

DOI: 10.20103/j.stxb.202402280415

汤昕,张福平,冯起,马晓薇.20 年来鄂尔多斯市草地产草量变化及草畜平衡.生态学报,2024,44(23):10887-10896.

Tang X, Zhang F P, Feng Q, Ma X W. Changes in grassland yield and grassland-livestock balance in Ordos City over the past 20 years. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(23): 10887-10896.

20 年来鄂尔多斯市草地产草量变化及草畜平衡

汤 昕¹, 张福平^{1,*}, 冯 起², 马晓薇¹

¹ 陕西师范大学地理科学与旅游学院, 西安 710119

² 中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000

摘要: 近年, 由于过度放牧等对草地的不合理利用, 使得草地生物量剧减, 导致牧草质量下降, 畜牧业减产等一系列问题, 严重影响了当地生态和经济的可持续发展。研究结合草畜平衡理论, 以鄂尔多斯市草地为研究对象, 基于修正的 CASA 模型反演草地生物量, 估算了草地产草量, 并结合实际载畜量数据, 利用草地载畜压力指数衡量了不同草地类型下的草畜平衡状况。结果表明: (1) 全市多年平均产草量为 648.8 kg/hm², 且逐年产草量呈波动上升趋势, 在空间上, 呈东高西低的分布格局; 在不同草地类型下, 温性草原、温性草甸草原的产草量大于温性荒漠草原和温性荒漠的产草量; (2) 全市草地长期处于超载状态且大部分地区载畜压力略有加剧。空间上东部温性草原、温性草甸草原载畜压力小于西部温性荒漠草原和温性荒漠; (3) 草地载畜压力变化主要受降水和人为放牧的影响, 干旱年份载畜压力较大。在 2011 年实行草原生态补助奖励机制后, 草地得到一定程度的恢复, 草地载畜压力变化较为稳定。

关键词: 鄂尔多斯; 产草量; 草地载畜压力; 草畜平衡

Changes in grassland yield and grassland-livestock balance in Ordos City over the past 20 years

TANG Xin¹, ZHANG Fuping^{1,*}, FENG Qi², MA Xiaowei¹

¹ School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China

² Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: In recent years, due to excessive grazing and other irrational utilization of grasslands, the biomass of grasslands has significantly decreased, leading to a series of problems such as decreased forage quality and reduced livestock production, which has seriously affected the sustainable development of the local ecology and economy. In this context, this study used the theory of grassland-livestock balance and takes Ordos grassland as the research object. Based on the modified CASA model, the vegetation NPP was inverted, and the forage yield in the grassland was estimated. Combined with actual livestock-carrying capacity data, the livestock-carrying pressure index was used to measure the grassland-livestock balance status of different grassland types. The results showed that: (1) The average annual forage yield in the Ordos region from 2000 to 2020 was 648.8 kg/hm², and the forage yield showed a fluctuating upward trend year by year. The forage yield in the east was higher than that in the west. Under different grassland types, the grass yield of warm steppe and warm meadow steppe was greater than that of warm desert steppe and warm desert. (2) The grasslands in Ordos City have been in an overloaded state for a long time, and the livestock-carrying pressure has slightly increased in most areas. In terms of space, the livestock-carrying pressure on warm steppe and warm meadow steppe in the eastern region was lower than that on warm desert steppe and warm desert in the western region. (3) The changes in livestock-carrying pressure were mainly influenced by precipitation and human grazing, and the livestock-carrying pressure was greater in dry years. After the implementation of

基金项目: 陕西师范大学“一带一路”专项科研项目(22YDYLZ011)

收稿日期: 2024-02-28; 网络出版日期: 2024-08-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhang_fuping@163.com

the grassland ecological subsidy and reward mechanism in 2011, the grassland has been restored to a certain extent, and the changes in livestock-carrying pressure on the grassland were relatively stable.

Key Words: Ordos; grass yield; livestock-carrying pressure; grass livestock balance

草地生态系统是全球陆地生态系统的重要组成部分,草地的可持续利用和健康状况与区域社会经济发展和生态安全密切相关^[1-3]。我国的草地主要分布在西北干旱半干旱地区,过去几十年,由于人们对草地的不合理利用,过度放牧、开垦耕地等原因使大片草地变成荒漠,草地荒漠化会造成生态环境的恶化,地上、地下生物量剧减,牧草质量下降,进而导致畜牧业减产、牧民生活贫困等后果,严重影响了当地生态和经济的可持续发展^[4-8]。因此,对草地生态系统的生产力和承载力进行合理评估有利于保障草地生态系统现阶段及未来发展的稳定性,增强草地生态功能,为当地优化管理畜牧生产提供科学依据。

草畜平衡是指以核定草地产草量为基础,在放牧时维持合理的载畜量,实现草与畜之间的动态平衡^[9-10]。对于草地产草量的测算,最常用的方法主要是实地采样或依据遥感数据建立产草量估算模型^[11-14]。实地采样可准确获得草地产草量数据,但需耗费大量人力、物力,不适于大区域尺度的产草量估算,而遥感评估法以其数据获取速度快、范围广、时序长而得到广泛应用,如曹正奇^[15]通过 MODIS 遥感数据与草地生物量实测数据,建立锡林郭勒盟 NDVI 与草地产草量数据的反演模型,得到全盟 2000—2017 年的草地产草量时空分布;祝萍等^[16]利用植被净初级生产力(NPP)与草地生物量的相关关系分析了 2000—2019 年我国农牧交错带重点生态功能区的草地产草量的时空变化。其中,利用修正的 CASA 模型反演植被生物量,能充分考虑当地地理环境条件和不同植被类型下不同的光能利用率,并准确得到草地产草量的大尺度动态变化^[17-18]。而草地载畜量也是衡量草地是否合理利用的重要依据,过高或过低都会影响草地生态系统的健康发展,保证合理载畜量有利于维持草地的可持续生产,尤其是在我国干旱、半干旱气候区,其草地生态环境脆弱,植被退化后难以恢复,科学地以草定畜有利于草地资源的永续利用^[19]。因此,合理估算不同草地类型的草地产草量并确定理论载畜量及其两者之间的平衡关系对我国草地生态系统的可持续发展具有重要意义。

