

近 10 年甘南牧区草地净初级生产力变化研究

杨东辉¹, 赵 军¹, 张智慧², 付 鹏¹, 刘春雨¹

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 中科院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 以改进的 CASA 模型为基础, 结合 MODIS NDVI 数据、气象资料, 估算了甘南牧区草地 2000、2005、2008 年牧草生长旺季 7 月净初级生产力, 并分析了其时空动态。结果显示: (1) 甘南牧区草地净初级生产力 (NPP) 的空间分布基本格局是西南偏西和东北两区域最低, 然后由西南 - 东北方向为轴心逐渐向内陆中心部分递增, 该分布规律与各县市的水热条件差异和植被类型的地带性分异规律紧密相关。另外, 各縣市草地 7 月平均 NPP 与 7 月 NPP 总量有明显的不同, 这与各县市的面积密切相关。7 月平均 NPP 值大小顺序依次为: 碌曲县 > 玛曲县 > 合作市 > 夏河县; 而 7 月 NPP 总量的值的大小顺序依次为: 玛曲县 > 夏河县 > 碌曲县 > 合作市。(2) 2008 年较 2000 年, 研究区 7 月草地 NPP 的值明显减少, 但在 2000 ~ 2008 年间整个研究区 7 月草地 NPP 呈现先增加、后减少的趋势, 其中, 2005 年较 2000 年显著增加, 2008 年较 2005 年明显较少。其主要原因是气温、降水量、湿润度的变化所致, 其中湿润度变化是影响甘南高原牧草发育生长的主要限制因素。

关键词: 改进 CASA 模型; 植被净初级生产力; 甘南牧区

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0257-07

近年来, 由于受大气二氧化碳浓度上升、温度升高及氮、磷沉降、人为因素影响等, 陆地生态系统净初级生产力的研究倍受重视, 净初级生产力 (NPP) 建模及其应用得到迅速发展^[1]。NPP 作为全球碳循环的重要研究内容之一, 是估算地球物质能量交换和评价陆地生态系统可持续发展的一个重要生态指标。国际地圈 - 生物圈计划 (IGBP)、全球变化与陆地生态系统 (GCTE) 和京都协议 (Kyoto Protocol) 都把植被的净第一性生产力研究确定为核心理念之一^[2]。草地是陆地表面重要的土地覆被类型, 陆地总面积中天然草地占 25% ~ 36%, 疏林 (草) 地占 16% 左右^[3]。我国拥有各种天然草地 3.93×10^8 hm^2 , 占世界草地面积的 13%, 占全国国土面积的 41% 左右^[4]。开展草地 NPP 研究, 可为合理开发、利用草地资源提供科学依据。随着遥感技术的发展, 卫星数据模型已经成为评估陆地生态系统 NPP 最有力的手段^[5-11]。在这些模型当中, CASA 模型是一种能够结合遥感数据和地面数据有效评估植被 NPP 的光能利用率的模型^[5]。

甘南藏族自治州是甘肃省乃至全国的重要牧区。境内有天然草地 250.55 万 hm^2 , 占土地总面积的 65.78%。近 30 年来, 由于人为和自然因素的双重作用, 甘南草地出现了严重退化, 部分地区甚至出

现了沙化和荒漠化的趋势。为此, 如何能真实地模拟草地 NPP 的时空变化分布, 进一步了解草地 NPP 的现状显得尤为重要。前人研究多以大尺度空间模拟植被 NPP^[8-11], 而对甘南这个全国最重要的五大牧场之一却研究甚少。本文的目的就是采用遥感模型 (改进 CASA 模型), 估算甘南牧区草地净初级生产力, 为甘南牧区畜牧业合理布局、草地资源可持续利用和保护草地生态环境等相关领域提供理论依据与科学技术支持。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

以甘南藏族自治州的牧区县为研究区, 在行政区划上包括合作、夏河、碌曲、玛曲 1 市 3 县。该区位于青藏高原东北部的甘南高原, 地处长江、黄河上游, 是重要的水源涵养地, 区内气候寒冷湿润, 年日照时间短, 仅 2 200 ~ 2 400 h/a; 太阳总辐射量高, 达 4 451.56 ~ 6 425.37 $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; 年均温普遍低于 3℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的持续期一般仅 2 个月; 年均降水量在 400 ~ 700 mm 之间, 降水梯度变化较大, 且河流众多。植被以高寒草甸、灌丛和山地森林为主, 由于植被覆盖度高, 区内植被对水源涵养和黄河径流补给起着重要的作用。该区是青藏高原最优质的放牧

