

DOI: 10.20103/j.stxb.202405121071

蔡振媛, 王军邦, 宋鹏飞, 江峰, 梁程博, 张婧捷, 高红梅, 张同作. 三江源国家公园澜沧江源园区草地有蹄类动物承载力评估. 生态学报, 2025, 45 (4): 1844-1853.

Cai Z Y, Wang J B, Song P F, Jiang F, Liang C B, Zhang J J, Gao H M, Zhang T Z. The analysis of grazing pressure of ungulates on grassland in Lancang River Source Park, Sanjiangyuan National Park. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45 (4): 1844-1853.

三江源国家公园澜沧江源园区草地有蹄类动物承载力评估

蔡振媛¹, 王军邦², 宋鹏飞^{1,4}, 江 峰¹, 梁程博^{1,4}, 张婧捷³, 高红梅¹, 张同作^{1,*}

1 中国科学院西北高原生物研究所, 高原生物适应与进化重点实验室, 青海省动物生态基因组学重点实验室, 西宁 810001

2 中国科学院地理科学与资源研究所, 生态系统网络观测与模拟重点实验室, 生态系统大数据与模拟中心, 北京 100101

3 青海大学, 省部共建三江源生态与高原农牧业国家重点实验室, 西宁 810016

4 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 草地是三江源国家公园的主体生态系统, 是该地区野生动物赖以生存的基础, 也是以畜牧业为主的社区经济可持续发展的保障, 实现草畜平衡对三江源草地生态功能发挥具有重要意义。以三江源国家公园澜沧江源园区昂赛乡为研究区域, 通过野生有蹄类动物样带调查和官方公布的家畜数量, 获得现实承载力, 通过遥感-过程耦合模型估算草地可食牧草产量, 获得可食牧草和粗蛋白的理论承载力, 采用放牧压力指数对昂赛乡草地有蹄类动物承载状况进行了评估。结果表明, 2020 年该地区全年野生动物实际载畜量共约 (0.67 ± 0.35) 万标准羊单位, 家畜约 12.99 万标准羊单位; 可食牧草产量承载力为 13.15 万标准羊单位, 低于粗蛋白承载力, 牧草产量承载力和粗蛋白承载力存在季节变化, 均表现为暖季高于冷季。仅考虑家畜, 可食牧草放牧压力指数为 0.9878, 没有超载; 综合考虑家畜和野生动物, 载畜压力指数为 (1.0388 ± 0.0510) , 存在超载风险, 野生动物是草畜平衡不可忽视的部分。野生动物对载畜压力指数的贡献约 5%, 草场牧食压力主要来自放牧家畜, 控制家畜数量是实现该区域的草畜平衡的关键。为三江源国家公园开展草地承载力时空动态评估, 合理配置放牧强度, 实现草畜平衡管理, 促进草地系统健康发展具有指导意义。

关键词: 草地承载力; 草畜平衡; 三江源国家公园; 大型野生食草动物; 家畜

The analysis of grazing pressure of ungulates on grassland in Lancang River Source Park, Sanjiangyuan National Park

CAI Zhenyuan¹, WANG Junbang², SONG Pengfei^{1,4}, JIANG Feng¹, LIANG Chengbo^{1,4}, ZHANG Jingjie³, GAO Hongmei¹, ZHANG Tongzuo^{1,*}

1 Qinghai Provincial Key Laboratory of Animal Ecological Genomics, Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China

2 National Ecosystem Science Data Center, Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China

3 State Key Laboratory of Plateau Ecology and Agriculture, Qinghai University, Xining 810016, China

4 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The grassland, as the primary ecosystem of Sanjiangyuan National Park, is not only the natural habitats for the survival of wild animals, but also the material guarantees for livestock husbandry. Achieving balance between grassland and

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U20A2012); 中国科学院-青海省人民政府三江源国家公园联合研究专项 (LHZX-2020-07)

收稿日期: 2024-05-12; **网络出版日期:** 2024-11-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangtz@nwipb.cas.cn

livestock is crucial for maintaining the ecological function of the Sanjiangyuan grasslands. Over the past two decades, there has been a continuous recovery of the wild animal population in the Sanjiangyuan area, with grazing of livestock and foraging of wild ungulates constitutes the primary utilization of grassland in this region. In this study, we assessed the grazing pressure of ungulates (large wild herbivores and livestock) on grassland in Angsai Township in Lancang River Source Park, Sanjiangyuan National Park. We used the sample belt method to conduct field surveys from 2020 to 2021 and got the population densities of *Pseudois nayaur* and *Cervus albirostris*, the main large wild herbivores distributed in Angsai Township. The Maximum Entropy model (MaxEnt) was used to calculate the suitable habitat area of them. In addition, we used a suitable area to calculate the amount of wildlife. And livestock population numbers were based on official data. The actual carrying capacity was represented in standard sheep units converted for both large wild herbivores and livestock according to the agricultural industry standard of China (NY/T635—2015). The grassland forage yield was estimated by a remote sensing-process coupled model, and the theoretical carrying capacity in the term on edible herbage and crude protein was estimated. The grazing pressure index was used to assess the grazing status of ungulates in the region. The results showed the actual carrying capacity was contributed by approximately $(0.67 \pm 0.35) \times 10^4$ standard sheep units for wild animals, and about 12.99×10^4 standard sheep units from the domestic animals. Under reasonable utilization, the theoretical carrying capacity of edible herbage was 13.15×10^4 standard sheep units, and the theoretical carrying capacity of crude protein of maintaining basic metabolism, maintaining 45 kg standard sheep weight and daily gain 100 g of standard sheep was 41.40×10^4 standard sheep units, 23.68×10^4 standard sheep units and 14.64×10^4 standard sheep units, respectively. The theoretical carrying capacity of edible herbage quantity was lower than that of crude protein in the region. The capacity of edible herbage quantity is more consistent with the ecological protection goal in the National Park. Both yield and crude protein carrying capacities exhibit seasonal variations, being higher in the warm season compared to the cold season. If considering only livestock, the grazing capacity pressure index is 0.9878; however, if both wildlife and livestock are considered, the index becomes (1.0388 ± 0.0510) and wildlife contributes about 5% to the grazing pressure. This study suggested the wildlife population should be calculated in grassland ecological carrying capacity estimation though domestic livestock contributed much more to grazing pressure than wild herbivores. This study has guiding significance for conducting spatio-temporal dynamic assessment of grassland carrying capacity to achieve balanced management of grassland and livestock, and promote the healthy development of grassland system in Sanjiangyuan National Park.