鄂尔多斯市地处草原向荒漠的过渡地带,气候条件恶劣,生态环境较为脆弱,生态系统整体状态不稳定。与此同时,人口急剧增长、经济快速发展,畜牧业在各项经济产值中的占比逐渐提高,人类不合理的生产活动致使地表覆被发生变化,导致鄂尔多斯市草地出现退化、沙化,草地生态健康状况日益恶化^[20]。鄂尔多斯市作为我国北方重要的生态安全屏障,同时又是重要的农牧业生产基地,实现草畜平衡、维持草地生态系统的健康持续发展对保障全市乃至全国的社会生态稳定至关重要。

2000 年,鄂尔多斯市在全国率先推行草畜平衡制度,通过转变生产方式改善草原生态,进而影响全市农牧业经济的可持续发展。目前,不少学者在鄂尔多斯市草地生态系统领域的研究大多停留在对植被生产力的评估方面,未能体现当今草地资源供需的矛盾^[21-23],或仅探究短时序的草地载畜压力,难以突出草地承载力的长期变化^[24-25]。为深入了解鄂尔多斯市实行草畜平衡政策以来草地生态系统的发展变化特征并根据不同草地类型下的产草量确定合理载畜量,进而根据草地载畜压力对草地可利用程度进行划分,故本文以内蒙古自治区鄂尔多斯市为研究区,通过构建 NPP 与地上生物量之间的模型关系,估算研究范围内草地的产草量,确定草地的理论载畜量,并结合实际载畜量数据,分析不同草地类型的草畜平衡状况,为草原管理和畜牧业发展提供参考。

1 研究区概况

鄂尔多斯市位于内蒙古自治区西南部(37°35'24"—40°51'40"N, 106°42'40"—111°27'20"E),总面积 866.67×10⁴ km²,东北西三面被黄河环绕,南与黄土高原相连,内有北部黄河冲积平原区、东部丘陵沟壑区、中南部库布其沙漠、毛乌素沙区和西部坡状高原区。属温带半干旱大陆性季风气候,风大沙多、四季分明、无霜期短、蒸发量大、日照丰富,降水不均这里是这里的主要气候特点。植被以沙生植被、荒漠植被为主,从东南至西北

划为干草原、荒漠化草原、草原化荒漠 3 个亚带。植物盖度 40%—75%,以多年生草本、垫状灌木、半灌木、灌木为主。土壤主要以灰钙土、棕钙土、栗钙土等为主。

近年来,鄂尔多斯市草原畜牧业发展势头强劲,畜牧业在全市农村经济中占有重要地位,是农牧民增收的主要途径之一。2020 年牧业总产值达 85 亿元,同比增长 9.9%,牧业产值占农林牧渔业总产值比重由 2000 年的 8%提升到 37%,增幅 29 个百分点。截至 2020 年末,全市饲养牲畜 8.65×10^6 头,其中羊占比达 96.7%。与 2000 年相比,2020 年年末牲畜出栏率达 70%,增幅 20 个百分点,农副产品产量也逐年增加,如羊绒产量由 8233t 增加到 17450t,因其优越的质量已成为鄂尔多斯市的地理标志产品。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

NDVI 数据:采用 NASA 官网(<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/>)发布的 MOD13A2 数据集,时间分辨率为 16d,空间分辨率为 1km,时间跨度为 2000—2020 年。利用 MODIS 重投影工具(MRT)对下载的 NDVI 数据进行拼接、裁剪并定义为 Albers 投影,采用最大值合成法得到每月的 NDVI 数据。

气象数据:采用鄂尔多斯市及其周边 42 个气象站点的气温、降水、日照时数、太阳辐射总量、平均风速和相对湿度等数据。数据源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)下载,并利用 ANUSPLIN 插值法对其进行空间插值得到与 NDVI 数据像元大小一致、投影相同的气象栅格数据。

DEM 数据:来自中国科学院资源环境中心(<https://www.resdc.cn/>),空间分辨率为 1km。利用 ArcGIS 对其进行裁剪、重投影等工作,使其与 NDVI 数据的空间信息一致,最后得到研究区范围的 DEM 数据。

植被数据:运用中国 1:100 万植被类型图(2000 年版)—内蒙古自治区部分,根据中国植物群落的分类方法,在 ArcGIS 中转换为 Albers 投影,分类得到鄂尔多斯市的草地类型分布图(图 1)。

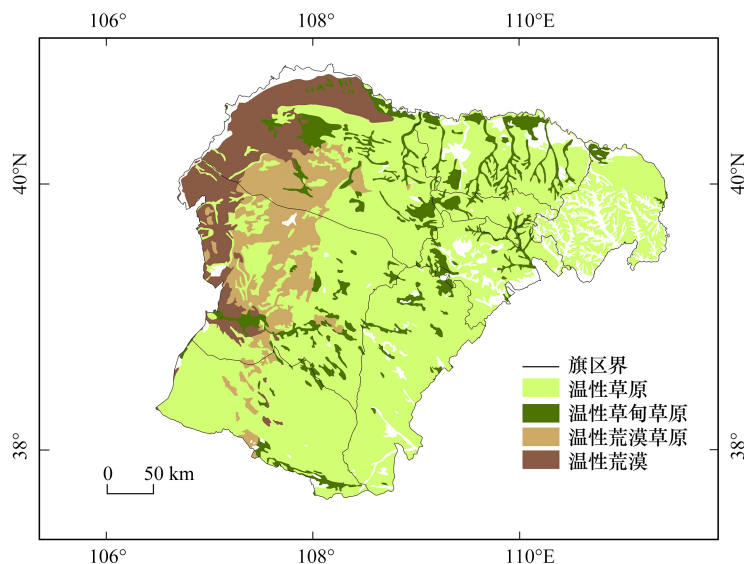


图 1 鄂尔多斯市草地类型分布图

Fig.1 Distribution map of grassland types in Ordos

2.2 研究方法

(1) 草地 NPP 的估算

2000—2020 年的草地产草量通过植被净初级生产力(NPP)计算,草地植被 NPP 的计算采用朱文泉等^[26]改进的光能利用率模型计算:

$$NPP(x, t) = APAR(x, t) \times \varepsilon(x, t) \quad (1)$$

式中, $NPP(x, t)$ 表示像元 x 处在 t 月份的植被净初级生产力; $APAR(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月份吸收的光合有效辐射 (MJ/m^2); $\varepsilon(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月份的实际光利用率 (gC/MJ)。

