草业科学
Pratacultural Science
中文核心期刊
中国科学引文数据库(CSCD) 核心期刊
英国CABI文摘数据库来源期刊
中国科技核心期刊
中国精品科技期刊

基于冷暖季放牧区划分的玉树州草畜平衡估算及变化分析

夏兴生 马国秀 车红岩 潘耀忠 黄永生 李宏达

Estimation and change analysis of forage-livestock balance based on cold and warm season grazing region division in Yushu Prefecture, China

XIA Xingsheng, MA Guoxiu, CHE Hongyan, PAN Yaozhong, HUANG Yongsheng, LI Hongda

在线阅读 View online: https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0923

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

暖季补饲对高寒牧区天然草地放牧泌乳牦牛产乳性能的效应

Effects of warm season supplementary feeding on the milk performance of lactating yaks grazing on natural grassland in an alpine pastoral area

草业科学. 2024, 41(1): 195 https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0182

近40年三江源区高寒草地气候资源利用率及载畜量

Climate resource utilization rate and livestock-carrying capacity of grasslands in the Three River Headwaters region over the past 40 years

草业科学. 2022, 39(4): 672 https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0601

季节放牧下青藏高原高寒草甸牧草生物量空间分布特征

Effects of seasonal grazing on spatial distribution characteristics of forage biomass in an alpine meadow on the Qinghai-Tibet Plateau

草业科学. 2022, 39(2): 318 https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0490

农牧交错带重点生态功能区草地载畜压力演变特征

Changing trends in grazing pressure in key ecological function area of the agro-pastoral zone

草业科学. 2022, 39(6): 1269 https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0474

高寒矿区人工建植草地和自然草皮移植生态修复效应

Ecological restoration effect of artificial grassland and turf transplantation in alpine mining area on plateau

草业科学. 2023, 40(12): 3018 https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0033

青藏高原草地非光合植被覆盖度时空动态

Spatio-temporal variations in non-photosynthetic vegetation cover on the Qinghai-Tibet Plateau grassland

草业科学. 2022, 39(8): 1521 https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0624

关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0923
夏兴生，马国秀，车红岩，潘耀忠，黄永生，李宏达. 基于冷暖季放牧区划分的玉树州草畜平衡估算及变化分析. 草业科学, 2024, 41(4): 1007-1019.
XIA X S, MA G X, CHE H Y, PAN Y Z, HUANG Y S, LI H D. Estimation and change analysis of forage-livestock balance based on cold and warm season grazing region division in Yushu Prefecture, China. Pratacultural Science, 2024, 41(4): 1007-1019.

基于冷暖季放牧区划分的玉树州草畜平衡估算及变化分析

夏兴生[1,2]，马国秀[1,2]，车红岩[1,2]，潘耀忠[1,3]，黄永生[1,2]，李宏达[4]

（1. 青海师范大学 高原科学与可持续发展研究院, 青海 西宁 810016; 2. 青海师范大学地理科学学院, 青海 西宁 810016;
3. 北京师范大学 地理科学学部 遥感科学国家重点实验室, 北京 100875; 4. 青海省草原总站, 青海 西宁 810008）

摘要：玉树州作为三江源高寒生态屏障区以牧为主农牧业结合发展的核心地区，草畜平衡不仅关系生态屏障安全，也对实现科学的畜牧业经济管理具有重要的指导意义。因此，本研究以探究高寒生态屏障区天然草地的草畜平衡变化为目的，选择玉树州为研究区，利用 2014－2019 年 MOD13A1 NDVI 产品数据和 MOD17A3H NPP 产品数据、统计数据、植被类型数据，在划分县域冷暖两季放牧区的基础上，以“木桶效应”确定了各县(市)天然草地的合理载畜量并对其草畜平衡进行了评估。结果表明：1) 按照理论上的自然轮牧规律，参考固定面积比例和年内 NDVI 的时空分布规律划分的玉树州各县(市)冷季放牧区分布于较温暖的沟谷地区，暖季放牧区处于高寒区域，且冷季放牧区产草量大于暖季放牧区。2) 年际间冷暖季放牧区干草产量均呈波动增长趋势，年均增长率均在 3.00% 以上且暖季放牧区年产草量增长率大于冷季放牧区。3) 2014－2019 年玉树州整体的草畜平衡状态由临界超载和超载波动转为平衡，但各县(市)草畜平衡状态存在差异，推测可能是因为自然保护区和国家公园生态工程支持的空间范围差异引起的。本研究对进一步修订三江源自然保护区和国家公园建设方案，实施高寒生态屏障区生态和畜牧业经济的良性发展策略具有一定的参考价值。

关键词：遥感；轮牧；木桶效应；高寒草地；载畜量；生态屏障区；青藏高原
文献标识码：A **文章编号：**1001-0629(2024)04-1007-13

Estimation and change analysis of forage-livestock balance based on cold and warm season grazing region division in Yushu Prefecture, China

XIA Xingsheng[1,2], MA Guoxiu[1,2], CHE Hongyan[1,2], PAN Yaozhong[1,3], HUANG Yongsheng[1,2], LI Hongda[4]

(1. Academy of Plateau Science and Sustainability, Qinghai Normal University, Xining 810016, Qinghai, China;
2. School of Geographical Sciences, Qinghai Normal University, Xining 810016, Qinghai, China;
3. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
4. Qinghai General Station of Grassland, Xining 810008, Qinghai, China)

Abstract: Yushu Prefecture, China, represents a core area of the alpine ecological barrier area in the Qinghai-Tibet Plateau, which combines agriculture and animal husbandry. The forage-livestock balance relates to the safety of ecological barrier and plays an important role in scientific economic management of animal husbandry. Therefore, we explored the changes in forage-livestock balance in the natural grassland of Yushu Prefecture, China, between 2014－2019. The MOD13A1 NDVI and MOD17A3H NPP product, statistical data, and vegetation type data were mainly used. This study considered the grazing

收稿日期：2022-11-23 **接受日期：**2023-05-16
基金项目：第二次青藏高原综合科学考察研究 (2019QZKK0903、2019QZKK0606)；国家自然科学基金项目 (42201027)
通信作者：夏兴生 (1989-)，男，甘肃庆阳人，副教授，博士，主要从事资源环境遥感应用研究。E-mail: xxs@qhnu.edu.cn

region in cold and warm seasons in each county of Yushu Prefecture according to rotation grazing practices. The reasonable carrying capacity of natural grassland in each county was determined using "barrel effect" and the forage-livestock balance was evaluated. According to the theoretical law of natural rotation grazing, the cold season grazing region was located in the warm valley region, while the warm season grazing region was located in the alpine region, based on fixed area proportion and spatio-temporal NDVI distribution. The cold-season grazing region hay fields were bigger than that of the warm-season grazing region. Hay yields exhibited a fluctuating increasing trend in both cold and warm season grazing regions between 2014－2019. The average annual hay growth rate was > 3.00% in each county, of which the growth rate in the warm season grazing region was higher than that in cold season grazing region. Between 2014－2019, the forage-livestock balance in Yushu Prefecture gradually fluctuated from critical overload or overload to equilibrium; however, forage-livestock balances differed among counties, which might be attributable to the difference in the spatial scope of ecological engineering support between nature reserves and national parks. Our findings contribute to formulating construction plans for Sanjiangyuan Nature Reserves, National Parks, and realizing the benign development of the park's ecology and animal husbandry economy.

