第 29 卷 第 6 期 草 地 学 报 2021 年 6 月
Vol. 29 No. 6 ACTA AGRESTIA SINICA Jun. 2021

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2021.06.022

2005－2017 年青海三江源区草地家畜承载力时空格局研究

钱 前[1,2#]，张秀娟[1#]，王军邦[2*]，叶 辉[3]，李英年[4]，张志军[5]

(1. 长江大学园艺园林学院，湖北 荆州 434023；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. 九江学院旅游与地理学院，江西 九江 332005；4. 中科院西北高原生物研究所，青海 西宁 810001；5. 青海省生态环境监测中心，青海 西宁 810007)

摘要：位于青藏高原腹地的青海三江源是全球气候变化的启动区和脆弱区，是我国国家生态安全屏障。为有效遏制该地区高寒草地生态退化，在 2005—2017 年先后实施了生态保护和建设一期工程、二期工程。本研究应用基于卫星遥感模型估算的植被净初级生产力及家畜存栏统计数据，对三江源生态保护和建设工程实施以来草地理论载畜量及载畜压力时空变化及其原因进行了分析。结果表明：2005—2017 年间三江源区理论载畜量呈现不显著降低趋势，较之前一期工程期间，二期工程实施期间理论载畜量降低了 6.75%；一期工程实施期间现实载畜总量 2 041.39万羊单位，载畜压力指数 1.38；而二期工程实施期间，可能由于气候暖干化使得理论载畜量降低，以及实施减畜政策与补偿的不对等关系，导致现实载畜总量增至 2 216.40 万羊单位，载畜压力指数增至 1.60。研究结果表明生态保护和建设工程仍然面临着艰巨而又复杂的挑战。

关键词：三江源；高寒草地；载畜压力

中图分类号：S812 **文献标识码**：A **文章编号**：1007-0435(2021)06-1311-07

The Spatio-temporal Pattern of Grazing Pressure in the Three-River Headwaters in Qinghai Province from 2005 to 2017

QIAN Qian[1,2#], ZHANG Xiu-juan [1#], WANG Jun-bang[2*], YE Hui [3], LI Ying-nian[4], ZHANG Zhi-jun[5]

(1. College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou, Hubei Province 434023, China; 2. National Ecosystem Science Data Center, Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. College of Tourism and Geography, Jiujiang University, Jiujiang, Jiangxi Province 332005, China; 4. Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai Province 810001, China; 5. Qinghai Eco-environment Monitoring Center, Xining, Qinghai Province 810007, China)

Abstract: Three-River Headwaters, located in the hinterland of the Tibetan Plateau, is sensitive to global climate changes. It was considered as ecological security defense for China. To restore the degraded alpine grassland in the region, the first and second stage of Ecological Protection and Construction project were completed in 2005－2017. The net primary productivity, estimated by satellite remote sensing-based model, and the statistic data on the livestock were applied to analyze the spatial-temporal change of the theoretical livestock carrying capacity and the grazing pressure in 2005－2017 and its changing reasons were discussed in this study. The results showed that the theoretical livestock carrying capacity had an insignificant decreasing trend and the capacity in the second stage decreased by 6.75% comparing to that in the first stage. In the first stage, the actual livestock was 20.414 million SU with a grazing pressure index of 1.38. However, in the second stage, the actual livestock increased to 22.164 million SU and the pressure index increased to 1.60, which were caused by the climate warming and drying. Due to the imbalance between the restrict livestock reduction policy and inadequate compensation, the herders raised more animals to maintain revenue. This study implicated that the project still faces very tough and complex challenges.

收稿日期：2020-11-13；**修回日期**：2021-01-04

基金项目：中国科学院战略性先导科技专项(XDA23100202)；中国科学院青海省人民政府联合专项(YHZX-2020-07)；第二次青藏高原综合考察研究(2019QZKK0302)资助

作者简介：#钱前(1996-)，女，河北廊坊人，硕士，主要从事草地生态学研究，E-mail：724528916@qq.com；#张秀娟(1979-)，女，河北保定人，博士，副教授，硕士生导师，主要从事生态系统恢复研究，E-mail：zxj510@yangtzeu.edu.cn；*通信作者 Author for correspondence，E-mail：jbwang@igsnrr.ac.cn