植被吸收的光合有效辐射 ($APAR$) 取决于太阳总辐射和植物本身的特征, 其计算公式是:

$$APAR(x, t) = SOL(x, t) \times FPAR(x, t) \times 0.5 \quad (2)$$

式中, $SOL(x, t)$ 为像元 x 在 t 月份的全日照总辐射量 (MJ/m^2); $FPAR(x, t)$ 为植被对入射光合有效辐射 (PAR) 的吸收量; 常数 0.5 为植被所能利用的太阳有效辐射 (波长范围为 $0.4-0.7\mu m$) 占太阳总辐射的比例。

光能转化率 (ε) 主要受温度和水分的影 响, 其计算公式是:

$$\varepsilon(x, t) = T_{\varepsilon 1}(x, t) \times T_{\varepsilon 2}(x, t) \times W_{\varepsilon}(x, t) \times \varepsilon_{\max} \quad (3)$$

式中, 其中 $T_{\varepsilon 1}(x, t)$ 和 $T_{\varepsilon 2}(x, t)$ 表示低温或高温对光利用率的胁迫作用; W_{ε} 为水分胁迫影响系数, 反映水分条件的影响; $\varepsilon_{\max}$ 是理想条件下的最大光利用率, 可根据不同的植被类型设置不同的常数。

(2) 产草量的计算

单位面积产草量可通过草地 NPP 推算得到^[27]:

$$Y_n = \frac{NPP}{t(1+r)} \quad (4)$$

式中, Y_n 为单位面积天然草地产草量 (kg/hm^2); r 为草地地下部分和地上部分生物量比例系数, 不同类型 n 值参考朴世龙等^[28], 即温性草甸草原类为 5.26; 温性草原类为 4.25; 温性荒漠草原类、温性荒漠类为 7.89; t 是生物量转换为生产力的系数, 取值 0.45。

(3) 草地载畜压力分析

为了分析鄂尔多斯市草地的草畜平衡状态, 本文采用草地载畜压力指数进行分析, 即通过现实载畜量 (C_s) 和理论载畜量 (C_l) 之比得到 2000—2020 年草地载畜压力指数 (I_p):

$$I_p = \frac{C_s}{C_l} \quad (5)$$

式中, I_p 为草地载畜压力指数; C_s 为草地现实载畜量; C_l 为草地理论载畜量。如果 $I_p = 1$ 则表明草地载畜量适宜; 如果 $I_p > 1$ 表明草地超载; 如果 $I_p < 1$ 则表明草地尚有载畜潜力。根据草原状态, 将载畜压力小于等于 0.8 定义为载畜不足, (0.8, 1.2] 定义为载畜平衡, (1.2, 2] 为轻度超载, (2, 5] 为中度超载, (5, 8] 为重度超载, 8 以上为极重度超载。

其中, 现实载畜量的计算公式如下:

$$C_s = \frac{C_n \times (1 + C_h) \times G_t}{Ar \times 365} \quad (6)$$

式中, C_s 为单位面积草地实际承载的羊单位数量 (羊单位/ hm^2); C_n 为年末家畜存栏数, 按标准羊单位计算; C_h 为家畜出栏率, 其数据来源于内蒙古自治区统计局提供的统计年鉴资料; Ar 为草地面积 (hm^2), 根据 1:100 万中国草地资源图确定。

理论载畜量是指在一定放牧时间内, 单位草原面积上, 保证草原可持续生产以及牲畜正常生长繁育需要所能承载的标准羊单位数^[29]。本文根据草地产草量估算草地理论载畜量, 其计算公式为:

$$C_l = \frac{Y_n \times C_o \times U_t \times H_a}{S_f \times G_t} \quad (7)$$

式中, C_l 为单位面积草地适宜承载羊单位数; C_o 是草地可利用率; U_t 是牧草利用率; H_a 为草地可食牧草比率, 皆依据草地类型确定; S_f 是一个羊单位的日食量; G_t 是草地放牧时间, 按全年放牧 365d 计算。

3 结果与分析

3.1 模型验证

通过在研究区随机抽样,将 CASA 模型反演的数据与 MOD17A3 产品进行拟合,以验证本文估算的 NPP 结果。结果如图 2 所示,相关系数 R^2 为 0.8873,表明两者之间的拟合程度较好。同时,基于平均绝对百分比误差 (MAEP) 和均方根误差 (RMSE) 对数据的精度进行统计学验证,结果显示 MAEP 为 0.1586, RMSE 为 38.54,表明数据具有较好的准确性。为了进一步验证鄂尔多斯市植被 NPP 数据的可靠性,将本文的模拟值与前人研究进行对比(表 1),由表可见本文研究值较于以往研究相差不大,本研究具有较好可信度。

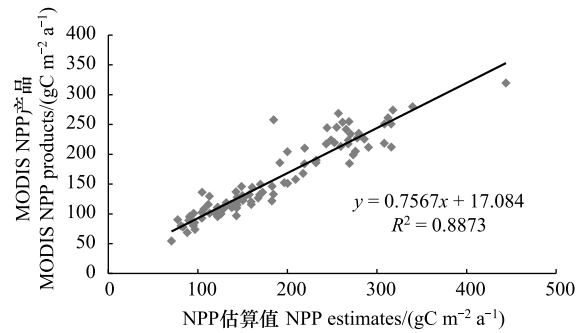


图 2 模拟值与 MODIS 产品对比

Fig.2 Comparison between simulated values and MODIS products

MODIS NPP; MOD17A3 的 NPP(植被净初级生产力)数据值

表 1 鄂尔多斯草地年均 NPP 与文献值比较/(gC m⁻² a⁻¹)