Keywords: remote sensing; rotational grazing; barrel effect; alpine grassland; livestock capacity; ecological barrier area; Qinghai-Tibet Plateau

Corresponding author: XIA Xingsheng E-mail: xxs@qhnu.edu.cn

基于天然草地的畜牧生产是游牧民族重要的食物来源，亦是牧区经济的主体[1]；而草地既是生态系统正常运转的组成部分，又是发展畜牧业的核心资源[2]。进行草地资源与载畜量的研究，对制定畜牧业发展策略并维持草地生态系统的健康发展具有重要的意义。这其中的重点是两者的平衡关系，即草畜平衡[3-4]，其核心是以草定畜，即基于草地产草量、理论载畜量、实际载畜量评估草和畜的关系[5]。对于草地产草量的估算，基于遥感反演参数的规模化草地产量估算方法[6]与传统的收获法[7]和模拟模型[8]相比较，具有最优的成本效益，因此，现阶段使用最为广泛[9-11]。对于载畜量的估算，常用的方法是家畜日食量法，且载畜量的估算也常常伴随草畜平衡的分析[12-13]。这些方法均为持续的草畜平衡研究和监测奠定了基础。

青海省玉树藏族自治州 (图 1) 作为青藏高原生态屏障区的核心组成部分[14-16]，是高寒草地畜牧业的天然分布区，畜牧业是该区人类生存和发展的根本。但是，受自然地理环境的影响，该区草地生态系统天然脆弱，加之全球变化和人类活动的干扰，灾害频发、畜牧超载、草地退化威胁到了该地区生态和人民福祉的可持续发展[17-20]。为此，在中国政府先后发布的《青海三江源自然保护区生态环境保护和建设总体规划》《三江源国家公园体制试点方案》中，玉树州各县均有大部分区域被划归为三江源自然保护区的建设范围，其中的杂多县、曲麻莱县、治多县的大部分区域又是三江源国家公园的组成部分。关注该区域草畜平衡的变化，既可以进行两项工程实施效益的对比，也可以为该地区的生态、经济建设划定重点关注区，对评估生态修复与保护工程的成效、持续推进自然保护区和国家公园建设及牧区经济发展也具有重要的支持作用。基于此，本研究以探究高寒生态屏障区天然草地的草畜平衡变化为目的，考虑畜牧业与草地生态系统长期交互的实际情况以及 2021 年 10 月国务院批复同意设立三江源国家公园明确提出“正确处理生态保护与农牧民生产生活的关系，维持人与自然和谐共生并永续发展”的战略定位要求，选择兼有自然保护区和国家公园建设范围涉及的玉树州行政范围 (除可可西里外) 为研究区，拟通过基于遥感反演的地表参数和统计数据等，对该区县域单元 2014－2019 年的冷、暖季放牧区划分，全年干草产量、理论载畜量的估算，评估其草畜平衡状态及变化，以期为自然保护区和国家公园生态保护和畜牧业发展策略的制定提供参考。

1 数据及预处理

本研究的数据主要包括遥感产品数据、植被类型数据、数字高程模型 (digital elevation model，DEM) 数据、统计数据和基础地理数据。

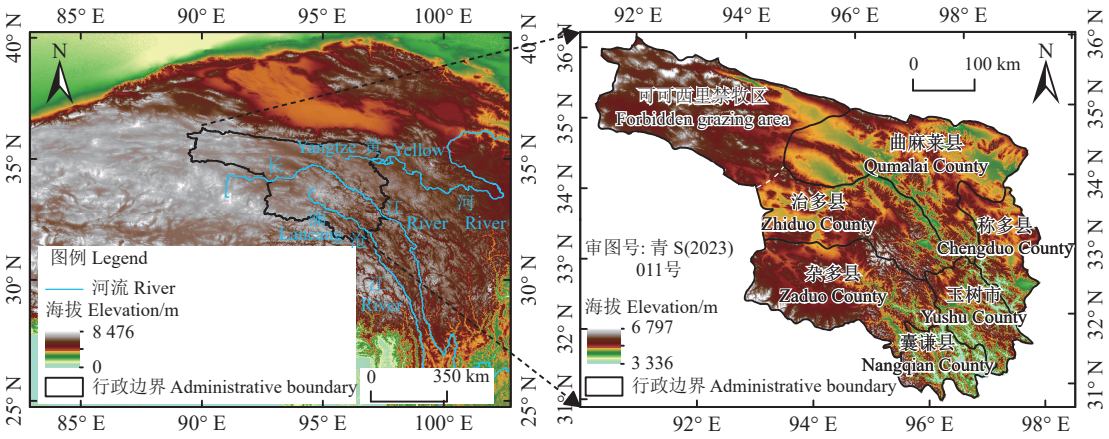

图 1　研究区位置图

Figure 1　Study area location

遥感产品数据包括 2014－2019 年 MOD13A1 归一化植被指数 (normalized differential vegetation index，NDVI) 产品数据和 MOD17A3H 净初级生产力 (net primary productivity，NPP) 产品数据。其中，NDVI 用于冷暖季放牧区的划分，NPP 用于干草产量和理论载畜量的计算。两者均直接下载于 EARTHDATA (https://search.earthdata.nasa.gov/search/)。首先使用 MODIS Reprojection Tool 对原始产品数据进行格式和投影的转换；其次根据质量文件进行有效 NDVI 和 NPP 值的提取；最后，基于行政边界数据和植被类型数据进行掩膜提取得到研究区草地的 NDVI 和 NPP 时空分布数据。

植被类型数据源于 2001 年出版的中国 1∶100 万植被图集，主要用于提取玉树州不同的草地类型。原始数据直接下载于中国科学院资源环境科学与数据中心 (http://www.resdc.cn/ data.aspx?DATAI)。对其预处理主要是以行政区划数据进行裁剪提取研究区部分，然后将其对照植被类型代码表提取草地，并归类为高寒草甸和高寒草原两类，同时将已划分的草地类型数据转换为矢量结构。

DEM 来源于美国宇航局 (NASA) 的 30 m 分辨率数字高程模型，主要用于辅证冷暖季放牧区划分的合理性。统计数据为玉树州各县 (市) 2014－2019 年家畜存栏量和出栏率，具体包括马、牛、羊 3 种家畜，用于放牧区实际载畜量的计算，数据来源于玉树州统计部门。

基础地理数据包括玉树州 2015 年行政区划数据和居民点数据，行政区划数据用于草地单元的划分，居民点数据主要用于辅助说明冷暖季放牧区划分的合理性。数据直接下载于全国地理信息资源目录服务系统 1∶100 万全国基础地理数据库 (https://www.webmap.cn/commres.do?method=result100W)。预处理主要是对下载的原始分幅数据集进行拼接，并提取研究区的行政边界和居民点要素数据。

2　方法与过程

2.1　技术方案

本研究的主要过程包括：1) 县域单元冷暖季放牧区的划分和逐年干草产量的计算；2) 冷暖季放牧区理论载畜量的估算及合理载畜量的确定；3) 实际载畜量的估算及玉树州的草畜平衡状态及变化分析。具体技术路线如图 2 所示。

2.2　NDVI 的提取与放牧区划分

在放牧管理方式上，根据牧民的实践经验，季节性轮牧的方式得到了学者的肯定[21]。基于遥感反演的 NDVI 因为能够反映草地生长变化情况被已有研究用来进行季节性放牧区的划分[22]。因此，本研究也直接基于植被生长季 NDVI 的分布规律，以县级行政区为基本单元，划分为冷、暖两季放牧区。首先，将求取 2014－2019 年生长季 (5 月－9 月) 各县草地平均 NDVI 的多年均值；之后，参考樊江文等[13] 对三江源冷暖季放牧区划分的面积比例 (1.2∶1)，以 NDVI 低值区为暖季放牧区、NDVI 高值区为冷季放牧区的规律进行两季放牧区的划分，最终划分各县冷暖季放牧区的平均 NDVI 取值范围 (表 1)。