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Key words: Three-River headwaters; Alpine grassland; Grazing pressure index

草原是全球及中国最大的陆地生态系统，具有很高的生态和经济价值[1-2]。合理的放牧强度下，植物的生产力和物种多样性都会增加[3-4]，过度放牧草场则会出现退化、沙化加剧的现象[5-6]，影响生态系统物质循环[7-8]。因此，必须制定适当的政策严格控制人为经济放牧活动强度，协调人与自然的关系[9]。通过退牧还草工程效应评估发现，植被盖度与产草量都有不同程度的增加[10]，实施恢复工程是区域沙源固定、碳汇增加和饲草供应恢复的有效方法[11]。

三江源区位于青藏高原腹地，青海省南部，是中国及东南亚的江河之源，是我国中下游可持续发展的生态安全屏障(图 1)。三江源区是典型高原大陆性气候，水热同期、年温差小、日温差大，干旱、雪灾、暴雨等气象灾害时有发生，是生态脆弱区[12]。草地是三江源主要的植被类型，放牧是牧民主要的谋生方式，随着当地人口的增加，牲畜数量也发生变化。由于人类活动与气候共同影响，草地已经发生不同程度的退化，为保护三江源脆弱区草原生态系统，国家实施了一期、二期生态保护和建设工程。目前已经针对工程成效开展了净初级生产力(Net primary productivity，NPP)时空格局变化[13]，生态工程实施前后载畜压力情况[14]，草地退化趋势[15-16]等研究。但综合对比生态工程一期、二期两期的草地承载力方面研究较少。因此，有必要基于长时间序列数据，分析生态工程的实施对草地承载力的影响及草地承载力变化的原因，以期为进一步实施生态保护和建设工程提供科学参考。

本研究以卫星遥感的净初级生产力(NPP)数据为基础，分析 2005—2017 年三江源区及各县、国家公园区的理论载畜量和载畜压力的动态变化，对生态工程减畜成效进行评估，以期为生态保护和建设工程的长期实施提供理论支撑。

1 材料与方法

三江源区 2005—2017 年 250 m 空间分辨率 NPP 数据来源于 GLOPEM-CEVSA 模型[17-18]。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。

气象栅格数据利用全国 750 个气象台站每日的气温、降水量、风速、日照时数和相对湿度数据计算每 8 d

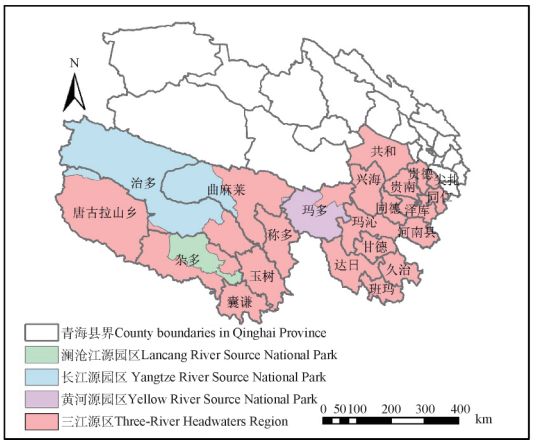

图 1 研究区域

Fig. 1 Study area

的平均值，再利用 ANUSPLIN 插值软件进行空间内插，得到每 8 d 空间分辨率为 250 m 的数据。FPAR 是利用 250 m 空间分辨率 MODIS 波段反射率数据计算得到。基于该模型的净初级生产力数据已经在三江源等多个地区进行了应用研究[19]。

载畜压力指数为草地现实载畜量(Cs)与理论载畜量(Cl)之比。草地现实载畜量根据年末家畜存栏量折算为标准羊单位(SU)；理论载畜量基于卫星遥感的净初级生产力(NPP)计算。具体计算公式如下：

$$Ip = Cs/Cl \tag{1}$$

$$Cs = Cn \times (1 + Ch) \times Gt/Ar/365 \tag{2}$$

Ip 是载畜压力指数，其中，$Ip > 1$ 则超载放牧，$Ip < 1$ 则仍有载畜潜力；Cs 为单位面积草地现实载畜量，单位为 $SU \cdot hm^{-2}$；Cn 为年末家畜存栏量，大家畜按 4 个羊单位计算，单位为 SU，数据来源于三江源区各县域统计资料；Ch 为家畜出栏率，根据三江源实际情况取 30%[14]；Gt 为放牧时间以全年 365 d 放牧计算；Ar 为草地面积，单位为 hm^2。