收稿日期: 2010-06-31

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40961026); 甘肃省自然科学基金项目 (0803RJZA088)

作者简介: 杨东辉 (1984—), 女, 山西山阴人, 硕士研究生, 主要从事地理信息系统应用研究。

通讯作者: 赵 军 (1963—), 男, 山西河津人, 教授, 主要研究方向为地图分析与地理信息系统应用。E-mail: zhaojun@nwnu.edu.cn。

草地之一,属于典型的高寒牧区,自古就有“羌中畜牧甲天下”之称^[12]。

1.2 数据来源与预处理

(1) NDVI 数据。根据研究区范围和研究内容,选用 2000、2005、2008 年 7 月份 MODIS 植被指数数据产品 (MOD13Q1A177.h26V05.005, MOD13Q1A193.h26V05.005, MOD13Q1A203.h26V05.005),数据来源于美国 NASA 网站。空间分辨率为 250 m × 250 m,时间分辨率为 16 d。

(2) 气象数据。选用甘南州 8 个气象站点(合作、临潭、卓尼、舟曲、迭部、玛曲、碌曲、夏河)以及临夏的 1 个站点的 2000、2005、2008 年逐月气温月均数据、7 月降水总量以及 7 月日照时数数据,来源于国家气象信息中心,对其进行空间插值得到整个甘南州气象数据分布图,然后切出 2000、2005、2008 年甘南州牧区气象数据分布图。其中气温以及日照百分率(通过日照时数求得)的插值法采用普通 Kring 插值法,降水量插值法采用 IDW 插值法。

(3) 其他数据:边界行政界线(国家基础地理信息中心)、DEM 数据(美国地质调查局发布的全球 1 km × 1 km DEM 数据裁剪得到)、土地利用数据(中国科学院科学数据库及其应用系统中的甘肃自然与生态环境数据库)。

(4) 数据处理:利用 MRT 软件,将 NDVI 数据格式转换成 TIFF 格式,定义大地坐标为 WGS84,然后在 ENVI4.5 中用 Map 工具给图像赋投影为 Albers,并用 Basic Tools 下的 Band Math 计算比值植被指数 VI;气象数据采用 ArcGIS 软件进行空间插值,并进行空间计算,最终获得气象要素栅格图(空间分辨率 250m × 250m)。

1.3 模型简述

利用光能利用率概念模型估算 NPP 基于资源平衡的观点^[6]:即假定生态过程趋于调整植物特性以响应环境条件,认为植物的生长是资源可利用性的组合体,植物物种通过进化和生理生化、形态过程的驯化,应趋向于使所有资源对植物生长有平等的限制作用。在此,利用改进的 CASA 模型对草地 NPP 进行评估,模型如下所示:

$$NPP = (FPAR \times PAR) \times (\epsilon^* \times \sigma T \times \sigma E) \quad (1)$$

式中, NPP 为草地净初级生产力; $FPAR$ 表示草所吸收的光合有效辐射比例^[13] 因为 $FPAR$ 与归一化植被指数(NDVI)^[14~17] 和比值植被指数(VI)^[6,18,19] 都有很好的线性关系,且对比 $FPAR - NDVI$ 和 $FPAR - VI$ 的估算结果发现,NDVI 估算的 $FPAR$ 偏高,而 VI 所估算的 $FPAR$ 偏低,因此可对传统的 $FPAR$ 估算

进行改进,将上述 2 种方法结合,取其平均值进行 $FPAR$ 估算^[20]; PAR 表示到达地表的光合有效辐射,详细计算公式参见文献^[21]、^[22](中间参量 7 月整层大气水汽含量,由 σE 反算求得); ϵ^* 为草地的最大光能利用率,本文采用 Running 等对草地的模拟结果 0.608 g/MJ 作为草地的最大光能利用率; σT 为温度对草生长的影响系数^[23]; σE 为大气水分含量对草生长的影响系数,它反映了植物所能利用的有效水分条件对光利用率的影响,详细计算公式参见文献^[24] ~ ^[26](中间参量 7 月区域潜在蒸散量,根据高歌研究思想夏季潜在蒸散量占全年的 40%,则 7 月占夏季的 35% 求得)。另外,7、8 月份为草地生长的旺季,尤其是 7 月份受放牧影响小, NPP 值相对来说最大,因此本文只计算了研究区生长旺季 7 月份的植被 NPP 。