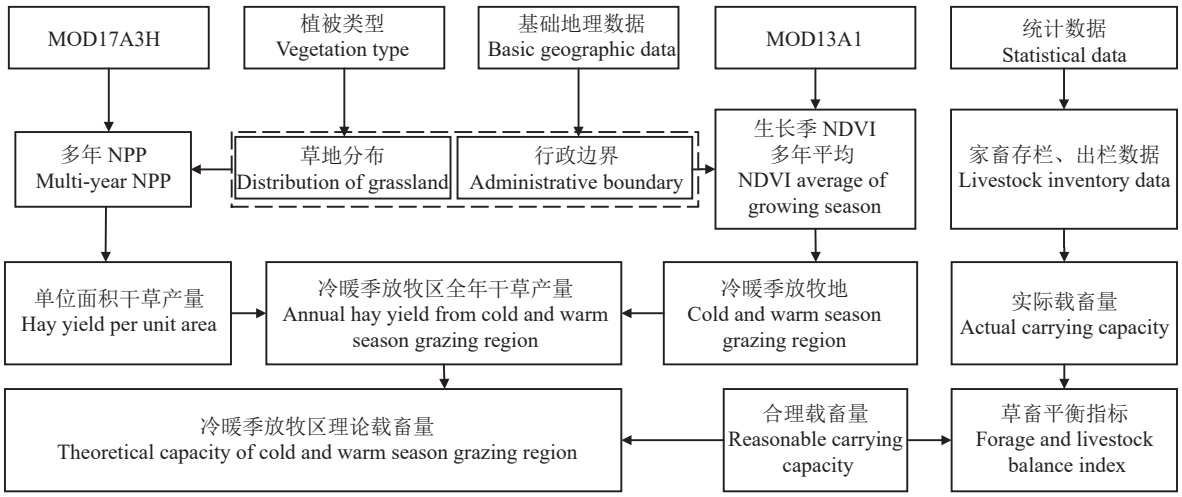

图 2 技术路线图

Figure 2 Technical flowchart

图中 NPP 代表净初级生产力；NDVI 代表归一化植被指数；虚线框表示两个数据同时使用，箭头表示数据流。

NPP: net primary productivity; NDVI: normalized differential vegetation index. A dashed box indicates that both data are used at the same time, and an arrow indicates the data flow.

表 1 玉树州各县 (市) 冷暖季放牧区划分的归一化植被指数 (NDVI) 取值范围

Table 1 Normalized differential vegetation index (NDVI) range used to divide the grassland into cold and warm seasons in each county of Yushu

NDVI	囊谦县 Nangqian County	杂多县 Zaduo County	治多县 Zhiduo County	曲麻莱县 Qumalai County	称多县 Chengduo County	玉树市 Yushu City
暖季放牧区NDVI NDVI of warm season pasture	0.02～0.50	0.00～0.36	0.00～0.34	0.00～0.24	0.02～0.43	0.04～0.51
冷季放牧区NDVI NDVI of cold season pasture	0.50～0.67	0.36～0.64	0.34～0.61	0.24～0.58	0.43～0.64	0.51～0.68

2.3 冷暖季干草产量

王琪等[23]利用陈世荣等[11]提出的遥感反演参数估算干草产量的方法计算了青海湖流域干草产量及理论载畜量，得到了较高精度的结果，说明该方法具有在青藏高原的适用性，所以本研究直接选择该方法进行计算，其公式为：

$$G = \frac{NPP}{S_c(1+P_c)}。 \quad (1)$$

式中：G 为年总单位面积干草产量 [g·(m^2·a)$^{-1}$]；S_c 为草地生物量换算为 NPP 的转化系数；P_c 为地上生物量和地下生物量的比例系数。方精云等[24]在中国陆地生态系统的碳循环及其全球意义的研究中定量化描述了中国区域的 S_c 和 P_c 取值，之后朴世龙等[25]、王琪等[23]和樊江文等[13]在以青海省、三江源为研究区的研究中使用了该取值，并取得了良好的验证结果。本研究区域恰好是上述研究区的组成部分，因此，也直接取这些研究采用的 S_c 和 P_c，即 S_c = 0.45，高寒草甸的 P_c = 8.99，高寒草原的 P_c = 3.81。

本研究使用各县 2014－2019 年对应的草地 NPP 数据利用公式 (1) 计算得到各像元的干草产量，并进行区域统计求和得到行政单元冷暖季放牧区的干草产量。

2.4 草畜平衡估算

2.4.1 理论载畜量

理论载畜量是指一定时间和区域内的草地资源适宜承载的羊单位数量，是评价草地资源生产能力的主要标准之一[13]。樊江文等[13]提出的方法 (公式 2) 在小至青海湖流域、大到全国尺度的草畜平衡研究中均得到了很好的验证与应用[23, 26]，因此，本研究也直接选用该方法进行理论载畜量的计算。

$$T_{c=}\frac{E_c \times B_u \times C_u \times D_u}{E \times d}。 \quad (2)$$

式中：T_c 为理论载畜量 (SU·m^{-2})；E_c 为全年干草产量 (t·m^{-2})，全年干草产量由年总单位面积干草产量

G 乘以像元面积 (0.25 km^2)；B_u 为不同牧草利用率；C_u 为草地可利用率，D_u 为草地可食牧草比率；E 为羊单位家畜的日食量，d 为草地放牧时间。同样，本研究的相关参数也直接参照朴世龙等[25]、樊江文等[13]和王琪等[23]研究的取值，即草甸类的牧草利用率 B_u 取值为 60%，草原类的牧草利用率 B_u 取值为 50%，草地可利用率 C_u 平均为 92%，而草地可食牧草比率 D_u 为 80%，冷季放牧区按平均放牧时间为 205 d，暖季放牧区按平均放牧时间为 160 d，以羊单位家畜的日食量 (干草) E 为 2 kg·SU^{-1}。

利用玉树州冷暖季放牧区 2014－2019 年全年干草产量计算对应的理论载畜量，之后将计算得到的冷暖两季放牧区理论载畜量结果相比较，基于“木桶效应”理论，取两季中较小值为各县 (市) 的合理理论载畜量值，进一步求取各县 (市) 合理载畜量之和为玉树州的合理理论载畜量。

2.4.2　实际载畜量

实际载畜量是指一定时间和范围内的草地资源实际承载的羊单位数量[27]，一般以年为单位，主要由研究区的年末存栏量、年内的出栏量和出栏率[18, 28]组成，具体的实际载畜量算法如下：

$$A_c = E_n + (E_{n-1} \times F_h)。 \tag{3}$$

式中：A_c 为实际载畜量 (羊单位)；E_n 为年末家畜存栏数；$E_{n\text{-}1}$ 为上一年年末家畜存栏数[18]；F_h 为家畜出栏率。实际应用中 E_n、$E_{n\text{-}1}$ 均需要换算为羊单位，而 F_h 一般以统计数据为准，每年的值略有差异。

根据中国农业部发布的标准[29]，首先将各县 (市) 2014－2019 年的年末家畜存栏统计数据中的马、牛数量乘以 4，将其转换为羊单位，再利用公式 (3) 计算出各县 (市) 2014－2019 年的实际载畜量。

2.4.3　草畜平衡指标

草畜平衡指标是评价某区域是否存在超载情况的重要指标，由实际载畜量和理论载畜量的相对比值表示 (公式 4)，比值越大，说明超载越严重，比值越小，说明载畜压力较低[30]。

$$P = \frac{(A_c - T_c)}{T_c} \times 100\%。 \tag{4}$$

式中：P 为草畜平衡指标，A_c 为实际载畜量 (羊单位)；T_c 为理论载畜量 (羊单位)。

本研究参照 2016 年《资源环境承载能力监测预警技术方法 (试行)》，将载畜情况分为 5 级，即：草畜平衡指标 $P < -10\%$ 为载畜不足，$-10\% \leqslant P < 10\%$ 为载畜平衡，$10\% \leqslant P < 15\%$ 为临界超载，$15\% \leqslant P < 30\%$ 为超载，$P \geqslant 30\%$ 为严重超载。