$$Cl = Ym \times Ut \times Co \times Ha/Sf/Gt \tag{3}$$

其中，Cl 为单位面积草地理论载畜量，单位为：$SU \cdot hm^{-2}$；Ym 是单位面积草地产草量，单位为：$kg \cdot hm^{-2}$；Ut 为牧草利用率，取 70%；Co 为草地可利用率，取 92%；Ha 为草地可食牧草率，取 80%；Sf 为日食用干草量，单位为：$kg \cdot d^{-1}$，依据中华人民共和国农业行业标准—天然草地合理载畜量的计算取 1.8 $kg \cdot d^{-1}$；Gt 与公式(2)一致。

GLOPEM-CEVSA 模型计算的 NPP 为包括地上和地下的净初级生产力，采用早期实测地上和地下生物量，然后分草地类型计算地上和地下生产力比

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$R_{BNPP/ANPP}$,进而将 NPP 换算为产草量:

$$GY = NPP/(1 + R_{BNPP/ANPP}) \quad (4)$$

$$BNPP = BGB \times (liveBGB/BGB) \times turnover \quad (5)$$

$$Turnover = 0.0009 \times ANPP + 0.25 \quad (6)$$

其中,GY 是草地产草量,单位为:kg・hm^{-2};NPP 为净初级生产力,单位为:gC・$m^{-2}a^{-1}$;BNPP 为植被地下部分生产力;ANPP 为植被地上部分生产力;BGB 为地下植被生物量;BGB 与 ANPP 采用 2003—2005 年高寒草甸、高寒草原、高寒荒漠、温性草原等地下生物量和地上生物量实测数据;liveBGB/BGB = 0.79[20];turnover 为根系周转值。

2　结果与分析

2.1　理论载畜量

2.1.1　各县草地理论载畜量变化　2005—2017 年期间,三江源区草地理论载畜量呈年际波动变化(图 2)。其中,一期工程实施期间(2005—2012 年),三江源区草地理论载畜量为 0.62 SU・hm^{-2},理论载畜总量为 1 490.74 万只标准羊单位,呈不显著增长趋势;二期工程实施后 5 年(2013—2017 年),草地的平均理论载畜量为 0.59 SU・hm^{-2},理论载畜总量为 1 390.19 万只标准羊单位,呈现不显著降低的趋势,相比一期工程实施期间降低了 6.75%。然而,单因素方差分析表明(表 1),三江源区两期理论载畜量间差异不显著(P = 0.21),即理论载畜量继续保持稳定。

图 2　2005—2017 年三江源平均理论载畜量变化动态

Fig. 2　Changes of average theoretical livestock carrying capacity of Three-River Headwaters in 2005－2017

表 1　三江源区两期理论载畜量间方差分析

Table 1　ANOVA for the theoretical livestock carrying capacity in the two periods in Three-River Headwaters region

差异源 Source of differences	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value	F 的临界值 F critical value
组间 Between groups	0.096	1	0.097	1.78	0.21	4.84
组内 Within group	0.590	11	0.050			

在空间上草地理论载畜量表现出较明显的区域分异特点(图 3,图 4)。一期工程实施期间(2005—2012 年),河南县的草地理论载畜量最高,为 1.95 SU・hm^{-2};其次是泽库县、同仁县、尖扎县和同德县,平均草地理论载畜量分别为 1.70 SU・hm^{-2},1.69 SU・hm^{-2},1.69 SU・hm^{-2}和 1.57 SU・hm^{-2};治多县和唐古拉山乡的平均草地理论载畜量最低,分别为 0.40 SU・hm^{-2}和 0.31 SU・hm^{-2}。

西部曲麻莱县和治多县理论载畜量下降幅度最多,分别下降了 14.29%,10.23%;囊谦县、玉树市、杂多县的平均草地理论载畜量减少最多,分别减少了 0.10 SU・hm^{-2},0.10 SU・hm^{-2},0.08 SU・hm^{-2},下降幅度分别为7.23%,7.78%,9.98%;东部尖扎县、同德县较一期工程实施期间分别上升了 1.92%,0.84%。其余各县一期和二期工程前后两个时段草地理论载畜量变化量均有所下降(表 2)。