Key Words: grassland carrying capacity; grassland-livestock balance; Sanjiangyuan National Park; large wild herbivores; livestock

草地是我国面积最大的陆地生态系统^[1],在畜牧生产、野生动物栖息地、生物多样性、碳贮存、淡水供应和休闲服务等方面发挥重要作用^[2]。家畜放牧是天然草地最主要的利用方式^[3],显著影响草地生态系统的群落组成和生态功能^[4-7]。轻度和中度放牧可以有效促进草地生产力的提高和生物多样性的维持,对高寒草地植物群落具有积极作用,长期重度放牧会造成草地不同程度的退化,影响生态系统功能^[8-15],草畜平衡影响天然草地的功能维持和生态平衡,对草地生态保护和畜牧业可持续发展至关重要^[16-17]。

草地生态承载力评估通过草地现实载畜量与理论载畜量之比,即放牧压力指数反映草地草畜平衡状态^[18]。理论载畜量反映草地的供给能力,可食牧草产量是决定草地承载力的基础,关于草地动物承载力评估研究以可食牧草产量承载力为主^[19-21],草地产量载畜量只考虑了摄食的数量,没有考虑牧草的质量^[2]。牧草所含营养物质数量是承载力评估的重要依据,粗蛋白含量高低直接影响到有蹄类动物的健康和家畜的生产性能,可食牧草数量载畜量并不能完全揭示草地准确的载畜潜力^[22],难以评估和保证食草动物营养需求^[23-24],可食牧草营养载畜量和数量载畜量相结合的评估方法,有助于科学评估草地生态承载力。现实载畜量体现食草动物需求水平,在现实载畜量方面,研究人员主要关注家畜牧食对草地生态系统的影

响^[19-21, 23, 25],而对野生有蹄类动物考虑较少。研究表明,虽然家畜对承载压力的贡献远大于野生动物,但在野生动物资源丰富的区域,野生有蹄类动物是影响草地承载压力的重要因素,不考虑野生动物,载畜压力将被低估^[26-30]。草地承载压力评估中考虑野生动物能够提高评估的科学性和准确性,有效支撑草地管理决策^[30]。

三江源位于青藏高原腹地,是黄河、长江、澜沧江的发源地,平均海拔 4700 m 以上,是高原生物多样性最集中的地区,也是我国乃至东亚地区的重要生态安全屏障。高寒草地是三江源国家公园的主体生态系统类型,它不仅为野生动物提供了赖以生存的栖息地,也是畜牧业生产的基础,具有重要的生态和社会功能。然而,该地区草地生态系统脆弱,受放牧活动干扰大,有研究表明,超载放牧是导致三江源天然草地受损的主要原因^[31-32]。三江源区载畜压力指数 2005—2017 年呈增长趋势,其中澜沧江源第一县杂多县 2013—2017 年较 2005—2012 年家畜存栏数量增幅较大,载畜压力指数增幅约 50%^[20]。为评估三江源国家公园建设后,该区域的草地承载力情况,本研究以澜沧江源园区昂赛乡为研究区域,通过野生有蹄类动物样线调查和官方公布的家畜数量,获得现实承载力,通过遥感-过程耦合模型估算草地可食牧草产量,获得可食牧草和粗蛋白的理论承载力,采用放牧压力指数对昂赛乡草地有蹄类动物承载状况进行了评估。该研究对三江源国家公园草畜平衡管理、生物多样性保护和草地资源可持续利用等具有重要意义。

1 研究地区与方法

1.1 研究区概况

研究区域昂赛乡(图 1),地理位置介于东经 95°21'29"—96°2'49",北纬 32°34'5"—32°57'36",地处澜沧江上游扎曲河流域峡谷地带,多高山峡谷,山脉占总面积的 80%,平均海拔超过 4000 m。该区气候属大陆性高原气候,全年气候寒冷,年均温度 0.8℃,没有明显四季之分,只有冷暖之别,暖季仅 3 个月,冷季长达 9 个月,年降水量 490.3 mm。昂赛乡植被类型以高寒草甸为主,也分布有高山植被、高寒原始疏林和灌丛。当地常见的野生动物主要有雪豹、狼、棕熊、藏狐、赤狐、金钱豹、白唇鹿、岩羊、马麝、猓狍、猕猴等^[33]。



图 1 昂赛乡调查区域及野外调查路线示意图

Fig.1 Sketch map for area of field investigation and the sample survey lines

昂赛乡辖热青、年都、苏绕 3 个牧委会,畜牧业是支柱产业,放牧家畜较多。2020 年末,全乡总人口 1757 户 7963 人,全乡可利用草场面积 1206.2 km²,各类牲畜存栏 3.95 万头只(匹),其中牦牛 2.19 万头,绵羊 1.53 万只,山羊 1479 只,马 824 匹,牧业产值 693.81 万元^[34]。参考相关研究和行业标准 NY/T635—2015 提供的