3　结果与分析

3.1　放牧区划分结果

图 3 是假设以县域行政区划为基本的放牧活动单元，基于多年平均 NDVI 值及冷暖季放牧区面积的固定比值 (1.2∶1) 划分的玉树州冷暖季放牧区分布。参考居民点的位置可以发现，玉树州绝大部分的居民点都分布于较为暖和的冷季放牧区或冷暖季放牧区的交接区域，少部分分布于暖季放牧区的居民点，经考察大部分是夏季的放牧点，因此，结果符合该地区季节性放牧迁移的居民点分布规律；此外统计划分的各县 (市) 冷暖季放牧区空间分布的海拔范围 (表 2) 并对比图 3 显示，冷季放牧区分布于低海拔和较平坦的山间谷地区域，暖季放牧区则分布于海拔较高的高寒山地。说明本研究基于草地的生长规律划分的冷暖季放牧区具有一定的合理性，即划分结果符合玉树州当地牧民冷季在暖和区域的放牧区越冬，暖季轮牧至高寒区域的自然放牧活动规律。

3.2　干草产量变化

玉树州 2014－2019 年单位面积的干草产量空间分布表明，玉树州单位面积干草产量分布整体上呈现东南向西北、海拔较低的山间谷地向海拔较高

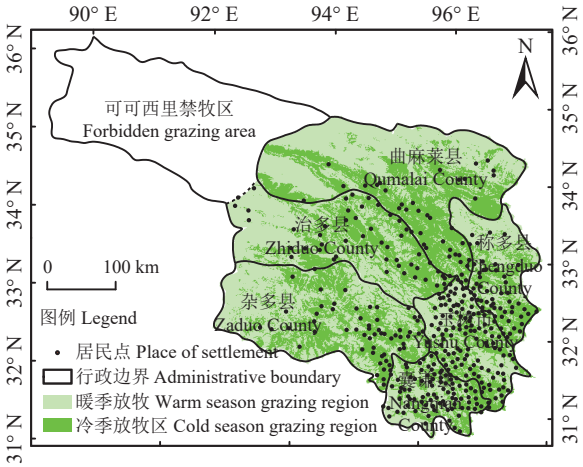

图 3　玉树州各县冷暖季放牧区分布

Figure 3　Grassland division into cold and warm seasons in each county of Yushu

表 2 冷暖季放牧区海拔范围

Table 2 Elevation range for cold and warm season grasslands

海拔 Elevation	囊谦县 Nangqian County	杂多县 Zaduo County	治多县 Zhiduo County	曲麻莱县 Qumalai County	称多县 Chenduo County	玉树市 Yushu City
暖季放牧区海拔 Elevation of warm season pasture/m	5 537～3 616	5 682～4 041	5 591～3 914	5 325～3 927	5 246～3 521	5 406～3 521
冷季放牧区海拔 Elevation of cold season pasture/m	4 876～3 668	5 313～3 840	5 220～3 890	5 148～3 824	5 003～3 647	4 999～3 527

的山区逐渐递减的趋势 (图 4)，符合东南地区、河谷地区海拔较低、地形平坦、气温较高，水热组合较好，整体上产草量高，相反，则单位面积产草量较低的规律。从单位面积干草产量空间分布的年际变化来看，2014－2019 年，玉树州单位面积干草产量最高值 [84.40～235.32 g·(m^2·a)$^{-1}$] 分布区的干草产量空

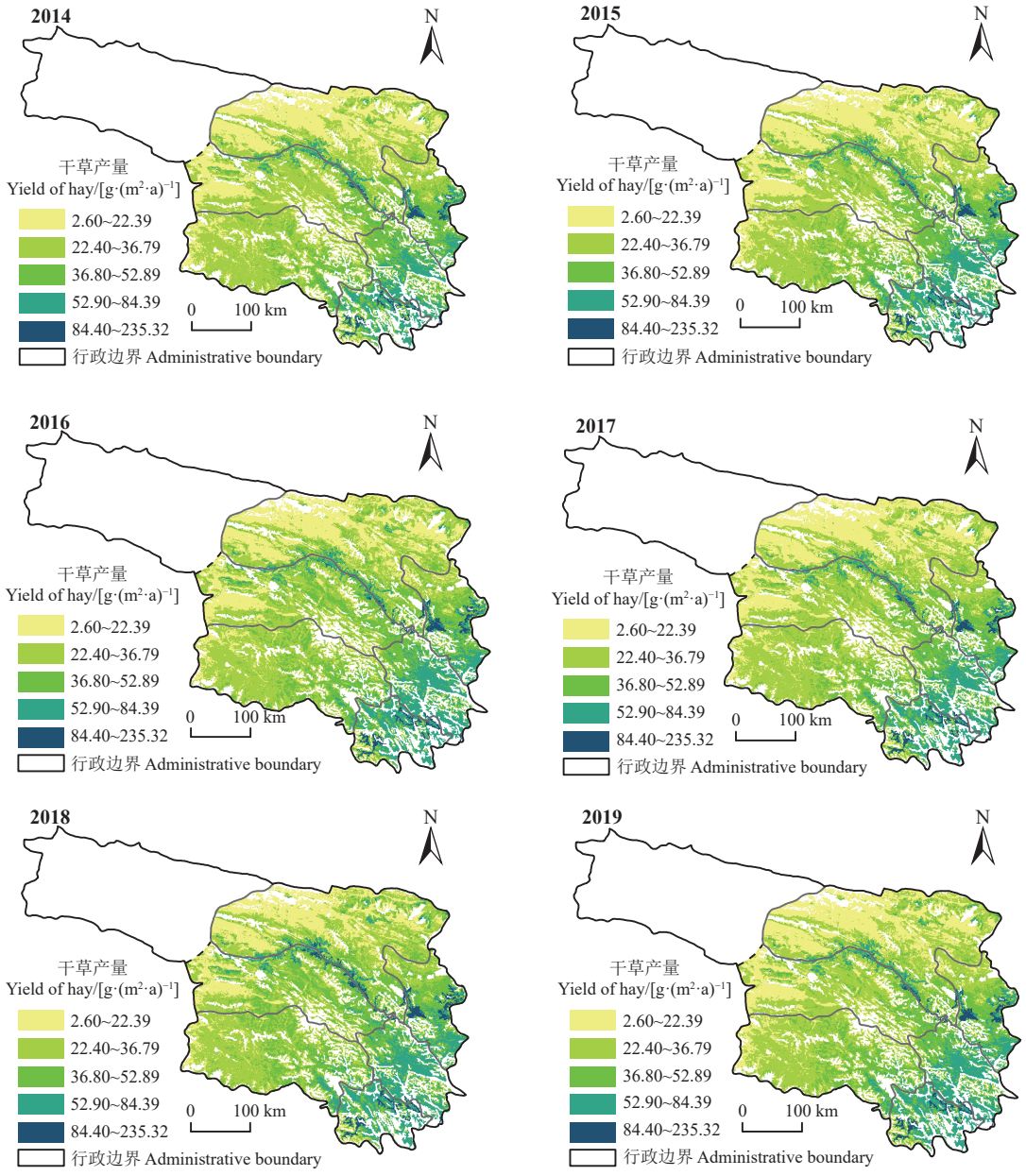

图 4 玉树州 2014－2019 年单位面积全年干草产量空间分布

Figure 4 Annual hay yield distributions between 2014－2019 in Yushu

间分布 6 年基本无明显变化，最小值 [2.60～22.40 g·(m^2·a)$^{-1}$] 分布区的干草产量空间分布随时间逐渐减小，但较小值 [22.40～36.79 g·(m^2·a)$^{-1}$]、中等值 [36.80～52.89 g·(m^2·a)$^{-1}$] 和较高值 [52.90～84.39 g·(m^2·a)$^{-1}$] 分布区的干草产量空间分布随时间出现不同程度的增大趋势，说明玉树州年际间的干草产量在空间上呈现整体增加的趋势。

在分区统计下得到玉树州 2014－2019 年冷暖两季放牧区的干草产量 (图 5)。从这年际间的总量变化也可以看出，两季的干草产量均呈现波动增加的趋势，暖季放牧区在 2014－2019 年的年均干草产量增长率为 3.30%，冷季放牧区年均干草产量增长率为 3.16%，说明玉树州高海拔地区干草产量较低海拔地区增加更快，整体草地生态系统在自然保护区和国家公园两项生态工程的建设下向良性方向发展。