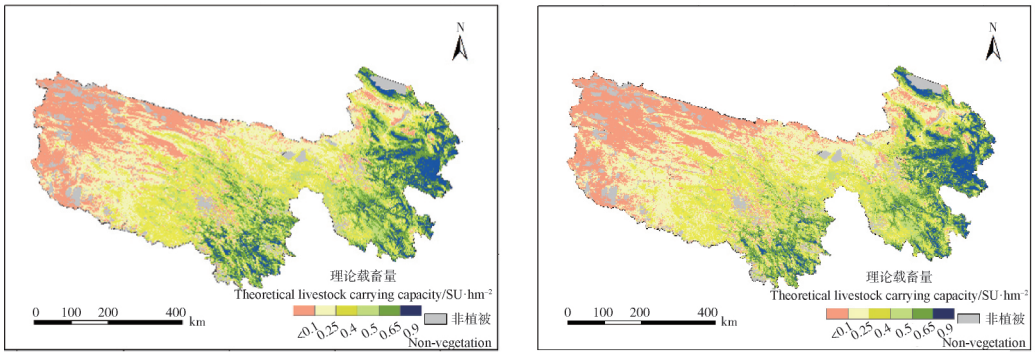

图 3　三江源区生态保护和建设工程实施两个时段平均理论载畜量的空间格局

Fig. 3　Spatial pattern of theoretic livestock carrying capacity in two periods of the ecological protection programs in Three-River Headwaters region

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

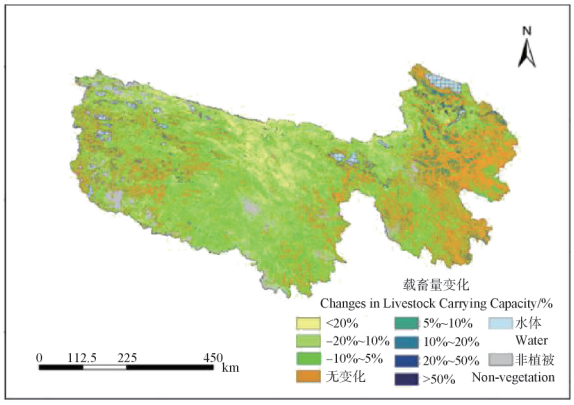

图 4 工程两个时段多年平均载畜量的变化

Fig. 4 Changes in the annual average livestock carrying capacity of the two periods of the ecological protection program in Three-River Headwaters region

表 2 各县一期和二期工程前后两个时段草地理论载畜量变化

Table 2 Changes of theoretical livestock carrying capacity after the first and second stages of the conservation and restoration project in Three-River Headwaters county

县域 County	2005—2012 年 2005—2012/ SU·hm^{-2}	2013—2017 年 2013—2017/ SU·hm^{-2}	变化率 Change rate/ %
共和县 Gonghe	0.77	0.77	−1.04
贵德县 Guide	1.20	1.17	−2.44
治多县 Zhiduo	0.40	0.36	−10.23
兴海县 Xinghai	1.13	1.12	−1.18
尖扎县 Jianzha	1.69	1.72	1.92
贵南县 Guinan	1.22	1.18	−2.97
同仁县 Tongren	1.69	1.65	−2.00
曲麻莱县 Qumalai	0.55	0.47	−14.29
同德县 Tongde	1.57	1.58	0.84
玛多县 Maduo	0.67	0.62	−7.77
泽库县 Zeku	1.70	1.69	−0.38
玛沁县 Maqin	1.15	1.14	−1.21
唐古拉山乡 Tanggula Mountain	0.31	0.29	−5.09
河南县 Henan	1.95	1.89	−3.18
称多县 Chengduo	0.99	0.92	−7.12
甘德县 Gande	1.40	1.33	−4.73
达日县 Dari	1.14	1.09	−4.54
久治县 Jiuzhi	1.46	1.44	−1.56
杂多县 Zaduo	0.82	0.74	−9.98
玉树市 Yushu	1.29	1.19	−7.78
班玛县 Banma	1.45	1.41	−2.69
囊谦县 Nangqian	1.34	1.25	−7.23
贵南县 Guinan	1.40	1.38	−1.30