Table 1 Comparison of annual NPP and literature values in Ordos Grassland

草地植被类型 Grassland vegetation types	模拟平均值 Simulated	文献中实测及模拟值 Values		
		孔祥意等 ^[21] Kong et al.	刘亚红等 ^[30] Liu et al.	黄璐等 ^[22] Huang et al.
温性草原 Warm steppe	179	188 左右	—	100—200
温性草甸草原 Warm meadow	177	100—200	—	—
温性荒漠草原 Warm desert steppe	140	30—60	—	—
温性荒漠 Warm desert	78	—	—	0—100
草地 Grassland	164	100—200	131.67	100—200

3.2 草地产草量的时空变化

2000—2020 年鄂尔多斯市草地产草量的空间分布具有明显的空间异质性,呈现出东高西低的空间分布格局且东北部草地产草量显著高于其他地区。准格尔旗、伊金霍洛旗等东部旗区产草量较高,草地类型多为温性草原和温性草甸草原,植被覆盖率高,平均产草量达 692kg/hm²;杭锦旗、鄂托克旗等西部旗区的产草量较低,该地区广泛分布温性荒漠草原和温性荒漠,植被稀疏,产草量最小(图 3)。不同草地植被类型下的产草量由高到低分别是温性草原、温性草甸草原、温性荒漠草原和温性荒漠。其中,温性草原类草地面积最大,占草地总面积的 69.5%,总产草量达 42.2 万 t。从时间变化上看,鄂尔多斯市多年平均产草量为 648.8kg/hm²,20 年间全市产草量呈波动上升趋势,产草量低值出现在 2005、2011 和 2015 年。不同草地类型的产草量也呈现出上升趋势,其中温性荒漠类草地产草量增幅最小(图 4)。

3.3 草地载畜压力的变化

3.3.1 草地载畜量的变化

2000—2020 年鄂尔多斯市草食家畜饲养量由 396 万羊单位增加到 951 万羊单位,年均增长率为 4%,且东部各旗区的家畜饲养量总体要小于西部,其中达拉特旗的年均家畜饲养量明显高于鄂尔多斯市其他旗区,达 180 多万羊单位,且年均增幅最大,从 2000 年的 59 万羊单位增加到 2020 年的 215 万羊单位,伊金霍洛旗年均家畜饲养量较少,只有 47 万羊单位,且数量增长幅度最小。杭锦旗、乌审旗、鄂托克旗、鄂托克前旗为鄂尔多斯市四大牧业旗,2020 年年末家畜存栏量占全市总存栏量的 63%,牧业产值达全市牧业总产值的 52%,其家畜饲养量的年均增长率分别为 3.77%、3.84%、5.02%、4.04%(表 2)。

2000—2020 年鄂尔多斯市草地的平均实际载畜量为 1.48 羊单位/hm²,而平均理论载畜量为 0.49 羊单位/hm²,20 年来其实际载畜量和理论载畜量都呈增加趋势,但实际载畜量的增幅大于理论载畜量。2020 年,

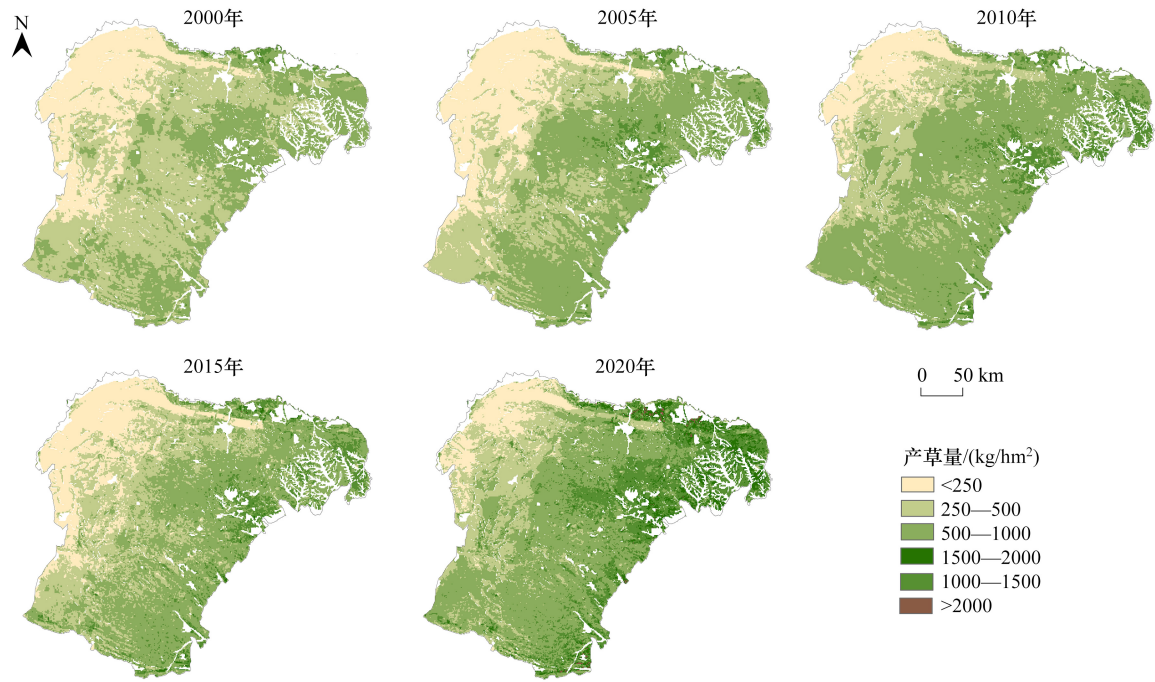


图3 2000—2020年鄂尔多斯草地产草量空间分布图/(kg/hm²)