标准羊单位转化系数^[23, 35],家牦牛 5 个标准羊单位,山羊 0.7 个标准羊单位,马 5 个标准羊单位,昂赛乡饲养家畜约 12.99 万标准羊单位。

1.2 大型野生食草动物种群数量

1.2.1 野外调查

依据 2011 年国家林业局“全国第二次陆生野生动物资源调查技术规程”采用样带法进行调查,这是一种性能稳定的监测技术^[36]。本研究于 2020 年 8 月 20 日至 23 日(暖季)和 2021 年 3 月 16 日至 19 日(冷季),对三江源澜沧江源昂赛乡大型野生食草动物进行调查,记录观察到的动物实体及发现位点等信息。

1.2.2 种群数量估算

冷暖季各野生有蹄类动物调查路线相同,采用卡方检验分析每种动物实际观察个体数冷暖季差异性,种群相对数量采用种群样带密度进行评估。使用 ArcGIS Pro 软件将航迹分割为若干条约 5 km 的样带,利用下述公式计算每条样带上各物种的种群密度(D ,只/km²)。

$$D = \frac{N}{2 \times L \times W} \quad (1)$$

式中, N 表示样带上所观察到的动物实体有效个体数(只), L 表示样带的长度(km), W 表示样带动物单侧可视宽度(km),本研究中 W 为 0.5 km。

基于每条样带的密度,采用 Bootstrap 法(重复次数 999)分别统计各物种冷暖季平均种群密度及标准误。采用最大熵(Maximum Entropy, MaxEnt)模型进行适宜栖息地分析,大型野生食草动物种群数量采用平均种群密度与适宜栖息地面积相乘来估算^[26]。通过卡方检验对冷暖季野生动物种群数量差异进行分析。

本研究中调查发现该区域分布的有蹄类野生动物主要为岩羊和白唇鹿。根据调查获得的白唇鹿和岩羊的分布数据,结合文献数据和 GBIF(Global Biodiversity Information Facility)数据库,共获得三江源自然保护区及周边区域岩羊分布位点 240 个、白唇鹿分布位点 85 个。适宜栖息地分析首先对动物的分布位点采用分辨距离(1 km)的方式筛选,避免分布点之间空间自相关对构建生态位模型造成负面影响^[37]。收集与动物相关的气候、地形、植被类型和人为干扰等 4 大类 77 小类环境变量,选取相关性较低($|r| < 0.80$)且具有更多生物学含义的环境变量^[38-40]。通过筛选特征组合(feature class selection, FC)和正则化(Regularization multiplier, RM)这两组重要参数,获取生态位模型最优参数。随机设置 75%分布位点构建生态位模型,剩余 25%分布位点用于模型验证,选择刀切法(Jackknife)并设置 10 次迭代运算,并采用 ROC 曲线和 AUC 值(ROC 曲线下面积)评估 MaxEnt 模型的精确度。将 MaxEnt 模拟生成的生境概率为 0—1 的分布图层(ASCII 文件),通过 ArcGIS 软件划分为 4 个等级,存在概率 ≥ 0.6 、0.4—0.6、0.2—0.4 和 < 0.2 分别为高适宜区、中适宜区、低适宜区和不适宜区^[41]。将高适宜区和中适宜区作为适宜分布区。

1.3 可食牧草产量及粗蛋白产量

遥感监测方法可以连续监测牧草产量的时空变化,而地面调查可以测定遥感技术难以定量捕获的植被牧草品质特征,本研究结合三江源区植被返青期、盛草期和枯黄期的样方调查数据^[24]进行草地营养状况评估,盛草期为暖季,枯黄期和返青期为冷季。

采用 250 m 空间分辨率遥感数据,利用遥感-过程耦合模型(GLOPEM-CEVSA)评估三江源昂赛乡草地植被净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP),估算该区域 2020 年可食牧草产量。模型输入数据包括经空间插值的气象栅格数据、卫星遥感的光合有效辐射吸收比(Fraction of absorbed photosynthetically active radiation, FPAR)、植被碳库、土壤质地和土壤碳库等。利用以下公式将草地 NPP 换算出单位面积的可食牧草产量^[42]:

$$Yf = \frac{H \times NPP \times A}{0.45(1+R)} \quad (2)$$

式中, Yf 是可食牧草产量(kg); H 为草地可食牧草率,取 80%^[20, 43-44];NPP 为净初级生产力(kgC/hm²); A 是草地面积(hm²);0.45 为植物生物量与 NPP 的转换系数,单位为:kgC/kg; R 为植物地下和地上生产力比例系

数,本研究中高寒草甸地下和地上生产力比例系数取 7.92^[45]。

贺福全等^[46]对三江源高寒草地牧草营养时空分布研究发现,在整个三江源面上,不同区域的同一时期、同一植被群丛粗蛋白含量是没有差异的,因此,采用根据其估算的整个三江源区返青期(17.29%)、盛草期(10.43%)和枯黄期(5.60%)的粗蛋白含量均值进行粗蛋白产量的估算。根据昂赛乡草地返青期、盛草期和枯黄期可食牧草产量,结合粗蛋白含量,利用以下公式计算粗蛋白产量:

$$Y_c = Y_f \times P \quad (3)$$

式中, Y_c 为草地粗蛋白产量(kg), Y_f 是可食牧草产量(kg); P 为粗蛋白含量百分比。

1.4 食草动物承载力及食草动物承载力压力指数

采用可食牧草承载力和粗蛋白承载力两个指标表征澜沧江源昂赛乡草地食草动物承载力。

可食牧草产量承载力计算公式如下:

$$Cl = \frac{Y_f \times U}{S_f \times G_t} \quad (4)$$

式中, Cl 为草地可食牧草理论承载力(标准羊单位); Y_f 是可食牧草产量(kg); U 草地合理利用率,参考行业标准 NY/T635—2015 及相关研究,高寒草甸的利用率取 60%^[35,43]; S_f 为标准羊单位日食用干草量(kg/d),依据行业标准 NY/T635—2015 取 1.8 kg/d,标准干草含水量为 14%,折算成 1.548 kg 的无水分干草^[19]; G_t 为放牧时间(d)。