2.1.2 国家公园区草地理论载畜量变化 一期工程实施期间(2005—2012 年),三江源区黄河源园区、长江源园区、澜沧江源园区的草地理论载畜量分别为 0.70 SU·hm^{-2},0.35 SU·hm^{-2},0.91 SU·hm^{-2}。二期工程实施后(2013—2017 年),三江源区黄河源园区、长江源园区、澜沧江源园区的草地理论载畜量分别为 0.65 SU·hm^{-2},0.31 SU·hm^{-2},0.94 SU·hm^{-2}。其中澜沧江源园区理论载畜量呈增加趋势,增幅为2.76%;黄河源园区和长江源园区呈降低趋势,较前期减少了 0.05 SU·hm^{-2} 和 0.04 SU·hm^{-2},减幅分别为 10.89%和 6.65%(表 3)。

表 3 三江源国家公园区一期和二期工程前后两个时段草地理论载畜量的变化

Table 3 Changes of theoretical livestock carrying capacity after the first and second stages of the conservation and restoration project in Three-River Headwaters national park

国家公园 National park	2005—2012/ SU·hm^{-2}	2013—2017/ SU·hm^{-2}	增幅 Change Range/%
澜沧江源园区 Lancang River Source National Park	0.91	0.94	2.76
长江源园区 Yangtze River Source National Park	0.35	0.31	−10.89
黄河源园区 Yellow River Source National Park	0.70	0.65	−6.65

2.2 年末家畜存栏量与现实载畜总量

1988 年以来现实载畜总量的变化如图 5 所示,1993 年现实载畜总量为最高,达 2 886.96 万羊单位,一期工程实施期间(2005—2012 年)现实载畜总量 2 041.39 万只;二期工程实施后(2013—2017 年)现实载畜总量平均为 2 216.40 万羊单位,增长趋势为 73.76 万羊单位·a^{-1},增长趋势较显著(Slope=73.76 万羊单位·a^{-1},R^2=0.78,P<0.05)。

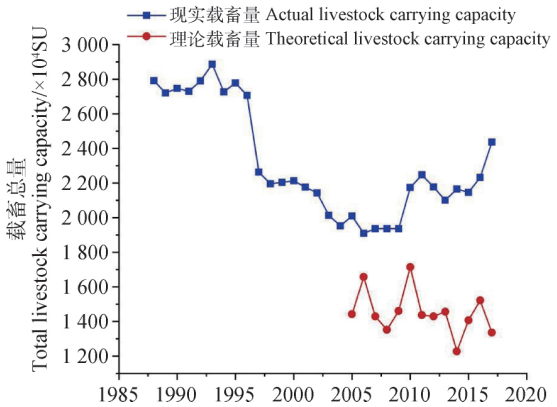

图 5 三江源地区 1988 年以来草地理论载畜总量和现实载畜总量动态变化

Fig. 5 Dynamic changes of the total theoretical and actual livestock carrying capacity in Three-River Headwaters region since 1988

根据青海畜牧厅统计数据显示(图 6),三江源地

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

区 16 个县,年末家畜存栏数在一期工程实施期间(2005—2012 年)居首位的是兴海县,为 163.97 万只标准羊单位;其次是河南县、玉树市、泽库县和同德县,年末存栏数分别为 151.73 万只、143.74 万只、136.79 万只和 128.54 万只标准羊单位;玛多县和称多县最低,分别为 27.24 万只和 61.37 万只,其余各县年末存栏数在 70～110 万只标准羊单位之间。

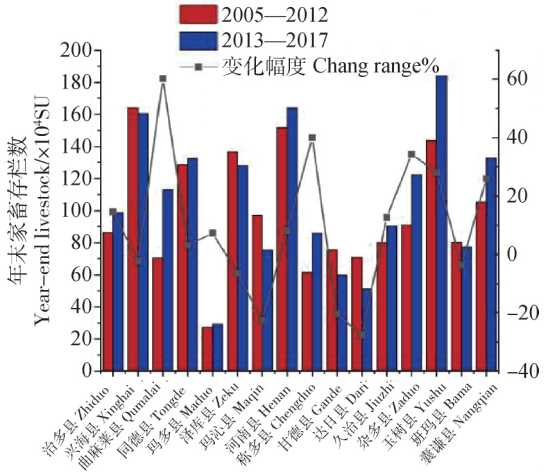

图 6　三江源区一期和二期工程两个时段主要县区年末家畜存栏数

Fig. 6　Year-end livestock in main counties during the two periods of the first and second stages of the Three-River Headwaters region