1.4 草地 NPP 变化趋势分析

在甘南牧区草地 NPP 估算基础上,进一步评价和分析了研究区草地 NPP 变化趋势。以草地 NPP 为例, Pearson 相关系数计算公式如下:

$$r_{xi} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{i})^2}} \quad (2)$$

式中, n 为总年数; x_i 为第 i 年 7 月的草地 NPP; \bar{x} 为计算时间段内草地 NPP 平均值; $\bar{i} = (n + 1)/2$, 为年份的平均值。相关系数为正(负)时,表示草地 NPP 变化趋势系数在所计算的时段内有线性增加(减少)的趋势^[27]。同时对相关系数进行显著性检验,即在给定的置信水平下通过查相关系数检验临界值表完成。如果相关系数通过 0.05 的显著性水平 ($P < 0.05$),则认为减小或增加趋势显著;如果相关系数通过 0.01 的显著性水平 ($P < 0.01$),则认为减小或增加趋势极显著。

2 结果与分析

2.1 7 月 NPP 空间分布特征

利用改进的 CASA 模型求得甘南草地 2000 年到 2008 年 7 月 NPP 空间分布图(图 1)。由图 1 可得,甘南牧区草地 NPP 最大值达 69.76 gC/(m²·month),最小值为 0.08 gC/(m²·month)。甘南牧区草地 NPP 的空间分布基本格局是西南偏西和东北两区域最低,然后由西南东北方向为轴心逐渐向内陆中心部分递增,该分布规律与各县市的水热条件差异和植被类型的地带性分异规律紧密相关。

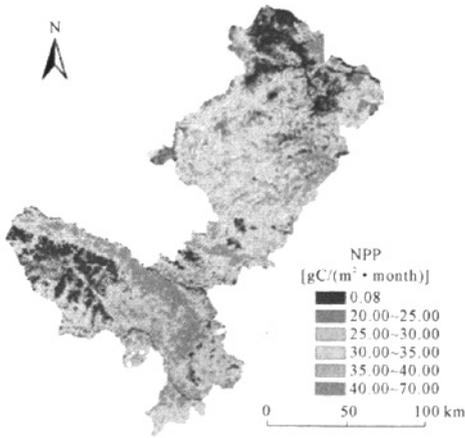


图 1 研究区 7 月 NPP 分布图

Fig.1 Spatial distribution of NPP in the study area in July

由图 2 可得,从 2000 年到 2008 年,甘南牧区草地 7 月平均 NPP 为 30.58 gC/(m²·month)。其中,碌曲县草地 7 月平均 NPP 最高,约为 32.81 gC/(m²·month),其次是玛曲县,约为 31.82 gC/(m²·month),夏河县草地 7 月平均 NPP 值最低,约为 27.90 gC/(m²·month)。在 2000 年到 2008 年期

间,甘南牧区草地 7 月 NPP 总量为 2 722 230.17 gC。各县市草地 7 月 NPP 总量与 7 月平均 NPP 的值有明显的不同,这与各县市的面积密切相关。7 月平均 NPP 最高值的地区为碌曲县,最低值为夏河县;而 7 月 NPP 总量最高的地区为玛曲县,最低的地区为合作市。

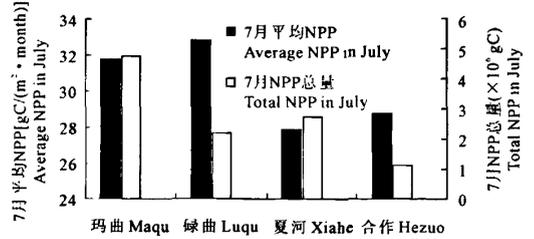


图 2 2000~2008 年玛曲、碌曲、夏河、合作市的 7 月平均 NPP 与 7 月 NPP 总量

Fig.2 Average NPP in July and total NPP in July of grasslands in Maqu, Luqu, Xiahe, Hezuo from 2000~2008

2.2 7 月 NPP 年际分布特征

在 ENVI4.5 与 ArcGIS 9.2 环境支持下,利用 CASA 模型计算得到 2000、2005、2008 各年 7 月甘南牧区 NPP 分布图(图 3)。