粗蛋白承载力按照下列公式计算:

$$C_p = \frac{Y_c \times U}{S_p \times G_t} \quad (5)$$

式中, C_p 为粗蛋白承载力(标准羊单位); Y_c 、 U 和 G_t 含义同前; S_p 为标准羊单位粗蛋白日需量(kg/d),参照相关研究^[24, 47],标准羊单位维持基本代谢日需求可消化粗蛋白取 0.0539 kg,维持 45 kg 标准羊体重日需可消化粗蛋白取 0.0940 kg,标准羊单位每日增长 100 g,日需要可消化蛋白 0.1520 kg。

食草动物承载力压力指数^[44]计算公式如下:

$$I_p = \frac{C_s}{C} \quad (6)$$

式中, I_p 是承载力压力指数,其中, $I_p > 1$ 则超出承载力, $I_p < 1$ 则仍有承载潜力; C_s 草地现实食草动物承载量,包括饲养家畜和大型野生食草动物,单位为标准羊单位; C 为理论食草动物承载力,即昂赛乡冷暖季草地的理论承载力之和。

2 结果

2.1 野生有蹄类动物种群数量

2.1.1 野生动物观测数量

2020 年 8 月(暖季)、2021 年 3 月(冷季)在昂赛乡的野外有蹄类动物调查样带总长度均为 433.4 km,划分为 86 条样带。暖季野外调查中共发现岩羊 33 群 1020 只、白唇鹿 6 群 176 只、狍鹿 4 群 4 只;冷季样带调查共发现岩羊 17 群 314 只、白唇鹿 3 群 166 只、马麝 1 群 3 只。冷暖季不同动物观察数据比较结果显示岩羊暖季种群数量显著高于冷季($P < 0.05$),白唇鹿冷暖季种群数量差异不显著($P > 0.05$)。从野外观测数据来看,在昂赛乡岩羊分布范围广(图 2),暖季岩羊分布数量多,是该区域的优势种。

2.1.2 主要大型野生食草动物种群数量

样带调查计算结果显示暖季昂赛乡岩羊和白唇鹿的密度分别为(4.7014±1.3341)只/km²和(0.7946±0.4729)只/km²;冷季岩羊和白唇鹿的密度分别为(1.4466±0.6033)只/km²和(0.7700±0.4652)只/km²(表 1)。

根据 ArcGIS 解译结果,昂赛乡总面积为 1682.85 km²。岩羊和白唇鹿最大熵模型验证结果显示 10 次重复运算 AUC_{test} 的平均值分别为 0.903 和 0.875,均高于或接近 0.9,且标准差分别为 0.032 和 0.039,均小于

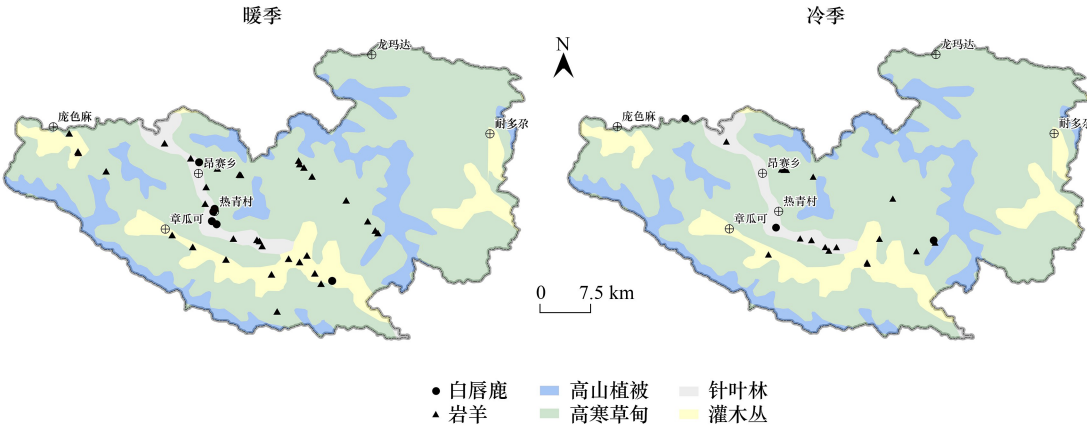


图 2 昂赛乡大型野生食草动物暖季、冷季分布示意图

Fig.2 Distribution points of wild ungulate in warm and cold seasons in Angsai Township

0.05,表明 2 种动物空间适宜性分布预测结果具有很高的准确度。基于构建的模型模拟栖息地适宜性,统计分析昂赛乡岩羊和白唇鹿适宜栖息地面积分别为 1109.1992 km²和 1488.8107 km²(表 1)。

表 1 昂赛乡大型野生食草动物适宜栖息地及种群数量调查统计表

Table 1 Statistics of large wild herbivores population in Angsai Township

物种 Species	调查时间 Seasons	种群密度/(只/km ²) Population density	适宜栖息地面积/km ² Suitable habitat area	种群数量估算/只 Estimated population size
岩羊 <i>Pseudois nayaur</i>	暖季	4.7014±1.3341	1109.1992	5215±1480
	冷季	1.4466±0.6033		1605±669
白唇鹿 <i>Cervus albirostris</i>	暖季	0.7946±0.4729	1488.8107	1183±704
	冷季	0.7700±0.4652		1146±693

由种群密度及适宜栖息地面积,估算昂赛乡岩羊暖季和冷季种群数量分别为(5215±1480)只和(1605±669)只,白唇鹿分别为(1183±704)只和(1146±693)只(表 1)。岩羊种群数量估算结果的季节差异分析与观察值结果一致,暖季显著高于冷季($P<0.001$)。