二期工程实施后(2013—2017 年),玉树市年末存栏数最高,为 184.06 万只标准羊单位;河南县、兴海县和囊谦县次之,分别为 164.04 万只,160.40 万只,132.73 万只标准羊单位,达日县和玛多县最低;曲麻莱县、称多县和杂多县年末存栏数增加幅度最大,较一期工程实施期间分别增加了 60.35%,40.04%和 34.36%;达日县、玛沁县、以及甘德县的年末存栏数较一期工程实施期间下降幅度最大,分别下降了 27.73%,22.69%和 20.43%(图 6)。

2.3　载畜压力指数

2005—2017 年载畜压力指数总体呈增加趋势(slope=0.028,R^2=0.40,P<0.01)。一期工程实施期间(2005—2012 年),载畜压力指数 1.38,二期工程实施后(2013—2017 年)载畜压力指数增至 1.60;其中,2006 年载畜压力指数最低为 1.15,2017 年载畜压力指数最高为 1.82。未实施生态保护工程前(2000—2004)的载畜压力指数为 1.67,两期工程的实施使载畜压力有所下降。

空间上载畜压力存在较大区域差异(图 7),载畜压力指数较高的地区主要是在水热条件相对较好的东部地区,而生态较为脆弱的西部地区载畜压力指数较低,较为理想地实现了减畜及保护生态的工程措施目标。仅玛多县、治多县、达日县两期生态保护工程期间均不超载,实现了减畜和保护生态的目标;但玛多县、治多县载畜压力指数在增加,需注意减畜,以防止诸如曲麻莱县、称多县等由不超载变为超载。载畜压力指数高的地区集中在东部,如兴海县、同德县、泽库县、河南县,载畜压力指数低的地区集中在中西部,如治多县、杂多县、曲麻莱县、玛多县。

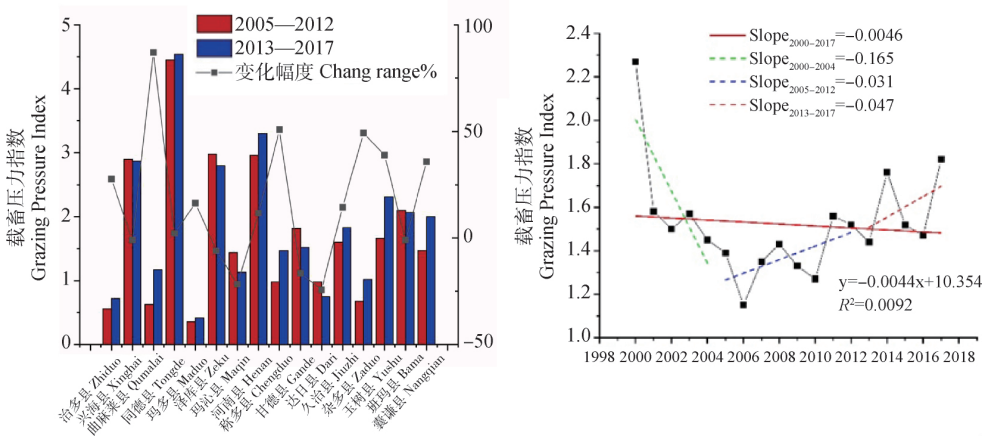

图 7　三江源地区主要县草地载畜压力指数和三江源区年际载畜压力指数变化

Fig. 7　Changes in the grazing pressure index of the main counties and Three-River Headwaters region

3　讨论

本文计算的 2005—2012 年载畜压力指数为 1.38,与张良侠等[14]的研究结果 2003—2012 年三江源区载畜压力指数为 1.46 较为接近。两项研究都采用了相同的方法与数据源,保持了数据的一致性和可比性,结果较为接近也证明了方法的稳定性和可靠性。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

