

藏北高寒草地 NPP 变化趋势及其对人类活动的响应

高清竹¹, 万运帆^{1,*}, 李玉娥¹, 盛文萍¹, 江村旺扎², 王宝山², 李文福²

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 西藏自治区那曲地区农牧局, 那曲 852100)

摘要 基于 1981 ~ 2004 年多年遥感监测数据和气象数据以及其它相关数据, 采用 CASA (Carnegie-Ames-Stanford Approach) 模型估算藏北地区草地植被净第一性生产力 (NPP), 分析草地植被 NPP 变化趋势的空间格局及其对人类活动强度的响应。结果表明近 24a 以来, 藏北绝大部分区域 (约占草地总面积的 88.61%) 草地植被 NPP 变化趋势不明显, 而草地植被 NPP 变化趋势显著的区域仅占草地总面积的 11.39%, 其中显著降低约占 11.30%, 显著增高仅占 0.09%。在藏北地区, 高海拔区域有较大比例 (大于 26%) 的草地 NPP 显著降低, 坡度在 15 ~ 30° 之间区域的草地 NPP 变化幅度较大, 而坡向对草地 NPP 变化趋势的影响不大。藏北地区居民点对草地 NPP 变化趋势的负面影响小于道路影响, 从综合影响来看, 离道路和居民点越近, 人类活动强度及其对草地 NPP 变化趋势的影响越大, 尤其是草地 NPP 显著增高区域只分布在人类活动强度最大的第一个缓冲区内。

关键词 藏北地区; 高寒草地; NPP 变化趋势; 人类活动; 响应

文章编号: 1000-0933 (2007) 11-4612-08 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Trends of grassland NPP and its response to human activity in Northern Tibet

GAO Qing-Zhu¹, WAN Yun-Fan^{1,*}, LI Yu-E¹, SHENG Wen-Ping¹, Jiangcun Wangzha², WANG Bao-Shan², LI Wen-Fu²

1 Institute of Environment and Sustainable Development for Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

2 Naqu Agriculture and Animal Husbandry Bureau, Tibet Autonomous Region, Naqu 852100, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (11): 4612 ~ 4619.

Abstract : According to remote sensing data climatic data and other related data in Northern Tibet from 1981 to 2004, using CASA (Carnegie-Ames-Stanford Approach) model estimated the NPP of alpine grassland in the Northern Tibet and analyzed the spatial pattern of changing tendency for the alpine grassland NPP and its response to human activity intensity based on GIS technique. We found that the change tendency of alpine grassland in most area of Northern Tibet was not obvious, which occupied approximately 88.61% of total grassland area; while that changing remarkable region only accounts for 11.39%, and among these 11.30% decreased significantly, while and 0.09% increased. In Northern Tibet, the alpine grassland NPP for high elevation region has a greater proportion (bigger than 26%) to fall down, that in the region of slope between 15 – 30° change bigger, and aspect has little influence on change tendency of the alpine grassland NPP. The

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (40775062) 国家重点基础研究发展规划资助项目 (2002CB412508) 西藏那曲地区与中国农业科学院合作资助项目

收稿日期 2006-07-21; **修订日期** 2007-09-17

作者简介 高清竹 (1975 ~), 男, 内蒙古科左中旗人, 博士, 主要从事全球变化与生态安全以及遥感与地理信息系统应用研究. E-mail: gaoqzh@ami.ac.cn

* **通讯作者** Corresponding author. E-mail: wanyunfan@ami.ac.cn

Foundation item : The project was financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40775062), the National Basic Research Program of China (No. 2002CB412508), cooperation project with Naqu Bureau of Agriculture and Husbandry Management Department and Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences

Received date 2006-07-21; **Accepted date** 2007-09-17

Biography GAO Qing-Zhu, Ph. D., mainly engaged in physical geography, mainly engaged in climate change and its impact on grassland ecosystem, land use and ecological security. E-mail: gaoqzh@ami.ac.cn

negative effect of local residential area to the grassland *NPP* change tendency is smaller than that of road. From the synthesis affects that, the intensity of human activity in the region near to road and the residential area are strong and the influence on grassland *NPP* change tendency are bigger also. The grassland *NPP* remarkably increased region only distributed in first buffer outside where the human activity intensity is biggest particularly.