2.2 草地理论承载力及载畜压力指数

2.2.1 草地牧草产量、粗蛋白产量及理论承载力

澜沧江源昂赛乡可利用草场面积约 12.062 万 hm²,与通过 ArcGIS 解译获得昂赛乡高寒草甸面积 11.901 万 hm²基本一致,采用解译面积进行草地理论承载力分析。

通过遥感植被指数,采用 GLOPEM-CEVSA 模型,计算得到昂赛乡高寒草甸全年 NPP 为 5237 kgC/hm²,根据公式推算得到高寒草甸可食牧草产量为 12421.63×10⁴ kg(表 2)。

表 2 昂赛乡高寒草甸可食牧草及粗蛋白产量

Table 2 Edible forage and crude protein yield of alpine meadow in Angsai Township

时期 Periods	净初级生产力 Net primary productivity/(kgC/hm ²)	可食牧草 Edible forage/(×10 ⁴ kg)	粗蛋白 Crude protein/(×10 ⁴ kg)
暖季 Warm season	3818	9055.91	944.53
冷季 Cold season	1419	3365.72	413.35
全年 Full year	5237	12421.63	1357.88

根据多年平均值,研究区高寒草甸盛草期开始时间 6 月 20 日,结束时间为 9 月 18 日,通过遥感模型识别昂赛乡 2020 年盛草期开始日期为 6 月 23 日,提前了 3 d,但结束日期相对稳定,为 9 月 19 日,仅推迟 1 d,共

89 d。高寒草甸暖季和冷季 NPP 分别为 3818 kgC/hm²和 1419 kgC/hm²,结合不同物候期牧草粗蛋白含量,计算得到昂赛乡高寒草甸粗蛋白产量为 1357.88×10⁴ kg(表 2)。本研究中暖季按 89 d,冷季 277 d,全年 366 d 计算,表 3 中列出了昂赛乡草地可利用草场不同时期标准羊单位可食牧草产量承载力和在维持基本代谢、维持标准羊体重不变和标准羊体重日增长 100 g 情形下的粗蛋白承载力,结果显示可食牧草产量承载力低于粗蛋白承载力,冷季承载力低于暖季承载力。暖季、冷季和全年单位面积可食牧草产量理论承载力分别约为 3.3 标准羊单位/hm²、0.4 标准羊单位/hm²和 1.1 标准羊单位/hm²。

表 3 昂赛乡高寒草甸合理利用率下草地理论承载力
Table 3 Estimation of theoretical carrying capacity in alpine meadow in Angsai Township

时期 Periods	可食牧草承载力 Carrying capacity of productivity/ (×10 ⁴ 标准羊单位)	粗蛋白承载力 Carrying capacity of crude protein/(×10 ⁴ 标准羊单位)		
		维持基本代谢 Maintain basic metabolism	维持标准羊体重不变 Maintain 45 kg standard sheep weight	标准羊体重 日增长 100 g Daily gain 100 g of standard sheep
暖季 Warm season	39.44	118.14	67.74	41.89
冷季 Cold season	4.71	16.61	9.52	5.89
全年 Full year	13.15	41.30	23.68	14.64

2.2.2 野生动物的现实载畜量及有蹄类动物载畜压力指数

参考行业标准 NY/T635—2015 提供的标准羊单位转化系数^[23, 35],岩羊 0.8 个标准羊单位(成年岩羊体重约 40 kg),白唇鹿 4 个标准羊单位(成年白唇鹿体重超过 200 kg),将昂赛乡大型野生食草动物调查结果转换为标准羊单位,暖季野生动物约(0.89±0.40)万标准羊单位,冷季约(0.59±0.33)万标准羊单位,全年野生动物实际载畜量共约(0.67±0.35)万标准羊单位。在满足野生动物需求情况下,昂赛乡暖季、冷季和全年可承载家畜分别(38.55±0.40)万标准羊单位、(4.12±0.33)万标准羊单位和(12.48±0.35)万标准羊单位。

昂赛乡 2020 年家畜载畜量为 12.99 万标准羊单位。仅考虑家畜,昂赛乡可利用草场可食牧草载畜压力指数为 0.9878,综合考虑家畜和野生动物,载畜压力指数为(1.0388±0.0510),其中家畜载畜压力指数为 0.9878,贡献率约为 95.1%,大型野生食草动物载畜压力指数为(0.0510±0.0266),贡献率为 4.9%。在维持基本代谢、维持标准羊体重不变和标准羊体重日增长 100 克情形下,昂赛乡可利用草场粗蛋白承载力压力指数分别为(0.3308±0.0085)(0.5769±0.0148)和(0.9331±0.0239)。

3 讨论

食草动物牧食是三江源国家公园高寒草地利用的最主要方式^[27],本研究以冷暖季草地初级生产力和草地面积为基础,根据家畜和野生动物牧草和营养需求,通过放牧压力指数评估昂赛乡草畜平衡状态。

3.1 昂赛乡草地理论承载力

产草量是草地载畜能力的基础,产草量即草地植被的地上生物量,是根据地下与地上部分生物量的比例系数估算的。通常,草地的该比例系数随着草地类型、年龄、生境、气候和人为放牧影响而发生变化^[45],朴世龙等研究采用的地下和地上生产力比例系数^[45],在青藏高原相关研究中与实测数据具有较好的一致性^[48],因此本研究中高寒草甸地下和地上生产力比例系数采用该研究结果,取 7.92^[45]。可食牧草率和草地合理利用率等影响理论承载力的估值,本研究依据有关文献^[20, 35, 43—44],分别取 80%和 60%。基于以上参数的取用,基于遥感植被指数和 GLOPEM-CEVSA 模型获得的 NPP 估算,2020 年昂赛乡可利用草场面积约 12.062 万 hm²,在草地合理利用率下,全年有蹄类动物可食牧草产量承载力为 13.15 万标准羊单位,约为 1.1 标准羊单位/hm²,高于长江源园区曲麻河乡草场可食牧草承载力 0.6 标准羊单位/hm²^[28],这符合三江源地区产草量由东南向西北逐渐递减的空间分布特点^[49]。