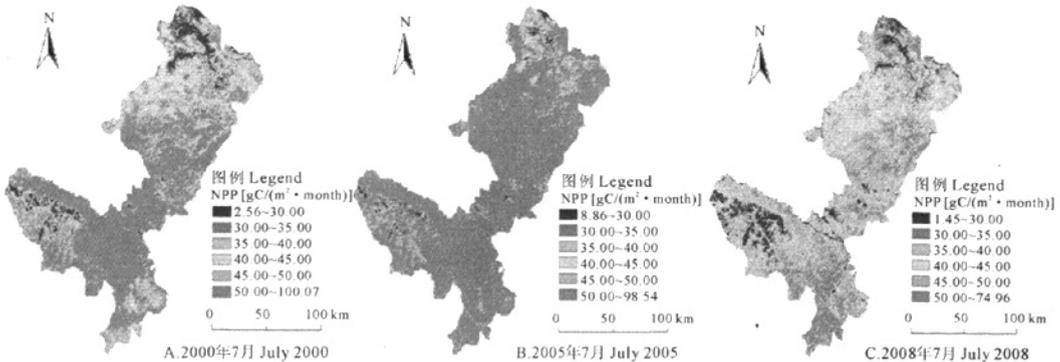


图 3 研究区各年 7 月 NPP 分布

Fig.3 Spatial distribution of NPP in the study area each year in July

由图 3 可得,2008 年较 2000 年,研究区 7 月草地 NPP 的值明显减少,但在 2000~2008 年间整个研究区 7 月草地 NPP 先增加、后减少。2005 年较 2000 年,研究区 7 月草地 NPP 的值明显增加,月均值从 30.56 gC/(m²·month)增加到 36.21 gC/(m²·month),增加的主要区域分布在玛曲县吉木都塘草原风景区、合作市作盖曼玛以及夏河县。2008 年较 2005 年,研究区草地 NPP 的值呈现减少趋势,2008 年 NPP 的最高值为 74.97 gC/(m²·month),最低值为 1.45 gC/(m²·month),月均值为 24.21 gC/(m²·month),

都较 2005 年低。

由表 1 可得,研究区 7 月平均 NPP 最大值呈现在 2005 年,平均值约为 36.21 gC/(m²·month),最小值呈现在 2008 年,平均值约为 24.21 gC/(m²·month);从 7 月平均 NPP 分布上看,2000 年玛曲县的年 7 月平均 NPP 值最大,约为 34.87 gC/(m²·month),最小值在夏河县,约为 26.25 gC/(m²·month);2005 年碌曲县的 7 月平均 NPP 值最大,约为 39.83 gC/(m²·month),最小值在合作市,约为 33.96 gC/(m²·month);2008 年碌曲县的 7 月平均 NPP 值最

大,约为 $25.67 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{month})$,最小值在夏河县,约为 $23.30 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{month})$,而从 7 月 NPP 总量分布来看,在 2000~2008 年,区域 NPP 总量分布大小顺序

依次为:玛曲县 > 夏河县 > 碌曲县 > 合作市,所占的比例依次为 44%、26%、20%、10%。

表 1 2000~2008 年不同区域的 7 月平均 NPP 和 7 月 NPP 总量

Table 1 Average NPP in July and total NPP in July in different regions from 2000~2008

年份 Year	7 月平均 NPP [$\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{month})$] Average NPP in July					7 月 NPP 总量 (gC) Total NPP in July			
	玛曲县 Maqu	碌曲县 Luqu	夏河县 Xiahe	合作市 Hezuo	平均 Average	玛曲县 Maqu	碌曲县 Luqu	夏河县 Xiehe	合作市 Hezuo
2000	34.87	32.96	26.25	28.14	30.56	5236339.72	2231073.74	2608949.55	1093109.03
2005	36.90	39.83	34.15	33.96	36.21	5539649.06	2696367.48	3394362.85	1319360.16
2008	23.70	25.67	23.30	24.17	24.21	3557689.68	1737655.69	2314987.85	938895.76

2.3 7 月草地 NPP 及其变化趋势总体特征

2000~2008 年甘南牧区草地 NPP 空间格局的变化趋势见图 4。由图 4 可知,过去 9 年中,草地 NPP 减少的区域主要分布在玛曲县以及碌曲县的西北地区,其他大部分地区变化不明显,只有很少的区域草地 NPP 在增加。经统计,在过去 9 年间,研究区绝大部分地区草地 NPP 变化不显著(占草地总面积的 74.56%),在正常波动范围之内,变化显著的草地面积占草地总面积的 25.44%。23.83%的草地 NPP 呈降低趋势,其中极显著降低和显著降低所占比例分别为 13.74%和 10.08%;1.61%的草地 NPP 呈增加趋势,其中 NPP 显著增加的草地面积非常小,仅占草地总面积的 0.61%。