Key Words : alpine grassland ; *NPP* ; changing trend ; human activity ; Northern Tibet

藏北 那曲)地区是我国长江、怒江、澜沧江等大江大河的主要发源地之一,平均海拔在 4500m 以上,也是全国五大牧区之一的西藏自治区的主要畜牧业生产基地^[1,2]。该地区自然条件极为严酷、生态系统极其脆弱。在藏北地区,草地是最重要、面积最大的生态系统,也是藏北生产生活的基础条件^[3]。近年以来,由于在自然和人为因素的双重影响下,导致藏北草地大范围严重退化,产量下降,已成为社会、经济、生态可持续发展的巨大障碍^[3]。藏北草地生态与环境,不仅直接影响着本地区社会经济的发展,而且对青藏高原以及全国的江河、气候、生态环境都有直接影响,甚至对全球也有不容忽视的影响。

植被净第一性生产力 (*NPP*) 不仅为生态系统次级生产提供能量和物质基础,而且也是生态系统自身健康和生态平衡的重要指示因子以及判定碳汇和调节生态过程的主要因子^[4~7]。因此,采用遥感模型 (CASA 模型) 估算藏北地区草地植被净第一性生产力、分析其变化规律及其对人类活动和气候变化的响应,可以为藏北地区畜牧业合理布局和草地资源的可持续利用与改善和保护草地生态环境及气候变化等相关科学研究提供理论依据与科学技术支持。

1 研究区域概况

藏北 那曲)地区位于西藏冈底斯山和念青唐古拉山以北的广阔地区,东经 83°41'14"至 95°10'46" ,北纬 30°27'25"至 35°39'13",土地总面积约为 44.6 万 km²,占西藏自治区总面积的 37.1%。该地区平均海拔在 4500m 以上,被称为世界屋脊的屋脊,并孕育了我国长江、怒江、澜沧江等多条大江大河及藏北高原的内流河与众多湖泊。在藏北地区,草地是最重要、面积最大的生态系统,主要以高寒草甸类、高寒草原类和高寒荒漠类草地为主^[1]。

由于受高原地形的影响,藏北地区气候突出特点是寒冷干燥^[8]。藏北地区年平均气温在 -2.8 ~ 1.6℃ 之间,年平均降水量在 247.3 ~ 513.6 mm 之间,受大气环流和地形的影响,降水总体趋势表现为由东向西,由南向北递减。藏北地区的年蒸发量 (以小蒸发皿测量) 在 1500 ~ 2300mm 之间,由东南向西北增大。另外,冬春季受高空西风气流的影响,地面气温低,天气干燥晴朗,多 7 级以上的大风,有时风力可达 10 ~ 12 级。藏北地区日照时数高于同纬度的其他区域,全地区年日照时数在 2400 ~ 3200h,由东向西递增。藏北地区由于海拔高、空气洁净等,光能资源相当丰富,平均太阳年总辐射量达 6000MJ/m²,西部最高达 6800MJ/m²^[8]。

2 数据与研究方法

2.1 数据及其预处理

① NDVI 数据 1981 ~ 2001 年全年逐旬 AVHRR-NDVI 数据 (空间分辨率 8km × 8km) 2002 ~ 2004 年生长季 (6 月 ~ 9 月) 逐旬 MODIS-NDVI 数据 (空间分辨率 0.25km × 0.25km) 等不同时空分辨率的能够完全覆盖研究区的 NDVI 数据。

② 气象数据 由于藏北地区气象站点相对较少 (只有班戈、安多、那曲、申扎、索县、比如等 6 个气象站),本项研究利用全国 740 个气象站点多年 (1980 ~ 2004 年) 逐月降水量、气温和太阳辐射数据 (其中,太阳辐射数据为 120 个气象站点数据),进行空间插值而获得气象数据空间分布图,然后切出 1980 年至 2004 年期间藏北地区降水量、气温和太阳辐射等气象数据。

③ 其他相关数据 1958 ~ 2003 年那曲地区社会经济统计资料 西藏那曲地区草原站历年草地地面调查数据 那曲地区 1:25 万数字地形图 1:100 万中国植被图 那曲地区行政区划、植被和土壤等相关图件和资料。