三江源区收入渠道有限，人口不断增长，对于牲畜的需求量较大[21]。一期工程内载畜压力指数总体虽比实施生态保护工程前有所缓解，但在二期工程实施期间复增反弹。2003年三江源区开始进行减畜工作，载畜压力指数明显降低。有研究表明，减畜工程前15年（1988—2002年）平均载畜压力是2.29[14]。本文分析2003年以来的载畜压力指数为1.47，与工程实施前相比已经有明显好转，草地减畜工程取得了一定的成效。但是从近年来的变化趋势上看，尽管一期工程载畜压力指数较工程实施前下降36.1%，但二期工程较一期工程载畜压力指数上升了16%，且有逐年递增的趋势。理论载畜量年际间变化不明显，主要是人为导致的年末家畜存栏量有所增加，需要对这种变化的深层次原因进行调查和分析，以确保从根本解决生态保护与民生保障间可能存在的矛盾。

多数研究计算的载畜压力指数，都表明三江源东部县超载严重[22-23]。东部县是水热条件相对较好的重要地区，其中同德县有部分乡镇存在补饲养殖的情况，如同德县的巴沟乡、尕巴松多镇和唐谷镇（统计资料）。补饲养殖可以降低草原压力，但三江源空间范围广，具体乡镇圈养数据难以获取，因此部分东部县的载畜压力指数被高估。而在西部地区载畜压力计算中，没有考虑野生动物的数量，西部地区的草地压力可能被低估。基于无人机对玛多县野生动物的调查表明，仅考虑家畜动物时，载畜压力指数为1.13，而综合考虑家畜和野生动物时，载畜压力指数为1.38，即如果不考虑大型食草野生动物，载畜压力将被低估18%[24]。因此，今后草畜平衡研究和政策制定必须综合考虑野生动物和家畜数量。

本研究表明，近年来理论载畜量降低、现实载畜量增加导致总体的载畜压力指数升高。气候变化是该地区草地植被生产力变化的主导因素，植被生产力决定理论载畜量，气温和降水能够解释全区草地NPP年际变异的83%[25]。在本研究中，在生态工程实施期间，三江源区年降水量下降了19.09 mm，且后期年际波动幅度较前期更大，年均气温呈持续变暖趋势，说明该地区气候呈暖干化变化，这可能是三江源区草地产草量轻微降低的气候因素[26]。人类活动方面，2005—2018年期间的14年中，我国共投资180亿用于三江源区生态保护与建设工程的实施，希望通过补助和奖励的政策手段达到减畜和草畜平衡的政策目标。但是政策性生态补偿策略，可能由于减畜和补偿存在严重的不对等关系存在不可持续性[27]。2003年三江源区实行减畜政策，前期效果较好，近年来牧民为了提高收入，仍然在提高载畜率，导致能够实现的减畜比例在下降。具体表现为2003—2009年期间，现实载畜量以12万羊单位·a^{-1}趋势下降，但自2010年出现反弹趋势，2013—2017年期间，现实载畜量的增加速率增加至73.76万羊单·a^{-1}（slope＝73.76万只标准羊·a^{-1}，R^2＝0.78，P＜0.05）。

4 结论

本研究基于卫星遥感估算的产草量及分县家畜年末存栏统计数据，分析了2005—2017年三江源区载畜压力及其变化。生态保护二期工程，较一期工程实施前取得了初步成效，但二期工程实施期间出现了部分地区家畜存栏量增加的现象。气候暖干化和人类活动共同作用导致了载畜压力指数的增加。三江源地区未来还需要加大减畜力度，遵循生态优先原则，创新生产生活方式以实现生态保护与牧民生计提升双赢目标。

参考文献

[1] Ren Y J，Lu Y H，Fu B J. Quantifying the impacts of grassland restoration on biodiversity and ecosystem services in china：A meta-analysis[J]. Ecological Engineering，2016，95：542-550

[2] 吴昊怡，李文军，庄明浩，等. 从“草-畜-人”完整的社会生态系统视角评估天然草原生态系统服务的价值——基于青海省海南藏族自治州贵南县的案例研究[J]. 北京大学学报（自然科学版），2017，53(06)：1133-1142

[3] Proulx M，Mazumder A. Reversal of grazing impact on plant species richness in nutrient-poor vs. Nutrient-rich ecosystems [J]. Ecology，1998，79(8)：2581-2592