分别统计的玉树州各县 (市) 2014－2019 年冷暖季放牧区的干草产量变化 (图 6)。各县 (市) 的冷暖两季的干草产量与全州的干草产量有相同的变化趋势，但各县 (市) 之间的波动增长幅度存在明显差异，玉树州各县 (市) 中冷暖两季干草产量除囊谦县和玉树市以外其余各县分别在 2017 年和 2019 年出现下降，其中曲麻莱县、杂多县和治多县波动增长幅度较大，称多县、囊谦县和玉树市增长幅度较为平缓，说明自然保护区和国家公园同时涵盖的县 (市) 草地生态系统恢复变化较为明显，但波动较大；而单一的自然保护区涵盖的县 (市) 草地生态系统恢复虽然缓慢，但胜在平稳。

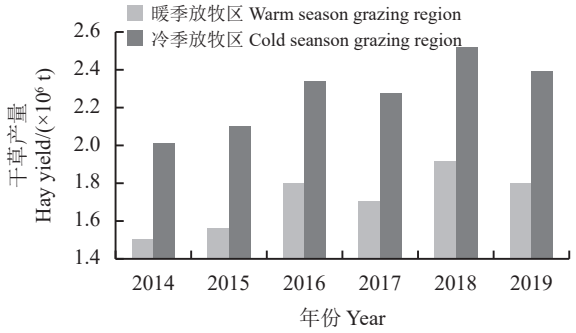

图 5　玉树州 2014－2019 年冷暖季放牧区的全年干草产量

Figure 5　Annual hay yield of grasslands in warm and cold seasons in Yushu between 2014－2019

3.3　草畜平衡变化

基于公式 (2) 及干草产量结果计算的玉树州及其各县 (市) 2014－2019 年的冷暖季放牧区的理论载畜量 (表 3)，对应前节干草产量的年际变化规律，无论是在玉树州，还是在各县 (市) 也均呈现波动增长的趋势，且各县 (市) 的波动幅度存在差异，冷暖季放牧区的理论载畜量亦不相等。因此，根据“木桶效应”的思想，合理载畜量只能取两者的较小值，而玉树州的合理载畜量为各县 (市) 合理载畜量的合计取值。同样可以看出，虽然是根据“木桶效应”取的较小值作为合理载畜量，但是对应干草产量，仍然是自然保护区和国家公园同时涵盖的 3 县 (市) 的合理载畜量较高，单一的自然保护区涵盖的县 (市) 合理载畜量则相对较低。

进一步通过公式 (3)，利用 2014－2019 年玉树州各县 (市) 的年末家畜存栏数据和出栏数据计算的实际载畜量和基于公式 (4) 利用合理理论载畜量

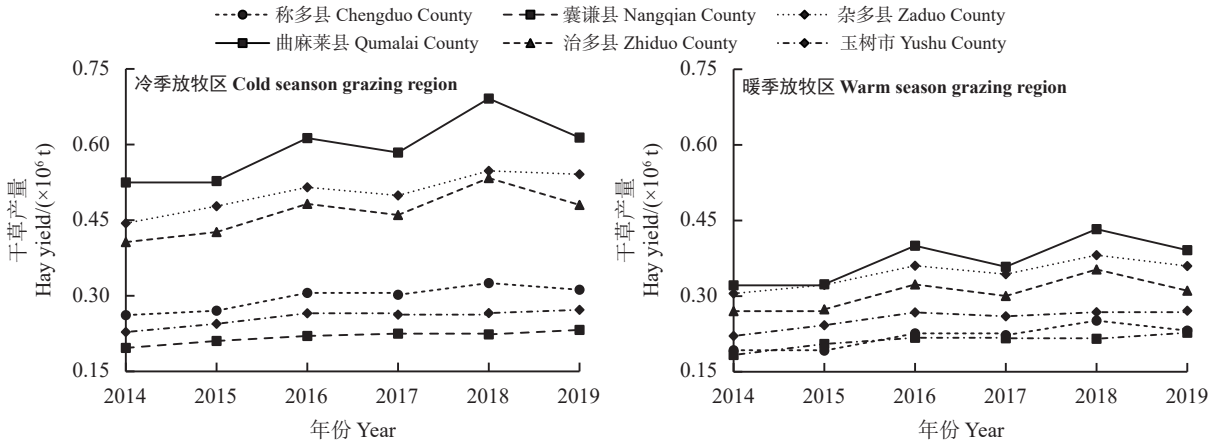

图 6　玉树州各县 (市) 2014－2019 年冷暖季放牧区的全年干草产量变化

Figure 6　Annual hay yield of grassland in warm and cold seasons for each county of Yushu between 2014－2019

表 3 玉树州及各县 (市) 2014－2019 年的理论载畜量

Table 3 Theoretical carrying capacity of each country of Yushu between 2014–2019

× 10^4 sheep

年份 Year	称多县 Chenduo County		囊谦县 Nangqian County		杂多县 Zaduo County		曲麻莱县 Qumalai County		治多县 Zhiduo County		玉树市 Yushu City		玉树州 Yushu Prefecture
	冷 Cold	暖 Warm	冷 Cold	暖 Warm	冷 Cold	暖 Warm	冷 Cold	暖 Warm	冷 Cold	暖 Warm	冷 Cold	暖 Warm	合理载畜量 Reasonable carrying capacity
2014	107.1	102.8	80.7	97.8	191.2	168.5	216.7	160.6	171.2	140.3	97.8	121.6	750.7
2015	110.8	102.4	86.4	109.4	205.8	177.9	217.7	161.3	179.7	142.2	104.7	133.3	774.9
2016	125.2	120.7	90.5	115.9	221.9	198.9	253.6	199.8	203.5	167.8	115.0	145.7	892.7
2017	123.7	118.9	92.4	115.5	215.0	189.6	241.5	179.0	193.8	156.1	112.5	143.0	848.5
2018	133.1	134.3	91.7	114.9	236.0	210.5	285.3	216.4	224.7	183.3	115.2	145.9	951.4
2019	127.8	123.7	95.4	121.3	233.1	198.6	253.4	195.2	202.4	161.3	116.6	149.2	890.8

“冷”表示本研究划分的冷季放牧区的理论载畜量；“暖”表示本研究划分的暖季放牧区的理论载畜量。

“Cold” indicates the theoretical carrying capacity of cold season grassland divided in this study; “Warm” indicates the theoretical carrying capacity of grassland in warm season divided by this study.

与实际载畜量计算的草畜平衡指标 (*P*) (表 4) 表明，在合理载畜量波动增长的趋势下 (表 3)，玉树州实际载畜量呈先上升后下降的变化；各县 (市) 的历年实际载畜量则是玉树市、囊谦县居首，其次是杂多县、曲麻莱县和治多县，称多县的总量最少。在草畜平衡方面，玉树州整体的变化与合理载畜量的变化基本一致，即 *P* 值呈现先波动增大后减小的趋势；玉树州 6 年 *P* 值均在 30% 以下，其中 2014、2015、2016、2017 年的 *P* 值分别为 19.50%、29.30%、17.40% 和 28.70%，即处于超载状态，2018 年及以后 *P* 值则大幅下降至 10% 以下，即 2018－2019 年实现草畜平衡。从空间格局上看，各县 (市) 6 年的 *P* 值则波动明显，但也呈现下降趋势。其中，杂多县、治多县和曲麻莱县的 *P* 值均小于 10%，且存在载畜不足 ($P < -10\%$) 的年份较多；称多县基本处于载畜平衡的水平；玉树市和囊谦县从基于天然草地估算的合理载畜量与统计的实际载畜量来看，虽然 6 年的 *P* 值处于快速的波动降低趋势，但仍旧表现为极严重的超载状态，且整个玉树州 2014－2017 年的超载状态也主要由玉树市和囊谦县贡献。总体来说，玉树州东部和南部地区超载，而西部地区载畜不足。上述变化说明，在自然保护区和国家公园同时涵盖的县 (市)，可能由于双重生态工程的实施，近年基于天然放牧区的自由放牧对高寒草地生态系统的干扰已经基本弱化到合理范围，而在仅有自然保护区涵盖的县 (市)，可能由于单一生态工程的支持力