与 NPP 都呈正相关,其中,湿润度与 NPP 的相关性最大(0.93),其次为降水量(0.78),相关性最低的为太阳有效辐射(0.23),虽然甘南高原光照充足,但光合有效辐射与 NPP 之间的相关系数较小,这与实际情况相符,也就是光照不是影响本地区 NPP 的主要因子。各因子与 NPP 的显著性水平都达到 0.01。

表 2 NPP 与其因子的相关系数

Table 2 NPP and its correlation coefficient factor

项目 Item	海拔(m) Altitude	光合有效 辐射 PAR	气温 ($^{\circ}\text{C}$) Temperature	降水量 (mm) Precipitation	湿润度 Wettability
NPP	0.65	0.23	0.77	0.78	0.93

玛曲县地处甘南高原的西南部,最高山峰乔格日海拔 4 860 m,其北部有许多山峰,海拔也在 4 000 m 以上,坡度较高,草地 NPP 值低,而黄河沿岸有宽阔的滩地,地表平坦,海拔一般都在 3 300 m 左右,坡度较低,土壤为棕壤草甸和亚高山草甸土,水草丰盛,是优良的牧场,所以 7 月 NPP 值较高。碌曲县地处甘南高原中部,地势高亢,绝大部分地区的海拔约在 3 000~4 000 m,河流侵蚀作用微弱,地表起伏不大,因此,NPP 的空间分布差异不大。合作市和夏河县地处甘南高原与黄土高原的过渡地带,海拔较高,大部分地区在 3 000~4 000 m。大夏河谷地的土门关,海拔最低,为 2 000 m,北部的达理加山海拔最高,主峰为 4 636 m。境内除北、西部山地较陡峭和大夏河等河谷地形相对高差较大外,还有面积较大而地表比较坦荡的开阔滩地,如甘加滩、桑科滩、苦水滩等。由此可见,合作市和夏河县地形的差异大,导致草地 NPP 空间分布不均。

研究发现,2005 年较 2000 年,研究区 7 月草地 NPP 的值显著增加,其中,玛曲县草地 NPP 增加了 $2.03 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{month})$,碌曲县增加了 $6.87 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{month})$,夏河县增加了 $7.9 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{month})$,

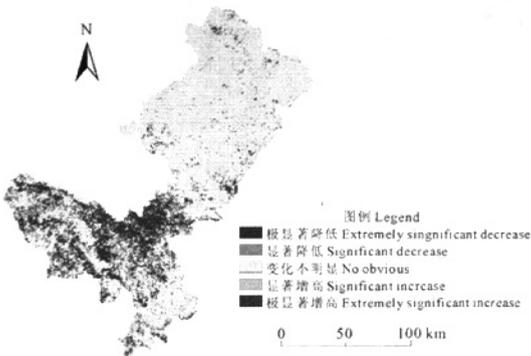


图 4 2000~2008 年研究区草地 NPP 变化分布

Fig. 4 Trend of grassland NPP in the study area from 2000~2008

2.4 影响 7 月 NPP 变化的自然因素

研究区草地 NPP 的空间分布格局是西南偏西和东北两区域最低,然后由西南-东北方向为轴心逐渐向内陆中心部分递增。其空间分布受地形、光合有效辐射、降水、气温、湿润度(任继周-胡自治湿润度模型求得^[28])等因子影响。表 2 显示,各因子

合作市增加了 5.82 gC/(m²·month);2008 年较 2005 年,研究区草地 NPP 的值得明显减少(表 1),玛曲县草地 NPP 减少了 13.2 gC/(m²·month),碌曲县减少了 14.16 gC/(m²·month),夏河县减少了 10.85 gC/(m²·month),合作市减少了 9.79 gC/(m²·month)。主要原因是气候因子的变化所致,图 5 表明,2000 ~ 2005 年,研究区的气温降低,降水量显著增加,湿润

度增加,最终 NPP 增加;2005 ~ 2008 年,夏河县、合作市区域的气温增加,降水量急剧减少,湿润度减少,造成 NPP 减少;虽然玛曲县、碌曲县地区的气温降低,降水量减少,但湿润度相对降低,也造成 NPP 减少。由此可得,水分是影响甘南高原牧草发育生长的主要限制因素。