[4] Wang S，Fan J，Li Y，*et al*. Effects of grazing exclusion on biomass growth and species diversity among various grassland types of the tibetan plateau[J]. Sustainability，2019，11(6)：13

[5] 丁忠兵. 论三江源地区的生态地位与可持续发展[J]. 青海社会科学，2006(2)：45-50

[6] 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[J]. 地理学报，2008(4)：364-376

[7] 刘合满，曹丽花. 退化草地碳动态及固碳潜力[J]. 中国农学通报，2011，27(22)：11-15

[8] Wang D，Wu G L，Liu Y，*et al*. Effects of grazing exclusion on CO_2 fluxes in a steppe grassland on the loess plateau (china) [J]. Ecological Engineering，2015，83：169-175

[9] 包庆丰，陈建成. 内蒙古荒漠化防治政策历史回溯及新思考[J]. 绿色中国，2004(12)：35-37

[10] 聂学敏. 黄河源区退牧还草工程绩效评价与对策研究[D]. 兰州：甘肃农业大学，2008：58

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[11] 李愈哲,樊江文,于海玲. 京津风沙源治理工程不同恢复措施对草地恢复过程的差异性影响[J]. 草业学报,2018,27(5):1-14

[12] 韦晶,郭亚敏,孙林,等. 三江源地区生态环境脆弱性评价[J]. 生态学杂志,2015,34(7):1968-1975

[13] 刘凤,曾永年. 近 16 年青海高原植被 npp 时空格局变化及气候与人为因素的影响[J]. 生态学报,2019,39(5):1528-1540

[14] 张良侠,樊江文,邵全琴,等. 生态工程前后三江源草地产草量与载畜压力的变化分析[J]. 草业学报,2014,23(5):116-123

[15] 徐新良,王靓,李静,等. 三江源生态工程实施以来草地恢复态势及现状分析[J]. 地球信息科学学报,2017,19(1):50-58

[16] 张骞,马丽,张中华,等. 青藏高寒区退化草地生态恢复:退化现状、恢复措施、效应与展望[J]. 生态学报,2019,39(20):7441-7451

[17] Yang Y,Wang J,Liu P,*et al*. Climate change dominates interannual trends in net primary productivity in vulnerable alpine ecosystems[J]. Journal of Resources and Ecology,2019,10(4):379-388

[18] Wang J,Liu J,Shao Q,*et al*. Simulation of net primary productivity in the three-river headwaters region of qinghai from 1988 to 2004 based on remote sensing-process coupling model [J]. Chinese Journal of Plant Ecology,2009,33(2):254-269

[19] Zhang J,Zhang L,Liu W,*et al*. Livestock-carrying capacity and overgrazing status of alpine grassland in the three-river headwaters region, china [J]. Journal of Geographical Sciences,2014,24(2):303-312

[20] 周兴民. 中国嵩草草甸[M]. 北京:科学出版社,2001:158

[21] 宋连久,孙自保,孙前路,等. 藏北草原牧民可持续生计分析—以班戈县为例[J]. 草地学报,2015,23(6):1287-1294

[22] 杨淑霞,冯琦胜,孟宝平,等. 三江源地区高寒草地地上生物量时空动态变化[J]. 草业科学,2018,35(5):956-968

[23] 樊江文,邵全琴,王军邦,等. 三江源草地载畜压力时空动态分析[J]. 中国草地学报,2011,33(3):64-72

[24] 邵全琴,郭兴健,李愈哲,等. 无人机遥感的大型野生食草动物种群数量及分布规律研究[J]. 遥感学报,2018,22(3):497-507

[25] Yang Y,Wang J,Liu P,*et al*. Climatic Changes Dominant Interannual Trend in Net Primary Productivity of Alpine Vulnerable Ecosystems[J]. Journal of Resources and Ecology,2019,10(4):379-388

[26] 樊江文,邵全琴,刘纪远,等. 1988-2005 年三江源草地产草量变化动态分析[J]. 草地学报,2010,18(1):5-10

[27] 胡振通,孔德帅,魏同洋,等. 草原生态补偿:减畜和补偿的对等关系[J]. 自然资源学报,2015,30(11):1846-1859

(责任编辑　闵芝智)

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net