研究认为一般牧草产量载畜量低于营养载畜量^[16],长江源园区和黄河源园区的研究显示牧草产量承载

力低于粗蛋白承载力^[24,50],本研究澜沧江源的可食牧草产量承载力与粗蛋白承载力相比,低于维持基础代谢、维持标准羊单位体重不变和标准羊体重日增长 100 克等多种情景下的粗蛋白理论承载力。草地粗蛋白产量存在时间不均衡性,冷季粗蛋白产量低,枯黄期可食粗蛋白几乎都来源于盛草期的存量牧草供给,而进入枯黄期,牧草营养质量会降低,因此全年有效可食粗蛋白产量实际上低于估算值,采用粗蛋白承载力将高估草地承载力。同时考虑到可食牧草承载力低于粗蛋白承载力,采用可食牧草承载力更利于实现三江源国家公园草畜平衡,也更符合生态保护和生物多样性保护的目标。

与耿远月等^[51]在黄河源园区的研究比较发现,黄河源园区盛草期承载力(1.18—1.72 标准羊单位/hm²)低于澜沧江源园区昂赛乡(3.3 标准羊单位/hm²),而枯草期黄河源园区(0.32—0.78 标准羊单位/hm²)与澜沧江源园区昂赛乡(0.4 标准羊单位/hm²)差别不明显,这可能与三江源国家公园不同区域草地生产力存在差异有关,但更主要的原因可能是两个研究牧草产量计算方法不同。黄河源园区研究采用地面样方调查法,采用生物量最高时的植被可食牧草产量,本研究采用遥感-过程耦合模型,是一段时期生物量的增量累积。盛草期草地在牧食作用下,草地补偿生长现象明显,累积可食牧草产量高于任何时间点的牧草产量;而枯草期草地植被生长几乎处于停滞状态,冷季累积牧草产量低,而样方调查牧草生物量包含盛草期食草动物牧食结余量和部分枯草期新增量。这提示我们,在开展草地承载力研究时,为了获取更科学的评估结果,针对不同季节草场,采用不同的生物量调查方法,夏季和秋季牧场可以采用能够反映生物量累积情况的遥感-过程耦合模型,而冬春牧场适合采用地面样方调查,或通过评估返青期、盛草期和枯草期的累积生物量而不是仅仅估算枯草期生物量。

3.2 昂赛乡大型食草动物现实承载力与承载压力

目前,草地承载力研究对野生食草动物数量考虑较少,对黄河源园区玛多县的研究结果表明,不考虑大型食草野生动物,载畜压力将被低估^[26—27,36]。三江源国家公园分布着数量众多的野生动物,近年来随着保护力度加大,野生有蹄类动物数量增长明显。因此,本研究同时考虑野生动物和家畜来评估草地承载压力。有蹄类动物数量调查统计结果显示,昂赛乡 2020 年存栏家畜约合 12.99 万标准羊单位,野生动物载畜量共约(0.67±0.35)万标准羊单位。仅考虑家畜,昂赛乡草地可食牧草载畜压力指数<1,不超载,表明三江源国家公园减畜政策和生态保护补偿制度^[52]起到了较好的效果,三江源国家公园生境质量呈上升趋势^[53]。综合考虑家畜和野生动物,昂赛乡可利用草场可食牧草载畜压力指数为(1.0388±0.0510),有超载的风险,这与长江源园区曲麻河乡的情况相似^[28],野生动物影响草地是否超载,在草地承载力评估中不能忽视。综上,仅用家畜统计数据估算现实载畜量,其结果不能完全反映草地承载压力^[27]。在制定减畜目标时,只有综合考虑当地野生动物分布情况,才能真正实现草畜平衡不超载。昂赛乡家畜对载畜压力指数的贡献超过 95%,而野生动物不足 5%,可以看出,该区域草场牧食压力主要来自放牧家畜而不是野生动物^[26—28],实现草畜平衡,需要在野生动物调查监测的基础上,重点控制家畜数量或实施补饲。

3.3 草地承载力评估应重视季节因素

三江源区天然放牧草地牧草产草量和营养品质季节性变化大^[54],受不同物候期草地可食牧草供给和牧草粗蛋白含量变化影响,昂赛乡产草量和粗蛋白产量存在季节不均衡,冷季牧草产量承载力和粗蛋白承载力均低于暖季。采用全年草地理论承载力指导载畜量,会导致草地在暖季欠载、冷季超载、全年草畜供求失衡的局面。因此,草地承载力评估需要重视季节变化,并区分不同季节牧场。为了缓解草畜时空相悖,可采取增加草盛期末家畜出栏量,或在国家公园外围区水土条件较好的区域发展优质、高产人工牧草种植,作为冷季家畜的饲草补给等管理措施。贺福全等对三江源及其周边地区的天然草地不同生长期牧草营养变化研究显示枯草期粗蛋白含量最低^[46],孙鹏飞等人对三江源区不同季节放牧草场天然牧草营养价值评定都显示粗蛋白含量随牧草生长而逐渐降低^[54]。由于牧草粗蛋白含量存在季节变化,在区分不同季节牧场开展粗蛋白理论承载力时,冬春季牧场牧草粗蛋白输出量的估算不能累积全年的粗蛋白量,而应该采用全年牧草产量与枯草期牧草粗蛋白含量百分比进行计算。

有研究表明,完整载畜量估算应当充分考虑四季牧场的划分和放牧天数等^[55]。本研究中考虑了草场暖季和冷季的可食牧草和粗蛋白承载力,但没有区分草场利用的季节性。在未来的草地承载力评价研究中,需要在牧草产量评估基础上,根据草场放牧季节可食牧草产量和粗蛋白含量百分比计算粗蛋白量,进而结合放牧天数,评估理论载畜量。此外,由于野生动物的季节性迁移,同一地理范围内野生动物冷暖季分布不同,昂赛乡野生动物换算成标准羊单位后,暖季数量约为冷季的 1.5 倍。对牧场特定季节野生动物和家畜的数量进行具体的调查研究,可以提高草地有蹄类动物承载压力评估的准确性。