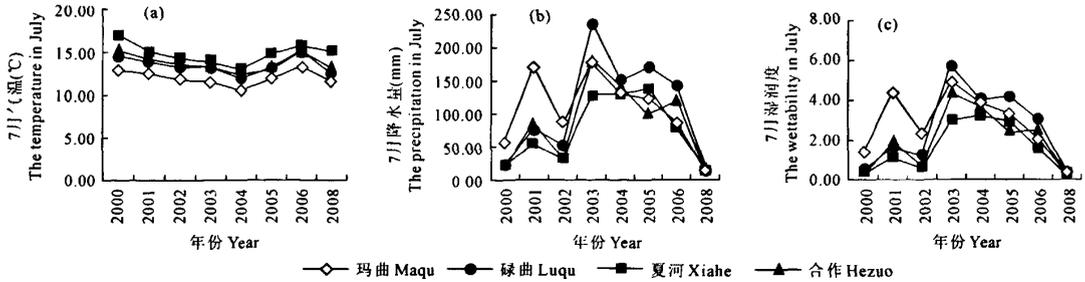


图 5 研究区各年 7 月气温、降水量、湿润度变化

Fig.5 Variation of temperature, precipitation and moisture in the study area each year in July

2.5 影响 7 月 NPP 变化的社会经济因素

由于研究区是全国典型的牧区之一,牧业是该区的支柱产业,因此,畜牧量的变化直接影响到牧民家庭的经济收入。2000 ~ 2008 年研究区大牲畜存栏数(万头)与羊存栏数(万只)的变化情况如图 6 所示,从 2000 ~ 2005 年,由于雪灾等自然因素的影响,导致牲畜大量死亡,畜牧量减少,则对牧草的需求也降低,所以草地 NPP 值增加;从 2005 ~ 2008 年,由于 2005 年 NPP 显著增加,牧草产量充足,加之人口与经济压力的推动作用,牧民们尽可能多发展牲畜头数,使得畜牧量增加,特别是玛曲县和碌曲县,然而,当增加到一定程度时,就会产生存栏牲畜过多、牧草供应短缺的问题,出现草地超载现象,最终导致草地

NPP 减少。由上可得,畜牧量与草地 NPP 是互相影响、互相制约的。

3 讨论

目前常用的 NPP 验证方法主要有模型估算与实测数据相比较和不同 NPP 模型间的相互比较。由于本研究仅估测了生长旺季 7 月份的草地 NPP,前人做的研究多以年为单位,月均与年均无法作对比,故以月最大值来作对比。本研究模拟 2000 ~ 2008 年甘南牧区 7 月草地 NPP 最大值为 69 gC/(m²·month),与孙睿^[8]在 1992 ~ 1993 年用 CASA 模型估算的中国陆地植被 7 月草甸 NPP 的最大值 58 gC/(m²·month)相比,模拟结果相近,与卢玲^[29]在 2002 年 C-FIX 模型估算的中国西部地区 8 月的高、中和低覆盖度草地 NPP 相比,结果也几乎相同。因此,本研究的结果具有可靠性,能为甘南草地 NPP 的模型研究提供参考。

水热资源是决定植被空间分布的关键自然因素,研究表明,尤其是降水量的变化对该区草地 NPP 的变化起决定性作用。近 10 年来,甘南高原 7 月气温呈现降低趋势,使牧草生长季活动积温降低,热量条件趋于不足,特别是主导因子降水量变率大,时空分布不均,形成不利于牧草生长的低温干旱环境,草地生产力相应地表现出下降的趋势。从甘南牧区气温、降水量的变化趋势和更大范围气候变化来看,在未来几年,甘南牧区夏季降水量变率增大、气温微降,出现干旱低温的概率在增加,干冷型的气候会影

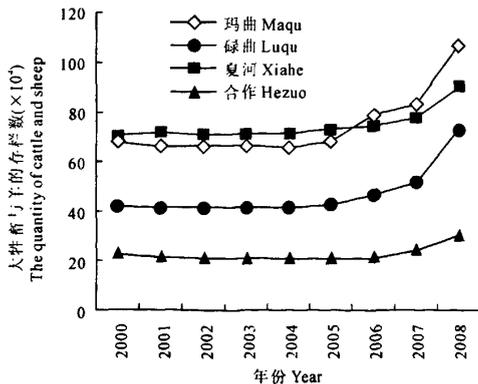


图 6 2000 ~ 2008 年研究区大牲畜与羊的存栏数变化

Fig.6 Variation of cattle and sheep in the study area from 2000 ~ 2008

响到草地植被生产力的持续稳定,直接威胁牧业的可持续发展。其次,由于超载放牧等人为因素的影响,致使甘南牧区草地 NPP 减少,导致草场涵养水源、补给河流水资源的功能降低,而且迫使一部分牧民迁往高海拔草地放牧,使人类活动的影响范围进一步扩大。但事实上,超载过牧只是表象,牧民家庭收入渠道较为单一、支出刚性增加而收入不稳才是草地 NPP 减少的关键人文因素。因此,为减轻气候变化和人为因素不利影响,应尽早采取有效措施,增强牧业适应气候变化的能力以及改变牧民的生计方式,促使牧区经济可持续发展。