表 4 玉树州及各县 (市) 的实际载畜量 (Acc) 及草畜平衡指标 (P)

Table 4 Actual livestock capacity (Acc) and forage-livestock balance index (P) for Yushu and its counties

年份 Year	称多县 Chenduo County		囊谦县 Nangqian County		杂多县 Zaduo County		曲麻莱县 Qumalai County		治多县 Zhiduo County		玉树市 Yushu City		玉树州 Yushu Prefecture	
	Acc/(× 10^4 sheep)	*P*/%	Acc/(× 10^4 sheep)	*P*/%	Acc/(× 10^4 sheep)	*P*/%	Acc/(× 10^4 sheep)	*P*/%	Acc/(× 10^4 sheep)	*P*/%	Acc/(× 10^4 sheep)	*P*/%	Acc/(× 10^4 sheep)	*P*/%
2014	104.84	1.90	181.36	124.00	137.55	−18.40	117.63	−26.80	118.72	−15.40	237.35	142.00	897.45	19.50
2015	115.69	12.90	199.12	130.00	160.30	−9.80	158.28	−1.90	135.03	−5.00	233.80	123.00	1 002.22	29.30
2016	125.62	4.00	205.33	127.00	165.21	−16.90	168.89	−15.50	156.50	−6.70	226.83	97.20	1 048.38	17.40
2017	131.92	10.90	208.91	126.00	179.32	−5.40	178.59	−0.20	166.18	6.50	227.47	102.20	1 092.39	28.70
2018	122.75	−8.60	198.97	117.00	174.54	−17.10	157.01	−27.40	141.21	−22.90	215.30	86.90	1 009.78	6.10
2019	128.06	3.50	151.60	58.90	162.10	−18.40	144.36	−26.10	135.14	−16.20	202.04	73.30	923.30	3.60

度较小，整体草畜平衡状况虽然在持续改善，但天然草地的供给仍旧无法满足实际畜牧生产的需求，区域性生态与经济主体的良性循环发展矛盾仍旧存在。

4　讨论

本研究获取的近 6 年 MOD13A1 NDVI 数据显示研究区天然草地最大的 NDVI 取值为 0.68，并不存在 NDVI 值大于 0.9 时会出现的植被绿度饱和而导致的其敏感性降低的问题，因此，基于 NDVI 数据实现冷暖季放牧区的划分具有较好的适用性；其次，利用 MODIS NPP 推算各种草地生产力指标，具有模型机理性较强和计算过程相对直接的优势，并且避免综合考虑各种因子耦合估算产草量的复杂性[5, 20]，而国内学者也在三江源区[31]、武陵山区[32]和黄土高原[33]等不同区域验证了使用 MODIS NPP 数据估算生物量的可行性和可靠性，说明 MODIS NPP 对本研究亦有较好的适用性。尽管如此，因为数据之间比例尺/空间分辨率、时间匹配性等差异而存在的不确定性也使得不可避免的误差仍然存在，故而，探讨基于精细化程度更高、时空匹配性更好的数据进行草地产草量的估算很有必要。另外，遥感反演的地表参数本质上只是基于瞬时状态的推算结果，实际上，地球表面是一个动态系统，对应天然草地生态系统，其本身的良性发展也在消耗初级生产力，比如野生食草动物和自由放牧业的动态采食过程，生态工程的实施使得牧草利用率、草地可利用率及可食牧草比率逐步发生变化，但包括本研究在内的已有研究都没有考虑这一问题，这也致使基于这一原因导致的误差客观存在。最后，根据卫亚星等[22]采用 NDVI 的放牧区分类方法，NDVI 值介于 0～0.2 已经不属于放牧区范畴或者定义草地的土地覆盖范畴，本研究按照固定面积比例宏观性地划分了县域单元的冷暖季放牧区，可能造成了实际可利用放牧区的面积和干草产量偏大，因此，后续的研究中需要在精细化评估可利用放牧区范畴的基础上优化冷暖季放牧区的划分。

本研究玉树州单位面积干草产量较高值多分布于低纬度低海拔地区，且高寒草原的产草量要高于高寒草甸的产草量，与王福成等[34]的研究结果基本接近，只是在时间变化上 (图 5、图 6)，在整体上升的趋势下，2017、2019 年的干草产量出现了小幅减少，通过对已有文献[35]的调研推测，主要的原因可能是年际间的降水减少导致的区域性干旱引起的。理论上，基于“木桶效应”的思想，如果要达到最大的载畜量，冷、暖两季放牧区因为放牧时间差异及冬季可能发生的雪灾等因素，对应的干草产量比例应该接近或略大于两季放牧时间的比值，即 ≥1.3，统计该值却发现整个玉树州、称多县、杂多县、曲麻莱县、治多县的比例符合这一规律，玉树市、囊谦县的比值小于 1.3，这也解释了各县 (市) 冷、暖两季放牧区的理论载畜量为什么不相等 (表 3)，且为什么称多县、杂多县、曲麻莱县、治多县的合理载畜量取夏季放牧区的理论载畜量，而玉树市、囊谦县的合理载畜量取冬季放牧区的理论载畜量。这一结果也说明了本研究直接参考王琪等[23]、樊江文等[13]、朴世龙等[25]的研究结果基于较大空间尺度的冷暖季放牧区面积固定比例和固定的放牧时间进行较小空间尺度的载畜量估算可能存在误差。

另外，基于玉树州的放牧区管理制度及草地放牧权家庭化的调查显示，在实际放牧活动中，一方面为了方便政府部门的管理，季节性轮牧的迁移基本限定在基本的放牧区管理单元，即村级行政区；另一方面因为放牧区放牧权 (牧场权属) 的私有化，跨家庭放牧区的放牧也存在一定的利益冲突，而本研究的前提假设是可在县级行政区内自由轮牧，进而以县为单位宏观性地划分了冷暖季放牧区及理论载畜量的计算，与实际的畜牧业生产规则还存在一定的差异。因此，需要进一步调查确定较小空间尺度 (乡镇、村) 冷、暖季放牧区放牧时间的基础上，耦合局部气候环境下的干草产量等要素进行冷暖季放牧区的动态划分，以期弱化本研究存在误差，深入探讨更精细化的合理载畜量。

在草畜平衡的结果方面，对于纯牧业县，本研究结果表明其草畜平衡均处于良好的态势，但是对于农、林、牧业兼顾发展的东南部县 (市)，只考虑了天然草地的载畜量使得其实际载畜量相对于合理载畜量出现超载，甚至在玉树市和囊谦县表现为极严重的“异常”超载现象。但因为玉树市和囊谦县相较于其他县处于低纬度、低海拔的温暖区域，植被的生长季较长致使放牧制度与其他地区有所差异，且由于农、林、牧业兼顾发展，天然草地只是承载了

一部分的载畜量，而农、林业则承载了另一部分，即农业生产中，粮食作物的秸秆、专门种植的饲草均能够转化为畜牧业的冬储饲料，林下草地也是畜牧业的饲草来源。另外，通过政府、行业部门调购和牧户自筹等方式引入外部饲料/饲草的补充也占据了重要的比例。例如，基于统计数据和杜月红等[36]采用草谷比法[37]粗略估算显示，2014－2019 年玉树州仅农副产品转化为饲草平均每年就能保证超过 35 万头羊 205 d 的越冬消耗。但是，本研究也只是根据可获取的统计数据和蔡福等[38]的研究进行了宏观的推测，农、林、牧业兼顾发展区精细化的产草量、放牧方式、不同来源的饲草量及搭配方式还有待进一步的调查研究。