Fig.3 Spatial distribution map of forage yield in Ordos from 2000 to 2020

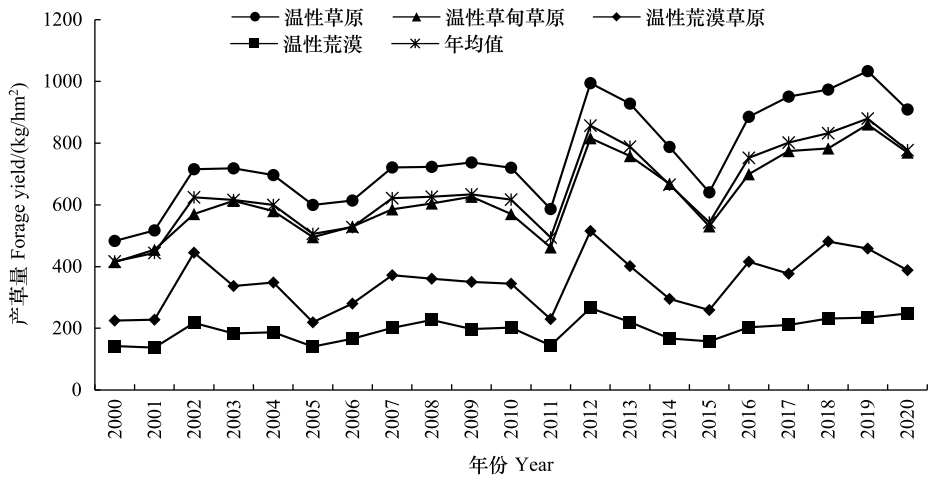


图4 2000—2020年鄂尔多斯各草地类型产草量变化图

Fig.4 Changes in forage yield of various grassland Types in Ordos from 2000 to 2020

杭锦旗、乌审旗、鄂托克旗、鄂托克前旗四大牧业旗的理论载畜量分别为 65 万羊单位、78 万羊单位、88 万羊单位、67 万羊单位,其数值远低于各旗实际家畜饲养量,可食牧草供给量无法满足过多家畜需求,草地资源供需矛盾仍较突出。从鄂尔多斯市不同草地类型的理论载畜量来看,温性草原能承载更多的家畜,平均载畜量为 0.58 羊单位/hm²,最大值出现在 2012 年,为 0.76 羊单位/hm²,温性荒漠载畜量最小,平均载畜量为 0.10 羊单位/hm²,草地载畜量控制在 5.8 万羊单位—11.5 万羊单位为宜(表 3)。

3.3.2 草地载畜压力的时空变化

鄂尔多斯市草地载畜压力在空间上呈西高东低的分布格局,东部地区的载畜压力指数较低,伊金霍洛旗年均草地载畜压力指数最低,属于轻度超载;西部地区的载畜压力指数较高,杭锦旗的年均草地载畜压力指数

最高,属于极重度超载状态(图 5)。全市草地多年平均载畜压力指数(I_p)达 3.07,表明该地区长期处于中度超载状态。且 20 年来草地载畜压力呈增加趋势的地区占比高达 72%,其中轻度增加地区涵盖了全市草地 58%的面积区域,主要分布在鄂尔多斯市中部和南部,中、重度增加地区只占 14%,主要分布在西北部的杭锦旗;载畜压力呈减少趋势的地区仅占比 28%,主要表现为轻度减少,大部分分布在东部地区。由此可见,2000—2020 年,鄂尔多斯市草地载畜压力在大部分地区呈现增加的状态,并且中、重度增加区域与温性荒漠草原、温性荒漠草地类型分布范围一致。在未来短时间内,鄂尔多斯市 56%面积的草地载畜压力呈好转趋势,其主要分布在中西部,东南部乌审旗、鄂托克前旗的草地载畜压力持续增加明显,占总草地面积的 32%(图 6)。

表 2 2000—2020 年鄂尔多斯各旗区家畜饲养量的年度变化/万羊单位
Table 2 Changes in livestock rearing number in various counties of Ordos from 2000 to 2020

年份 Year	鄂尔多斯市	东胜区和 康巴什区	达拉特旗	准格 尔旗	鄂托克 前旗	鄂托 克旗	杭锦旗	乌审旗	伊金 霍洛旗
2000	396	6	59	26	63	66	70	63	42
2005	778	20	202	52	100	95	114	130	63
2010	778	9	217	49	79	116	125	139	44
2015	738	8	200	40	93	102	126	131	37
2020	951	17	215	61	138	176	147	135	60

表 3 2000—2020 年鄂尔多斯各草地类型实际载畜量和理论载畜量变化/(羊单位/hm²)
Table 3 Changes in actual and theoretical livestock-carrying capacity of various grassland types in Ordos from 2000 to 2020

年份 Year	理论载畜量 Theoretical livestock-carrying capacity				实际载畜量 Actual livestock-carrying capacity	
	温性草原 Warm steppe	温性草甸草原 Warm meadow steppe	温性荒漠草原 Warm desert steppe	温性荒漠 Warm desert	鄂尔多斯市	鄂尔多斯市
2000	0.37	0.35	0.15	0.08	0.31	0.74
2005	0.46	0.41	0.15	0.08	0.38	1.52
2010	0.55	0.48	0.24	0.11	0.47	1.55
2015	0.49	0.44	0.18	0.08	0.41	1.55
2020	0.69	0.64	0.27	0.13	0.59	2.02