从方法上讨论,改进的 CASA 模型最大的特点是对 FPAR 的计算作了修正,即对 FPAR - NDVI 与 FPAR - VI 取其平均值,而传统的 CASA 模型中的 FPAR 仅仅是利用 NDVI 进行估算。利用遥感与 GIS 的 CASA 模型能够高精度地估算甘南牧区的草地 NPP,并实现对甘南牧区各县市的 NPP 时空差异性的直观表达,这是其他统计模型和非遥感模型难以做到的。但是,首先在对遥感数据进行处理的过程中,其测量参数的计算本身也存在一些精度问题,对模型的参数估算也有一定误差,还有气象数据的插值方法还需要进一步的改进,以期获得更高精度的栅格化的气象数据。其次,遥感模型的精度验证也是对 NPP 估算的很重要的问题。因此,今后对模型的选用、改进、完善和精度检验上需要进一步深入研究。

4 结 论

本研究利用改进的 CASA 模型,结合遥感资料和气象资料,估算了甘南牧区 2000、2005 和 2008 各年 7 月的草地 NPP。结果表明:

甘南牧区草地 NPP 的空间分布基本格局是西南偏西和东北两区域最低,然后由西南东北方向为轴心逐渐向内陆中心部分递增。甘南牧区的植被 NPP 最大值达 $69.76 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{month})$,最小值为 $0.08 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{month})$ 。2008 年较 2000 年,研究区 7 月草地 NPP 的值明显减少,减少的区域主要分布在玛曲县以及碌曲县的西北地区,其他大部分地区变化不明显(占草地总面积的 74.56%),只有 1.62% 草地 NPP 在增加。但在 2000~2008 年间,整个研究区 7 月草地 NPP 呈现先增加、后减少的趋势,其中,2005 年较 2000 年显著增加,2008 年较 2005 年明显较少。其主要自然因素是气温、降水量、湿润度的变化所致,其中湿润度变化是影响甘南高原牧草发育生长的主要限制因素。其次,在人口与经济压力的推动

下,畜牧量增多与超载放牧等问题也导致草地 NPP 减少。

参 考 文 献:

- [1] IPCC. Second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)[J]. *Environ Policy dLaw*, 1996, 26(5): 234—235.
- [2] Steffan W, Noble I, Canadell P, et al. The terrestrial carbon cycle: Implications for kyoto protocol[J]. *Science*, 1998, 280: 1393—1394.
- [3] 侯扶江,杨中艺.放牧对草地的作用[J]. *生态学报*, 2006, 26(11): 244—264.
- [4] 陈佐忠.草地退化的治理[J]. *中国减灾*, 2003, (3): 47—48.
- [5] Potter C S, Randerson J T, Field C B, et al. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7: 811—841.
- [6] Field C B, Malmstrom C M. Global net primary production: Combining ecology and remote sensing[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1995, 51: 74—88.
- [7] Chasmer L, Barr A, Hopkinson C, et al. Scaling and assessment of GPP from MODIS using a combination of airborne lidar and eddy covariance measurements over jack pine forests[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113: 82—93.
- [8] 孙 睿,朱启疆.中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究[J]. *地理学报*, 2000, 55(1): 36—45.
- [9] 赵冰茹,刘 闯,刘爱军,等.利用 MODIS - NDVI 进行草地估产研究——以内蒙古锡林郭勒草地为例[J]. *草业科学*, 2004, 21(8): 12—14.
- [10] 朱文泉.中国陆地生态系统植被净初级生产力遥感估算及其与气候变化关系的研究[D].北京:北京师范大学,2005: 163.
- [11] 张 峰,周广胜,王玉辉.基于 CASA 模型的内蒙古典型草原植被净初级生产力动态模拟[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(4): 786—797.
- [12] 甘南州统计局. 2005 年甘南统计年鉴[M]. 甘南州: 甘南州统计局, 2003: 101—118.
- [13] Sellers P J, Tucker C J. A global 1° by 1° NDVI data set for climate studies. Part 2: the generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from the NDVI [J]. *Remote Sensing*, 1994, 15(17): 3519—3545.
- [14] Goward S N, Huemmrich K F. Vegetation canopy PAR absorption and the normalized difference Vegetation index: an assessment using the SALL model[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1992, 39: 119—140.
- [15] Hatfield J L, Asrar G, Kanemasu E T. Intercepted photosynthetically active radiation in wheat canopies estimated by spectral reflectance [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1984, 14: 65—75.
- [16] Ruimy A, Saugier B. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1994, 97: 18515—18521.
- [17] Sellers P J. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1985, 6: 1335—1371.
- [18] Los S O, Justice C O, Tucker C J. A global 1° by 1° NDVI dataset for climate studies derived from the GIMMS continental NDVI data