尽管本研究的过程可能仍旧存在上述的不确定性，但是通过对比蔡福等[38]计算的 2017 年玉树州整体的理论载畜量与实际载畜量 (分别为 1 014.19 万羊单位和 1 096.09 万羊单位) 结果，其草畜平衡指标也与本研究的计算结果接近，这说明本研究的方案设计和方法的应用具有一定的合理性，结果也具有一定的可靠性；而本研究 2014－2019 年玉树州草畜平衡整体好转局部堪忧的结果与郝韵等[16] 2000－2015 年玉树州的生态承载能力表现一致，也进一步验证了玉树州局部区域超载放牧的问题仍然存在。

5 结论

本研究主要是从宏观角度评估玉树州县域单元以天然草地为载体的草畜平衡变化情况，为后续生态工程的推进策略制定提供参考。主要结论如下：

1) 基于理论上的轮牧规律以多年平均 NDVI 空间分布宏观性地划分的玉树州各县 (市) 暖季放牧区主要分布在高纬度高海拔区域，冷季放牧区则分布在温暖湿润的低纬度低海拔的山谷区域；对应的基于 NPP 数据反演的干草产量较高值也多分布于低纬度低海拔地区，高寒草原的产草量高于高寒草甸的产草量。2014－2019 年年际间两季放牧区的干草产量均呈现波动增加的趋势，年均增长率均在 3% 以上，且暖季放牧区年总产草量增长率大于冷季放牧区。

2) 基于“木桶效应”获得玉树州的理论载畜量年际变化趋势与产草量的年际变化趋势基本一致，而天然草地的草畜平衡指数结果显示玉树州整体的载畜压力在 2014－2019 年呈现波动下降的趋势，草畜平衡状态由临界超载和超载转为草畜平衡。各县 (市) 的草畜平衡指数虽然也呈现波动下降趋势，但草畜平衡状态却呈现很大区域差别。东南部半牧区的玉树市和囊谦县载畜量严重超载，东部的称多县则基本实现载畜平衡，而西部的曲麻莱、杂多、治多 3 个牧业县的载畜则不足。因此，玉树州局部的草畜平衡状态仍然堪忧。由此，也推测可能因为曲麻莱县、杂多县、治多县在自然保护区和国家公园双重生态工程支持，其草畜平衡已经达到优化状态，而其余县 (市) 由于仅有自然保护区单一生态工程的支持，草畜平衡指标虽然也在好转，但仍未实现优化状态，后续还需持续关注。

参考文献 References:

[1] 黄麟, 翟俊, 祝萍, 郑瑜晗. 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.
HUANG L, ZHAI J, ZHU P, ZHENG Y H. Spatiotemporal evolution characteristics of livestock-carrying pressure in China and its implications for grassland ecosystem conservation pattern. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(11): 2396-2407.

[2] ZOU X P, SONG D J, CHEN S F. Ecological carrying capacity of grasslands and animal husbandry sustainability in Central Asia. Journal of Resources and Ecology, 2019, 10(6): 598-604.

[3] 买小虎, 张玉娟, 张英俊, 师尚礼, 黄顶, 张亚军. 国内外草畜平衡研究进展. 中国农学通报, 2013, 29(20): 1-6.
MAI X H, ZHANG Y J, ZHANG Y J, SHI S L, HUANG D, ZHANG Y J. Research progress of grassland feed-animal balance at home and abroad. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(20): 1-6.

[4] 董世魁, 江源, 黄晓霞. 草地放牧适宜度理论及牧场管理策略. 资源科学, 2002(6): 35-41.
DONG S K, JIANG Y, HUANG X X. Suitability-degree of grassland grazing and strategies for pasture management. Resources Science, 2002(6): 35-41.

[5] 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.

WANG G Q, LIU X Y. Discussion on the balance of grassland and livestock in inner Mongolia. Ecological Economy, 2017, 33(4): 160-164.

[6] FRANCISCO J D, MARCELO P. Uruguayan native grasslands net aerial primary production model and its application on safe stocking rate concept. Ecological Modelling, 2020, 430: 109060.

[7] 陈遐林, 马钦彦, 康峰峰, 曹文强, 张国华, 陈宗伟. 山西太岳山典型灌木林生物量及生产力研究. 林业科学研究, 2002(3): 304-309.
CHEN X L, MA Q Y, KANG F F, CAO W Q, ZHANG G H, CHEN Z W. Studies on the biomass and productivity of typical shrubs in Taiyue Mountain, Shanxi Province. Forest Research, 2002(3): 304-309.

[8] 杨秀梅, 张伟欣, 高亮之, 杨春华, 张英俊, Hannaway B David, 张新全. 牧草生产潜力模拟模型及其应用. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 322-327.
YANG X M, ZHANG W X, GAO L Z, YANG C H, ZHANG Y J, HANNAWAY B D, ZHANG X Q. Forage potential production simulation model and its application. Jiangsu Journal of Agriculture Sciences, 2015, 31(2): 322-327.

[9] 黄鑫, 刘建红, 申克建, 刘咏梅, 王雷. 基于 MODIS 的青海草地产草量变化遥感分析. 干旱区地理, 2020, 43(3): 715-725.
HUANG X, LIU J H, SHEN K J, LIU Y M, WANG L. Grassland yield change in Qinghai Province based on MODIS data. Arid Land Geography, 2020, 43(3): 715-725.

[10] 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.
XU B, YANG X C. Calculation of grass production and balance of livestock carrying capacity in rangeland region of Northeast China. Geographical Research, 2009, 28(2): 402-408.

[11] 陈世荣, 王世新, 周艺. 基于遥感的中国草地生产力初步计算. 农业工程学报, 2008(1): 208-212.
CHEN S R, WANG S X, ZHOU Y. Estimation of Chinese grassland productivity using remote sensing. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008(1): 208-212.

[12] 王明玖, 马长升. 两种方法估算草地载畜量的研究. 中国草地, 1994(5): 19-22.
WANG M J, MA C S. A study on methods of estimating the carrying capacity of grassland. Chinese Journal of Grassland, 1994(5): 19-22.

[13] 樊江文, 邵全琴, 王军邦, 陈卓奇, 钟华平. 三江源草地载畜压力时空动态分析. 中国草地学报, 2011, 33(3): 64-72.
FAN J W, SHAO Q Q, WANG J B, CHEN Z Q, ZHONG H P. An analysis of temporal- spatial dynamics of grazing pressure on grassland in Three Rivers Headwater Region. Chinese Journal of Grassland, 2011, 33(3): 64-72.

[14] 陆娜娜, 熊康宁, 杭红涛, 池永宽, 陈磊. 我国草地畜牧业研究现状、问题及对策分析. 中国饲料, 2019(23): 110-115.
LU N N, XIONG K N, HANG H T, CHI Y K, CHEN L. Current situation, problems and countermeasures of grassland animal husbandry research in China. China Feed, 2019(23): 110-115.

[15] 王文莉. 三江源地区草原生态畜牧业存在的问题与发展对策. 养殖与饲料, 2018(6): 109-110.
WANG W L. Problems and development strategies of grassland ecological animal husbandry in Three Rivers Headwater Region. Animals Breeding and Feed, 2018(6): 109-110.

[16] 郝韵, 冯舒芮, 于瑶, 郭泺. 青海玉树藏族自治州生态承载力空间分异研究. 国土与自然资源研究, 2017(3): 45-49.
HAO Y, FENG S R, YU Y, GUO L. Analysis of ecological capacity of Yushu Tibetan Autonomous Prefecture in Qinghai Province. Territory & Natural Resources Study, 2017(3): 45-49.

[17] 杨淑霞. 三江源地区高寒草地生物量和草畜平衡的时空变化动态及其影响因素研究. 兰州: 兰州大学博士学位论文, 2017.
YANG S X. Temporal and spatial dynamics of alpine grassland biomass and grassland livestock balance and Its influential factors on the Three River Headwaters Region. PhD Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2017.