4 结论与展望

本研究结果表明昂赛乡牧草产量承载力低于粗蛋白承载力,牧草产量承载力更符合生态保护目标。在满足大型野生食草动物需求的前提下,昂赛乡可食牧草可承载(12.48±0.35)万个标准羊单位的家畜。仅考虑家畜,昂赛乡载畜量在合理水平,综合考虑家畜和野生动物,有超载的风险,野生动物对载畜压力指数的贡献约 5%,是草畜平衡不可忽视的部分。由于草地生产力、粗蛋白等营养物质含量、草场利用、野生动物分布等存在季节变化,为实现草畜平衡精细化管理,今后有必要开展草地承载力时空动态评估,为合理配置放牧强度,控制季节性超载和局部超载提供支撑。

参考文献(References):

- [1] 黄麟,樊江文,杨智,王冠聪,李愈哲,张海燕,张雅娴,石俊华,王穗子. 草原健康、退化与恢复一体化评估:概念与方法. 科学通报, 2024, 69(15): 2015-2024.
- [2] 徐敏云,贺金生. 草地载畜量研究进展:概念、理论和模型. 草业学报, 2014, 23(3): 313-324.
- [3] 徐敏云,高立杰,李运起. 草地载畜量研究进展:参数和计算方法. 草业学报, 2014, 23(4): 311-321.
- [4] Chi D K, Wang H, Li X B, Liu H H, Li X H. Assessing the effects of grazing on variations of vegetation NPP in the Xilingol Grassland, China, using a grazing pressure index. Ecological Indicators, 2018, 88: 372-383.
- [5] 李静鹏,郑志荣,赵念席,高玉葆. 刈割、围封、放牧三种利用方式下草原生态系统的多功能性与植物物种多样性之间的关系. 植物生态学报, 2016, 40(8): 735-747.
- [6] 沈海花,朱言坤,赵霞,耿晓庆,高树琴,方精云. 中国草地资源的现状分析. 科学通报, 2016, 61(2): 139-154.
- [7] 莫兴国,刘文,孟铤铤,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.
- [8] Proulx M, Mazumder A. Reversal of grazing impact on plant species richness in nutrient-poor vs. nutrient-rich ecosystems. Ecology, 1998, 79(8): 2581.
- [9] 刘纪远,徐新良,邵全琴. 近 30 年来青海三江源地区草地退化的时空特征. 地理学报, 2008, 63(4): 364-376.
- [10] Zhang H Y, Fan J W, Wang J B, Cao W, Harris W. Spatial and temporal variability of grassland yield and its response to climate change and anthropogenic activities on the Tibetan Plateau from 1988 to 2013. Ecological Indicators, 2018, 95: 141-151.
- [11] 付伟,赵俊权,杜国祯. 青藏高原高寒草地放牧生态系统可持续发展研究. 草原与草坪, 2013, 33(1): 84-88.
- [12] Li W L, Liu C L, Wang W Y, Zhou H K, Xue Y T, Xu J, Xue P F, Yan H P. Effects of different grazing disturbances on the plant diversity and ecological functions of alpine grassland ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau. Frontiers in Plant Science, 2021, 12: 765070.
- [13] 王舒新,秦洁,李江文,占布拉,韩国栋. 不同放牧强度下短花针茅荒漠草原生态系统服务价值评估. 草原与草业, 2018, 30(2): 38-44.
- [14] 靳茗茗,徐增让,成升魁. 藏北高寒草地植被和土壤对不同放牧强度的响应. 生态学报, 2020, 40(23): 8753-8762.
- [15] 宋伟江,苏纪帅,张梦迪,赵玉金,王忠武,贾玉山,白永飞. 中国北方草地植物补偿性生长与合理放牧强度:基于放牧实验的整合分析. 科学通报, 2023, 68(11): 1330-1342.
- [16] 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.
- [17] 钱拴,毛留喜,侯英雨,伏洋,张海珍,杜军. 青藏高原载畜能力及草畜平衡状况研究. 自然资源学报, 2007, 22(3): 389-397, 498.
- [18] Fan J W, Shao Q Q, Liu J Y, Wang J B, Harris W, Chen Z Q, Zhong H P, Xu X L, Liu R G. Assessment of effects of climate change and grazing activity on grassland yield in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai-Tibet Plateau, China. Environmental Monitoring and Assessment, 2010, 170(1/2/3/4): 571-584.
- [19] Zhang J P, Zhang L B, Liu W L, Qi Y, Wo X. Livestock-carrying capacity and overgrazing status of alpine grassland in the Three-River Headwaters Region, China. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24(2): 303-312.
- [20] 钱前,张秀娟,王军邦,叶辉,李英年,张志军. 2005—2017 年青海三江源区草地家畜承载力时空格局研究. 草地学报, 2021, 29(6): 1311-1317.
- [21] 赵卫,沈渭寿,刘波,林乃峰,王涛. 西藏地区草地承载力及其时空变化. 科学通报, 2015, 60(21): 2014-2028.
- [22] 薛艳锋,郝力壮,刘书杰. 玉树州藏嵩草草地牧草营养价值评定与营养载畜量. 草业科学, 2015, 32(10): 1660-1667.