- [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15: 3493—3518.
- [19] Sellers P J, Randall D A, Collatz J A, et al. A revised land-surface parameterization (SiB2) for GCMs. Part 1: Model Formulation [J]. *Journal of Climate*, 1996, 9: 676—705.
- [20] LOS S O. Linkages between global vegetation and climate: an analysis based on NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer Data [D]. Washington D C, USA: National Aeronautics and Space Administration (NASA), 1998: 199.
- [21] 姜立鹏, 覃志豪, 谢雯, 等. 基于 MODIS 数据的草地净初级生产力模型探讨[J]. *中国草地学报*, 2006, 28(6): 72—76.
- [22] 杨景梅, 邱金桓. 用地面湿度参量计算我国整层大气可降水量及有效水汽含量方法的研究[J]. *大气科学*, 2002, 26(1): 9—22.
- [23] Chen Li-jun, Liu Gao-huan, Feng Xian-feng. Estimation of net primary productivity of terrestrial vegetation in china by remote sensing[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(11): 1191—1198.
- [24] 周广胜, 张新时. 全球变化的中国气候—植被分类研究[J]. *植物学报*, 1996, 38(1): 8—17.
- [25] 张新时, 杨莫安, 倪文革. 植被的 PE(可能蒸散)指标与植被—气候分类(三)几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. *植物生态学与地植物学学报*, 1993, 17(2): 97—109.
- [26] 高歌, 陈德亮, 任国玉, 等. 1956—2000 年中国潜在蒸散量变化趋势[J]. *地理研究*, 2006, 25(3): 379—387.
- [27] 朴世龙, 方精云, 郭庆华. 利用 CASA 模型估算我国植被净第一性生产力[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(5): 603—608.
- [28] 任继周. 草原合理利用与草原类型[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [29] 卢玲, 李新, Veroustraete F. 中国西部地区植被净初级生产力的时空格局[J]. *生态学报*, 2005, 25(5): 1026—1033.

Research on changes of net primary productivity of grassland vegetation in Gannan pastoral area over the past 10 years

YANG Dong-hui¹, ZHAO Jun¹, ZHANG Zhi-hui², FU Peng¹, LIU Chun-yu¹

(1. College of Geographic and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Institute of Cold and Arid Regions Environmental and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: An improved CASA model with MODIS NDVI along with meteorological data was used to estimate the net primary productivity (NPP) of grassland vegetation in pasture season in July each year in 2000, 2005 and 2008, and to analyse its spatial and temporal dynamics. The results showed that: (1) The fundamental spatial pattern of annual NPP in Gannan pastoral was characterized by low NPP levels distributed in the west-southwest and northwest corners, then the NPP levels increased gradually from the two corners into the arid inland regions. This distribution was bound up with different hydrothermal conditions and variation of zonal of vegetation. In addition, it was significantly different between the average NPP of grassland vegetation in July and the total NPP of grassland vegetation in July, which was closely related to each county area. The sequence of the value of average NPP of grassland vegetation in July in each county was Luqu > Maqu > Hezuo > Xiahe, while the sequence of the value of total NPP of grassland vegetation in July in each county was Maqu > Xiahe > Luqu > Hezuo. (2) The value of NPP of grassland vegetation in July of 2008 was much smaller than that of 2000. From 2000 ~ 2008, the NPP of grassland vegetation of the entire study area in July increased first, and then decreased. The main reason was the changes of temperature, precipitation and wettability, while wettability change was a major limiting factor to affect the growth of pasture in Gannan plateau.

Keywords: improved CASA model; change of grassland NPP; correlation; Gannan pastoral area