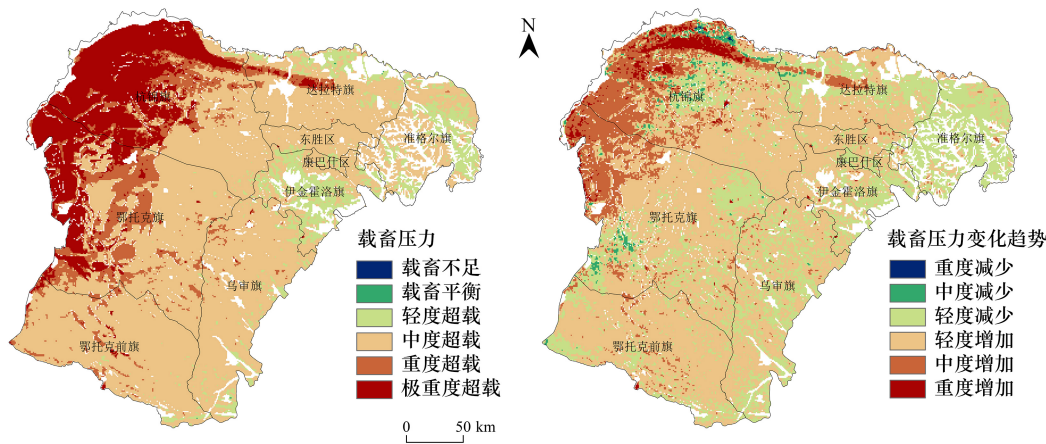


图 5 2000—2020 年鄂尔多斯市草地载畜压力指数及变化图
Fig.5 The spatial distribution and change of livestock-carrying pressure in Ordos Grassland from 2000 to 2020

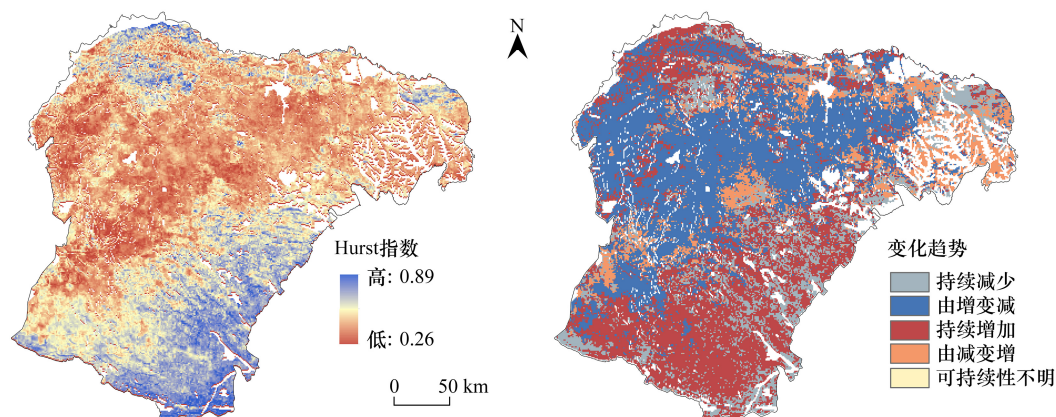


图6 草地载畜压力 Hurst 指数分布与未来趋势变化图

Fig.6 The spatial distribution and future change trend of Hurst index of livestock-carrying pressure

4 讨论

本研究基于优化的 CASA 模型反演植被 NPP,并结合地上地下生物量估算牧草产量,能够获得详细的空间格局和长时序的年际动态变化。目前,该模型在全国范围内被广泛应用于 NPP 的动态监测中,在干旱、半干旱地区的适用性已得到杨勇^[18]、黄露^[22]、任志远^[31]等学者的验证。结合图 2 的产品数据的验证和表 1 的前人研究的结果,表明该模型及结果适用于鄂尔多斯地区。

鄂尔多斯市天然草地位于我国干旱半干旱地区,由于该地区草原生态系统主要受降水、温度等气候性因素的驱动,其草地生产力的变化具有高度的不可预测性^[9-10]。2000—2020 年,全市草地产草量总体呈现增加趋势,年际增长速率为 $16.8\text{kg}/\text{hm}^2$,主要原因可能是西北地区气候的暖湿化,使得草地生产力增强^[32],其中,2003—2005 年、2010—2011 年和 2013—2015 年三个时间段内草地产草量都出现短暂减少,结合气象数据得到,在这三个时间段内年降水量明显减少,表明降水为研究区内草地产草量变化的主要驱动因子,与草地生产力呈显著正相关,降水减少导致土壤水分减少,水分利用效率降低,进而导致植被叶片衰老、植物种子死亡,使草地生产力下降^[33-35]。近年来,不少学者对未来西北地区是否持续“暖湿化”进行了大量评估,研究表明未来降水、气温会持续上升,也会进一步改善西北地区的植被生长条件,提高草地生产力,增强草地承载力^[36-37]。近 20 年来,不同草地植被类型下的草地产草量也呈现不同程度的增加趋势,温性草原草地生产力最高,年均增长达 $20.3\text{kg}/\text{hm}^2$,鄂尔多斯市东部温性草原温度适宜,降水充沛,适合植被生长,NPP 较高;温性荒漠草原和荒漠气候干旱,地上、地下生物量非常少,多以旱生灌木为主,且历年的放牧对其破坏较为严重,草地生产力最低,产草量变化幅度也最小。为保证草地资源的可持续利用,以鄂尔多斯市草地生产力为基础估算草地的理论载畜量,20 年间全市草地的理论载畜量由 0.31 羊单位/ hm^2 增加到了 0.59 羊单位/ hm^2 ,然而,其实际载畜量的年均增速高于理论载畜量,并且主要牧业旗所在的西部温性荒漠草原与温性荒漠地区的平均理论载畜量仅有 0.24 羊单位/ hm^2 与 0.1 羊单位/ hm^2 ,这就会造成草地资源供需不平衡的状况,无法缓解草地载畜压力,为此,必须从草、畜两方面入手,依靠多种措施促进草地的草畜平衡。

鄂尔多斯市从 2000 年开始在内蒙古自治区乃至全国率先开始推行禁牧、休牧和草畜平衡政策,2002 年开始先后组织了退牧还草等一系列草原生态重点工程,2011 年开始实行草原生态保护补助奖励机制政策,力在促进鄂尔多斯市的草地生态系统修复^[38]。20 年来,东部各旗区草地载畜压力逐渐减轻,载畜压力指数变化趋于稳定,一方面主要受气候要素的影响,降水增多,气温上升使草地产草量增加,降低了草地的载畜压力;另一方面也受草畜平衡政策的影响,逐步转变了农牧民的传统思想观念和畜牧业生产经营方式,增强了种草、贮草、减畜及设施维护、管理和保护草原的自觉性^[39]。但全市草地的平均载畜压力仍处于轻度增长状态,且

