国草原牧区制度管理研究进展[J]. 中国草地学报, 2013, 35(1): 102–109
HE X, NIU J M, GUO X C, et al. Research progress of institution and management in pastoral area in China[J]. Chinese Journal of Grassland, 2013, 35(1): 102–109
- [9] ZHANG B, ZHANG R H, LI Y, et al. Deploying photovoltaic arrays in degraded grasslands is a promising win-win strategy for promoting grassland restoration and resolving land use conflicts[J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 349: 119495
- [10] 李青丰, 刘天明. 草畜平衡管理——以时间机制调控的思路[J]. 中国草地, 2005, 27(1): 73–75
LI Q F, LIU T M. Feed-animal balance control: approach based on feed availability in critical period[J]. Grassland of China, 2005, 27(1): 73–75
- [11] 乔福云, 陈莹莹, 鄯堤港, 等. 西藏山南地区农牧交错带草畜供求关系[J]. 草业科学, 2021, 38(9): 1850–1859
QIAO F Y, CHEN Y Y, ZHI D G, et al. Relationship between forage supply and livestock demand in the farming-pastoral zone of the Tibetan Shannan region[J]. Pratacultural Science, 2021, 38(9): 1850–1859
- [12] 王德利, 王岭, 韩国栋. 草地精准放牧管理: 概念、理论、技术及范式[J]. 草业学报, 2022, 31(12): 191–199
WANG D L, WANG L, HAN G D. Precision grazing management of grassland: concept, theory, technology and paradigm[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2022, 31(12): 191–199
- [13] 宗鑫, 张钦鲁. 差异化的草畜平衡补偿研究——以若尔盖甘南黄河水源涵养区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(9): 88–97
ZONG X, ZHANG Q L. Differentiated compensation for grass-livestock balance: case of Ruogai-Gannan Yellow River water conservation area[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(9): 88–97
- [14] KEMP D R, HAN G D, HOU X Y, et al. Innovative grassland management systems for environmental and livelihood benefits[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(21): 8369–8374
- [15] 沈佩宇, 李青丰, 曲艳, 等. 锡林郭勒典型草地适宜始牧期的选择[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(6): 139–143
SHEN P Y, LI Q F, QU Y, et al. Selection of suitable grazing-beginning period for typical grassland in Xilingol[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, 35(6): 139–143
- [16] 乌尼图. 锡林郭勒草地资源变化信息遥感快速识别与驱动力分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021
WU N T. Remote sensing rapid identification and driving factors analysis of grassland resource change information in Xilingol[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2021
- [17] 李治国, 马乐, 韩国栋, 等. 基于 OMMLP 模型的锡林郭勒盟不同草地类型家庭牧场草畜平衡优化模拟研究[J]. 中国草地学报, 2021, 43(8): 66–73
LI Z G, MA L, HAN G D, et al. Study on optimization simulation of forage-livestock balance in household ranch of different grassland types in Xilin Gol League based on OMMLP model[J]. Chinese Journal of Grassland, 2021, 43(8): 66–73
- [18] 段庆伟. 家庭牧场草地模拟与生产管理决策研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2006
DUAN Q W. Study on grassland modeling and production management decision in household pasture[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2006
- [19] MASON J F, PIIRONEN P T. Interactions between global and grazing bifurcations in an impacting system[J]. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 2011, 21(1): 013113
- [20] 聂华月, 高吉喜. 退化草地杂草生态影响及蔓延机制研究进展[J]. 中国草地学报, 2022, 44(7): 101–113
NIE H Y, GAO J X. Research progress on the ecological impact and spreading mechanism of weeds on degraded grassland[J]. Chinese Journal of Grassland, 2022, 44(7): 101–113
- [21] 王鹤琪, 范高华, 黄迎新, 等. 中国北方草地生产力研究进展[J]. 生态科学, 2022, 41(5): 219–229
WANG H Q, FAN G H, HUANG Y X, et al. Advances in research on grassland productivity in Northern China[J]. Ecological Science, 2022, 41(5): 219–229
- [22] TARO T, RANDALL J, DAVID K. Steady-state Modelling for Better Understanding of Current Livestock Production Systems and for Exploring Optimal Short-term Strategies[M]. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 2011: 26–35
- [23] 哈洁, 李治国, 韩国栋. 基于家畜生产优化管理模型的家庭牧

- 场可持续发展研究[J]. 畜牧与饲料科学, 2021, 42(1): 83-90
- HA J, LI Z G, HAN G D. Study on sustainable development of family rangelands based on livestock production optimization management model[J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2021, 42(1): 83-90
- [24] 特力格尔. 内蒙古不同草原类型草畜平衡现状分析——以家庭牧场为例[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2021
- TE L G E. Analysis on the current situation of forage-livestock balance in different grassland types in Inner Mongolia — Take family ranching as an example[D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal University, 2021
- [25] 王瑞珍. 内蒙古草原牧区家庭牧场草畜合理配置研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017
- WANG R Z. Rational forage and livestock allocation of household ranch in Inner Mongolia pastoral area[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017
- [26] 陈晨, 韩国栋, 吕世杰, 等. 草畜平衡奖励对荒漠草原家庭牧场的影响[J]. 中国草地学报, 2023, 45(5): 115-124
- CHEN C, HAN G D, LYU S J, et al. Effects of forage-livestock balance subsidy awarding policy on family ranch in desert steppe[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2023, 45(5): 115-124
- [27] 李治国, 屈志强, 王静, 等. 基于 OMMLP 模型的浑善达克沙地家庭牧场草畜平衡模拟研究——以桑根达来镇为例[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2021, 42(6): 38-43
- LI Z G, QU Z Q, WANG J, et al. Forage-animal balance simulation of household ranch by OMMLP model in Hunshandake Sandy Land—The case of Sanggandalai Town[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2021, 42(6): 38-43
- [28] 哈洁. 不同载畜率家庭牧场可持续性模拟研究——以正蓝旗为例[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021
- HA J. Simulation of the sustainability of household ranch under different stocking rates: a case of Zhenglan Banner, Inner Mongolia[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021