- [23] 徐田伟,王循刚,赵新全,毛绍娟,刘宏金,胡林勇,耿远月,张晓玲,赵娜,康生萍,赵亮,徐世晓.三江源国家公园典型高寒草地冷季牧草营养特征与食草动物承载力.科学通报,2020,65(32):3610-3618.
- [24] 贺福全,陈懂懂,李奇,霍莉莉,赵亮,李春丽,陈昕.三江源区高寒草地营养承载力时空格局.草地学报,2021,29(12):2808-2816.
- [25] 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.
- [26] Gao H M, Jiang F, Chi X W, Li G Y, Cai Z Y, Qin W, Zhang J J, Wu T, Zhang T Z. The carrying pressure of livestock is higher than that of large wild herbivores in Yellow River source area, China. Ecological Modelling, 2020, 431: 109163.
- [27] 杨帆,邵全琴,郭兴健,李愈哲,王东亮,张雅娴,汪阳春,刘纪远,樊江文.玛多县大型野生食草动物种群数量对草畜平衡的影响研究.草业学报,2018,27(7):1-13.
- [28] Cai Z Y, Song P F, Wang J B, Jiang F, Liang C B, Zhang J J, Gao H M, Zhang T Z. Grazing pressure index considering both wildlife and livestock in Three-River Headwaters, Qinghai-Tibetan Plateau. Ecological Indicators, 2022, 143: 109338.
- [29] Yang F, Shao Q Q, Guo X J, Tang Y Z, Li Y Z, Wang D L, Wang Y C, Fan J W. Effect of large wild herbivore populations on the forage-livestock balance in the source region of the Yellow River. Sustainability, 2018, 10(2): 340.
- [30] 王守兴,徐增让,乔添,张彪,魏子谦,杨明新.基于草地承载力的畜兽冲突强度研究.地理科学进展,2023,42(11):2186-2197.
- [31] 周华坤,赵新全,周立,唐艳鸿,刘伟,师燕.层次分析法在江河源区高寒草地退化研究中的应用.资源科学,2005,27(4):63-70.
- [32] 贾幼陵.草原退化原因分析和草原保护长效机制的建立.中国草地学报,2011,33(2):1-6.
- [33] 王妍.国家公园体制内自然、人与权力的研究[D].北京:中央民族大学,2021.
- [34] 杂多县人民政府网.宝地杂多-乡镇概况-昂赛乡概况.(2021-11-03)[2023-05-24].<http://www.zaduo.gov.cn/html/1080/332922.html>
- [35] 中华人民共和国农业部. NY/T635—2015 天然草地合理畜量的计算. 2015. [2023-05-27]. <https://www.sdtdata.com/fx/fmrule/tsLibCard/154333.html>.
- [36] 王宇航,龚明昊,文苑玉,刘刚,李惠鑫.自然保护区野生动物监测技术应用现状及研发需求.国家公园(中英文),2024,2(3):166-175.
- [37] Jiang F, Li G Y, Qin W, Zhang J J, Lin G H, Cai Z Y, Gao H M, Zhang T Z. Setting priority conservation areas of wild Tibetan gazelle (*Procapra picticaudata*) in China's first National Park. Global Ecology and Conservation, 2019, 20: e00725.
- [38] Carlos-Júnior L A, Neves D M, Barbosa N P U, Moulton T P, Creed J C. Occurrence of an invasive coral in the southwest Atlantic and comparison with a congener suggest potential niche expansion. Ecology and Evolution, 2015, 5(11):2162-2171.
- [39] Kumar S, LeBrun E G, Stohlgren T J, Stabach J A, McDonald D L, Oi D H, LaPolla J S. Evidence of niche shift and global invasion potential of the Tawny Crazy ant, *Nylanderia fulva*. Ecology and Evolution, 2015, 5(20):4628-4641.
- [40] Johnson T L, Bjork J K H, Neitzel D F, Dorr F M, Schiffman E K, Eisen R J. Habitat suitability model for the distribution of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) in Minnesota. Journal of Medical Entomology, 2016, 53(3):598-606.
- [41] Padalia H, Srivastava V, Kushwaha S P S. How climate change might influence the potential distribution of weed, bushmint (*Hyptis suaveolens*)? Environmental Monitoring and Assessment, 2015, 187(4):210.
- [42] 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.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [46] 贺福全,陈懂懂,李奇,陈昕,霍莉莉,赵亮,赵新全.三江源高寒草地牧草营养时空分布.生态学报,2020,40(18):6304-6313.
- [47] 郝力壮,刘书杰,吴克选,赵月平,张晓卫.玛多县高山嵩草草地天然牧草营养评定与载畜量研究.中国草地学报,2011,33(1):84-89.
- [48] 王立景,肖懿,孔令桥,吴炳方,欧阳志云.青藏高原草地承载力空间演变特征及其预警.生态学报,2022,42(16):6684-6694.
- [49] 李猛,何永涛,付刚,石培礼,张宪洲,孙建,李仁强,王军邦.基于TEM模型的三江源草畜平衡分析.生态环境学报,2016,25(12):1915-1921.
- [50] 陈懂懂,李奇,霍莉莉,陈昕,贺福全,张莉,舒敏,张煜坤,赵亮.长江源和黄河源区草地牧草养分、理论承载力及饲用价值.草地学报,2023,31(7):2186-2193.
- [51] 耿远月,徐田伟,王循刚,张骞,张晓玲,康生萍,胡林勇,刘宏金,赵娜,罗崇亮,李英年,徐世晓.黄河源园区典型高寒草原牧草营养特征及家畜承载力研究.草地学报,2022,30(7):1829-1835.
- [52] 王湘国.三江源国家公园保护价值与管理模式.国家公园(中英文),2023,1(1):62-66.
- [53] 杨文平,邵怀勇,黄佳容,黄宝荣.青藏高原国家公园群生境质量评估.国家公园(中英文),2023,1(2):99-109.
- [54] 孙鹏飞,崔占鸿,刘书杰,柴沙驼,郝力壮,王迅.三江源区不同季节放牧草场天然牧草营养价值评定及载畜量研究.草业学报,2015,24(12):92-101.
- [55] 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.