温性荒漠草原和温性荒漠地区的超载状况格外突出。虽然大力实行草地恢复措施,但家畜饲养量的逐年增加仍是载畜压力较大的主要原因,同时牲畜结构较为失衡,羊在牲畜结构中占比最大,在放牧过程中往往过度采食某一类草地植物,容易降低草地生态系统中的物种多样性,最终草地退化并失去生态功能^[40]。从未来短期变化趋势看,乌审旗、鄂托克前旗等东南部草地的载畜压力趋于增大,表明未来要加强草地牧场管理,并且该区域地处毛乌素沙漠腹地,生态脆弱,治沙防沙、恢复草地工程长久且艰难,应完善惠民惠牧政策,提高生态工程效益。中西部草地载畜压力呈下降趋势,这可能是由于温性荒漠草原与温性荒漠地区长期实行围栏禁牧政策,提高了草地生产力。然而有研究表明,实行围栏禁牧会增加荒漠草原的植被盖度和生物量,但会降低物种多样性^[41],在草地生态系统中,以草兴畜,以畜养草,二者缺一不可,从草地的长期发展来看,因时因地设置围栏,适当放牧更有利于提高草地生产力。

因此,在进行草地生态系统恢复过程中,要结合各旗区草地载畜压力程度及不同草地类型特征进行合理规划,对处于温性草原类草地且载畜压力呈轻度减少的准格尔旗与载畜压力轻度增长的伊金霍洛旗、东胜区、康巴什区和达拉特旗,其重点是保护现有的天然草地,在保证现有载畜稳定的情况下进行退化草地的修复,增加草地产草量。并且作为半农半牧旗区,要加大力度推行草田轮作和“三元种植结构”,提高耕地的利用力和饲草料的产量^[42];四大牧业旗载畜压力指数较高,为促进草畜平衡,要在保证牧民基本收入的前提下进行减畜,优化畜种质量与结构,合理制定补助标准,弥补牧民舍饲圈养所支出的成本并发展特色畜牧业,提升畜牧业的经济效益,减轻农牧民与国家的经济压力。同时,坚持“以水定绿、以草定畜”的思想综合治理。干旱、半干旱地区草地生态系统可持续发展的主要限制性因素是水资源,人类活动、牧草生长都需要大量水资源,然而早期过度开垦草原导致水土流失严重,因而科学评价水资源与饲草资源的可持续利用量对牧区发展极为重要。

5 结论

(1) 鄂尔多斯市草地载畜压力总体呈东低西高的格局。东部温性草原、温性草甸草原草地载畜压力指数小于西部温性荒漠草原和温性荒漠。

(2) 近 20 年来,全市草地载畜压力呈轻度增加趋势,东部各旗区载畜压力有所缓解,西部各旗区载畜压力仍在增加,家畜饲养量的剧增是载畜压力加剧的主要原因。

(3) 鄂尔多斯市草地载畜压力变化主要受降水和人为放牧的影响,气候暖湿化使草地承载力增加,且在 2011 年实行草原生态补助奖励机制后,草地得到一定程度的恢复,草地载畜压力变化较为稳定。但草畜平衡的实现不是简单的增草减畜,需综合考虑经济与生态效益,结合各旗区草地载畜压力程度及不同草地类型特征进行合理规划。

参考文献 (References):

- [1] Liu Y Y, Wang Q, Zhang Z Y, Tong L J, Wang Z Q, Li J L. Grassland dynamics in responses to climate variation and human activities in China from 2000 to 2013. *The Science of the Total Environment*, 2019, 690: 27-39.
- [2] Kou Y W, Yuan Q Z, Dong X S, Li S J, Deng W, Ren P. Dynamic response and adaptation of grassland ecosystems in the Three-River Headwaters region under changing environment: a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2023, 20(5): 4220-4220.
- [3] 李中锋, 高婕, 钟毅. 西藏草地生态安全评价研究——基于生态系统服务价值改进的生态足迹模型. *干旱区资源与环境*, 2023, 37(4): 9-19.
- [4] 白永飞, 赵玉金, 王扬, 周楷玲. 中国北方草地生态系统服务评估和功能分区助力生态安全屏障建设. *中国科学院院刊*, 2020, 35(6): 675-689.
- [5] 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.
- [6] Umuhoza J, Jiapaer G, Yin H M, Mind'je R, Gasirabo A, Nzabarinda V, Umwali E D. The analysis of grassland carrying capacity and its impact factors in typical mountain areas in Central Asia—A case of Kyrgyzstan and Tajikistan. *Ecological Indicators*, 2021, 131: 108129.
- [7] 脱登峰, 卢琦, 却晓娥, 程磊磊, 杨岩岩, 高攀, 崔桂鹏. 中国北方草地生态系统服务评估. *生态学报*, 2024, 44(2): 455-462.
- [8] 黄麟, 翟俊, 祝萍, 郑瑜哈. 中国草畜平衡状态时空演变指示的草地生态保护格局. *地理学报*, 2020, 75(11): 2396-2407.