[18] 马更禄. 玉树州高寒草地退化现状及治理对策. 草业与畜牧, 2007(6): 33-35, 55.
MA G L. The degradation and countermeasure of alpine grassland in Yushu Region, Qinghai, China. Journal of Grassland and Forage Science, 2007(6): 33-35, 55.

[19] 求松保, 赵强国. 玉树州植被生态环境现状及保护措施. 防护林科技, 2020(3): 79-80.
QIU S B, ZHAO Q G. Status and protection measures of vegetation ecological environment in Yushu Region, Qinghai, China. Protection Forest Science and Technology, 2020(3): 79-80.

[20] 陈和庆, 范玉琴, 陈坤贤. 玉树州草原生态环境现状及保护措施. 现代农业科技, 2014(13): 280-282.
CHEN H Q, FAN Y Q, CHEN K X. Status and protection measures of grassland ecological environment in Yushu Region, Qinghai, China. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(13): 280-282.

[21] RICHARD T, FRED P, URS K TIM S, MATT B E. Multi-paddock grazing on rangelands: Why the perceptual dichotomy between research results and rancher experience. Journal of Environmental Management, 2013, 128: 699-717.

[22] 卫亚星, 王莉雯, 刘闯. 基于 MODIS NDVI 时序数据的青海省草地分级. 资源科学, 2008, 30(5): 688-693.
WEI Y X, WANG L W, LIU C. Grassland classification based on MODIS NDVI series data in Qinghai Province. Resources Science, 2008, 30(5): 688-693.

[23] 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.
WANG Q, WU C Y, CHEN K L, ZHANG X, ZHANG L L, DING J X. Estimating grassland yield and carrying capacity in Qinghai Lake Basin based on MODIS NPP data. Ecological Science, 2019, 38(4): 178-185.

[24] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳循环及其全球意义. 王庚臣, 温玉璞. 温室气体浓度和排放监测及相关过程. 北京: 中国环境科学出版社, 1996: 129-139.
FANG J Y, LIU G H, XU S L. Carbon cycle and global significance of China's Terrestrial Ecosystem.//WANG C G, WEN Y P. Monitoring of Greenhouse Gas Concentrations and Emissions and Related Processes. Beijing: China Environmental Science Press, 1996: 129-139.

[25] 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(4): 491-498.
PIAO S L, FANG J Y, HE J S, XIAO Y. Spatiao distribution of grassland biomass in China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2004(4): 491-498.

[26] 李青丰, 赵钢, 郑蒙安, 阿民布和. 春季休牧对草原和家畜生产力的影响. 草地学报, 2005(S1): 53-56, 66.
LI Q F, ZHAO G, ZHENG M A, Arminbuhe. Delay grazing a practical approach to grassland environment protection and sustainable animal production in grassland of northern China. Acta Agrestia Sinica, 2005(S1): 53-56, 66.

[27] 任继周, 王钦, 牟新待, 胡自治, 符义坤, 孙吉雄. 草原生产流程及草原季节畜牧业. 中国农业科学, 1978(2): 87-92.
REN J Z, WANG Q, MOU X D, HU Z Z, FU Y K, SUN J X. Grassland production process and grassland season animal husbandry. Scientia Agricultura Sinica, 1978(2): 87-92.

[28] 于光远. 经济大辞典. 上海: 上海辞书出版社, 1992.
YU G Y. Economic Dictionary. Shanghai: Shanghai Dictionary Publishing House, 1992.

[29] 中华人民共和国农业部. NY/T 635－2002 天然草地合理载畜量的计算. 北京: 中国标准出版社, 2002.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T 635－2002 Calculation of Proper Carrying Capacity of Rangeland. Beijing: Standards Press of China, 2002.

[30] 何盛明. 财经大辞典. 北京: 中国财政经济出版社, 1990.
HE S M. Financial Dictionary. Beijing: China Financial and Economic Publishing House, 1990.

[31] 张继平, 刘春兰, 郝海广, 孙莉, 乔青, 王辉, 宁杨翠. 基于 MODIS GPP/NPP 数据的三江源地区草地生态系统碳储量及碳汇量时空变化研究. 生态环境学报, 2015, 24(1): 8-13.
ZHANG J P, LIU C L, HAO H G, SUN L, QIAO Q, WANG H, NING Y C. Spatial-temporal change of carbon storage and carbon sink of grassland ecosystem in the Three-River Headwaters Region based on MODIS GPP/NPP data. Ecology and Environmental Sciences, 2015, 24(1): 8-13.

[32] 孙庆龄, 冯险峰, 肖潇. 武陵山区植被净第一性生产力的时空格局及其与地形因子的关系. 地球信息科学学报, 2014, 16(6): 915-924.
SUN Q L, FENG X F, XIAO X. Spatio-temporal pattern of NPP and related analyses with terrain factors in Wuling Mountainous Area. Journal of Geo-information Science, 2014, 16(6): 915-924.

[33] 谢宝妮, 秦占飞, 王洋, 常庆瑞. 黄土高原植被净初级生产力时空变化及其影响因素. 农业工程学报, 2014, 30(11): 244-253.
XIE B N, QIN Z F, WANG Y, CHANG Q R. Spatial and temporal variation in terrestrial net primary productivity on Chinese Loess Plateau and its influential factors. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(11): 244-253.

[34] 王福成, 魏学红, 马素洁. 基于 NDVI 数据的高寒草甸产量及载畜状况研究：以 2019 年青海玉树州为例. 中国草地学报, 2021, 43(7): 78-85.
WANG F C, WEI X H, MA S J. The study of forage yield and stocking rate of alpine meadow based on normalized difference vegetation index data. Chinese Journal of Grassland, 2021, 43(7): 78-85.

[35] 林小丁, 常乐, 冯丹. 2000－2019 年青海地区植被总初级生产力遥感估算及时空变化分析. 草业学报, 2021, 30(6): 16-27.
LIN X D, CHANG L, FENG D. Remote-sensing estimation of vegetation gross primary productivity and its spatiotemporal changes in Qinghai Province from 2000 to 2019. Acta Prataculturae Sinica, 2021, 30(6): 16-27.

[36] 杜月红, 陈强强, 崔秀娟, 吴茜, 赵荣芳. 甘肃中部旱农耕作区秸秆饲料供求平衡及畜牧业发展潜力: 以定西市安定区为例. 草业科学, 2021, 38(8): 1638-1649.
DU Y H, CHEN Q Q, CUI X J, WU Q, ZHAO R F. Balance of supply and demand of straw fodder resources and development potential of animal husbandry in the dry farming area of central Gansu: A case study in Anding District, Dingxi City. Pratacultural Science, 2021, 38(8): 1638-1649.

[37] 毕于运, 王道龙, 高春雨. 中国秸秆资源评价与利用. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008.
BI Y Y, WANG D L, GAO C Y. Evaluation and Utilization of China's Straw Resources. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2008.

[38] 蔡福, 王学江, 井秀梅, 苏妍, 包海忠. 青海省草畜平衡遥感监测评估研究. 中国农业信息, 2018, 30(3): 92-104.
CAI F, WANG X J, JING M X, SU Y, BAO H Z. Remote sensing monitoring and evaluating of grassland-livestock balance in Qinghai Province. China Agricultural Informatics, 2018, 30(3): 92-104.

（责任编辑　张瑾）

2024 年第 4 期《草业科学》审稿专家

安沙舟	蔡延江	曹广超	钞振华	陈　冀	方强恩	高占军	苟想珍
郭　龙	郭　强	韩云华	韩占江	贺春贵	胡　健	景小平	李成云
李　杰	李青丰	李讨讨	李万宏	李文静	林　淼	刘华梁	刘华梁
刘　权	刘文献	刘　向	娄燕宏	马亚玲	潘东荣	蒲小鹏	孙　建
武　军	谢　燕	杨永胜	鱼小军	原现军	张　超	张光雨	张吉宇
张建全	张楠楠	张　庆	张仁平	张　榕	张兴旭	仲　涛	周建伟

承蒙以上专家对《草业科学》期刊稿件的审阅，特此表示衷心的感谢！