- [9] 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(5): 321-329.
- [10] 王关区, 刘小燕. 内蒙古草原草畜平衡的探讨. 生态经济, 2017, 33(4): 160-164.
- [11] 刘海新. 内蒙古草地生产力时空分析及产草量遥感估算和预测[D]. 青岛: 山东科技大学, 2019.
- [12] 毛留喜, 侯英雨, 钱拴, 李锡福, 伏洋, 张海珍, 张艳红. 牧草产量的遥感估算与载畜能力研究. 农业工程学报, 2008, 24(8): 147-151.
- [13] 徐斌, 杨秀春, 金云翔, 王道龙, 杨智, 李金亚, 刘海启, 于海达, 马海龙. 中国草原牧区和半牧区草畜平衡状况监测与评价. 地理研究, 2012, 31(11): 1998-2006.
- [14] Li M H, Wang J L, Li K, Altansukh O, Chuluun T, Chen X. Spatial-Temporal Pattern Analysis of Grassland Yield in Mongolian Plateau Based on Artificial Neural Network. Remote Sensing, 2023, 15(16): 3968.
- [15] 曹正奇. 锡林郭勒盟 2000—2017 年产草量时空特征及草畜平衡分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2019.
- [16] 祝萍, 黄麟, 翟俊, 樊江文. 农牧交错带重点生态功能区草地载畜压力演变特征. 草业科学, 2022, 39(6): 1269-1279.
- [17] 方浩玲, 程先富, 秦丽. 安徽省植被净初级生产力估算——基于改进的 CASA 模型. 生态学报, 2024, 44(4): 1601-1612.
- [18] 杨勇, 李兰花, 王保林, 宋向阳, 刘爱军, 王明玖. 基于改进的 CASA 模型模拟锡林郭勒草原植被净初级生产力. 生态学杂志, 2015, 34(8): 2344-2352.
- [19] 王琪, 吴成永, 陈克龙, 张肖, 张乐乐, 丁俊霞. 基于 MODIS NPP 数据的青海湖流域产草量与载畜量估算研究. 生态科学, 2019, 38(4): 178-185.
- [20] 董天, 肖洋, 张路, 肖焱, 郑华, 欧阳志云. 鄂尔多斯市生态系统格局和质量变化及驱动力. 生态学报, 2019, 39(2): 660-671.
- [21] 孔祥意, 滕聪, 杨广普. 鄂尔多斯草原植被净生产力反演研究. 北京测绘, 2019, 33(2): 161-166.
- [22] 黄露, 周伟, 李佳慧, 文旺. 内蒙古不同类型草地 NPP 时空动态特征及其气候影响因素分析. 草原与草坪, 2019, 39(2): 1-9.
- [23] 白雪莲, 季树新, 王理想, 陈正新, 常学礼. 鄂尔多斯十大孔兑区植被生产力变化趋势对土地利用转移的响应. 自然资源学报, 2019, 34(6): 1186-1195.
- [24] 刘荣. 鄂尔多斯草地产量动态和草畜平衡状况的初步研究. 内蒙古草业, 2009, 21(3): 11-16.
- [25] 朝鲁. 库布齐沙漠草场资源遥感调查及草畜平衡研究——以杭锦旗为例[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2013.
- [26] 朱文泉, 潘耀忠, 龙中华, 陈云浩, 李京, 扈海波. 基于 GIS 和 RS 的区域陆地植被 NPP 估算——以中国内蒙古为例. 遥感学报, 2005, 9(3): 300-307.
- [27] 鄢玲艳, 孔令桥, 张路, 欧阳志云, 胡金明. 草地生态系统承载力概念、方法及关键问题. 中国生态农业学报: 中英文, 2022, 30(8): 1228-1237.
- [28] 朴世龙, 方精云, 贺金生, 肖玉. 中国草地植被生物量及其空间分布格局. 植物生态学报, 2004, 28(4): 491-498.
- [29] 王瑞杰, 覃志豪, 王桂英. 呼伦贝尔草原产草量及载畜平衡研究. 东北大学学报: 自然科学版, 2011, 32(12): 1782-1785.
- [30] 刘亚红. 内蒙古草地生态系统服务功能及主要影响因素研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2022.
- [31] 任志远, 刘焱序. 西北地区植被净初级生产力估算模型对比与其生态价值评价. 中国生态农业学报, 2013, 21(4): 494-502.
- [32] 田佳西. 西北地区气候暖湿化演变趋势及其对植被恢复影响研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2023.
- [33] 莫兴国, 刘文, 孟铨铨, 胡实, 刘苏峡, 林忠辉. 青藏高原草地产量与草畜平衡变化. 应用生态学报, 2021, 32(7): 2415-2425.
- [34] Sehgal A, Sita K, Siddique K H M, Kumar R, Bhogireddy S, Varshney R K, HanumanthaRao B, Nair R M, Prasad P V V, Nayyar H. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. Frontiers in Plant Science, 2018, 9: 1705.
- [35] Ma R, Zhang J Q, Shen X J, Liu B H, Lu X G, Jiang M. Impacts of climate change on fractional vegetation coverage of temperate grasslands in China from 1982 to 2015. Journal of Environmental Management, 2024, 350: 119694-119694.
- [36] 张强, 杨金虎, 王朋岭, 于海鹏, 岳平, 刘晓云, 林婧婧, 段欣好, 朱颀, 闫昕畅. 西北地区气候暖湿化的研究进展与展望. 科学通报, 2023, 68(14): 1814-1828.
- [37] 陈发虎, 谢亭亭, 杨钰杰, 陈圣乾, 陈峰, 黄伟, 陈婕. 我国西北干旱区“暖湿化”问题及其未来趋势讨论. 中国科学: 地球科学, 2023, 53(6): 1246-1262.
- [38] 刘荣, 许胜利, 白媛媛, 苏秦, 张海军, 刘惠青. 浅析鄂尔多斯饲草生产发展的现状、存在问题及建议. 草原与草业, 2022, 34(3): 58-61.
- [39] 萨格萨, 马剑波, 斯日古楞, 高秀芳, 苏秦. 鄂尔多斯市实施草原生态保护补助奖励机制政策效益分析. 草原与草业, 2016, 28(1): 3-5.
- [40] 于泽航, 董全民, 曹铨, 俞畅, 张春平, 刘文亭, 杨晓霞, 刘玉祯, 张振祥, 冯斌, 吕卫东, 杨增增. 不同放牧模式对祁连山高寒草甸植物群落特征的影响. 草地学报, 2023, 31(9): 2621-2627.
- [41] 姚喜喜, 王立亚, 严振英, 张文娟, 孙海群, 周睿. 放牧对温性荒漠草原植物群落特征与牧草营养品质的影响. 草地学报, 2021, 29(S1): 165-172.
- [42] 张荟荟, 张学洲, 阿斯娅·曼力克, 梁维维, 朱昊, 王璐, 李学森, 靳俊鹏. 北疆平原荒漠区粮草轮作模式经济效益分析. 草地学报, 2021, 29(5): 1107-1112.