4) 数据处理 NDVI 数据进行标准化,基于那曲地区 1:25 万地形图进行几何校正;气象数据计算月值,并采用地理信息系统软件进行空间插值,获得气象要素栅格图(空间分辨率 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$)^[6]。基于 DEM 数据,提取海拔高度、坡度坡向等地形因素的栅格图(其中海拔高度划分 $<3500\text{ m}$ 、 $3500 \sim 4000\text{ m}$ 、 $4000 \sim 4500\text{ m}$ 、 $4500 \sim 4750\text{ m}$ 、 $4750 \sim 5000\text{ m}$ 、 $5000 \sim 5250\text{ m}$ 、 $5250 \sim 5500\text{ m}$ 、 $5500 \sim 6000\text{ m}$ 、 $>6000\text{ m}$ 等 9 个等级;坡度划分 $<1^\circ$ 、 $1 \sim 5^\circ$ 、 $5 \sim 10^\circ$ 、 $10 \sim 15^\circ$ 、 $15 \sim 20^\circ$ 、 $20 \sim 25^\circ$ 、 $25 \sim 30^\circ$ 、 $>30^\circ$ 等 8 个等级;坡向划分平地、北、东北、东、东南、南、西南、西、西北九个坡向)。

在那曲地区 1:25 万数字地形图基础上,首先提取居民点和道路数据,分别以居民点和道路为中心,用地理信息系统软件生成距离缓冲区栅格图(buffer),以 2 km 为单位,各自生成 6 个缓冲带,然后将居民点和道路缓冲区合并,获得具有 6 个缓冲带的居民点和道路综合缓冲区。

2.2 研究方法

2.2.1 高寒草地净第一性生产力 (NPP) 的估算

CASA (Carnegie-Ames-Stanford Approach) 模型是当前主要遥感过程模型之一,已广泛应用在青藏高原及我国主要生态系统的 NPP 模拟估算并通过检验表明取得了较好的模拟结果^[6, 10~12]。在 CASA 模型中植被净第一性生产力主要由植被所吸收的光合有效辐射 (APAR) 与光能转化率 (ϵ) 两个变量来确定^[6, 10~13]。

$$NPP(x,t) = APAR(x,t) \times \epsilon(x,t)$$

(1)

式中, $NPP(x,t)$ 是空间位置 x 上的植被在 t 时间内的净第一性生产力; $APAR(x,t)$ 表示空间位置 x 上的植被在 t 时间内所吸收的光合有效辐射; $\epsilon(x,t)$ 表示空间位置 x 上的植被在 t 时间内的光能转换率。光合有效辐射、光能转换率以及低温、高温和水分限制因子等具体模型参数的计算方法见文献^[6, 10~13],其中藏北高寒草地植被的月最大光能转换率 ($\epsilon_{\max}$) 为 $0.608\text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ ^[6]。另外,藏北地区植物生长季比较短,4 月底或 5 月初开始返青到 9 月底枯黄,因此只计算了生长期 ($\epsilon \sim 9$ 月份) 藏北草地植被 NPP。

模型模拟结果的精度检验是目前区域 NPP 模型研究方面的难点之一^[6, 14]。模拟结果检验方法一般有两种,一是与实测数据对比,二是与其它模型模拟结果进行对比^[6]。由于实测 NPP 难度比较大,往往采用生物量换算的 NPP 数据来代替 NPP 实测数据^[6, 14, 15]。本文基于 2004 年 8 月份进行实测的藏北草地生物量数据以及 2002 年、2003 年那曲地区草原站实测的草地生物量数据,换算草地植被地上、地下生产力^[5, 16],并将实测数据空间位置与 CASA 模型模拟结果一一对应,进行模拟值的精度检验(图 1)。可以看出,CASA 模型模拟 NPP 值和实测值基本上是吻合的 ($P < 0.01$)。因此,可以认为,该模型适于藏北高寒草地植被 NPP 的估算。但是,藏北高寒草地 NPP 及其相关基础数据相对偏少,还需要更多的实测数据,进一步修订模拟结果和精度检验。

2.2.2 草地 NPP 变化趋势分析

在藏北地区草地 NPP 估算基础上,进一步评价和分析了藏北地区草地 NPP 变化趋势。草地 NPP 变化趋势系数(即 Pearson 相关系数)可以表示草地 NPP 长期趋势变化的程度,是 n 个时刻的草地 NPP 与自然数列 1, 2, 3, ..., n 的相关系数^[1]:

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

(2)

其中 n 为年份序号, x_i 是第 i 年的草地 NPP, $\bar{x}$ 为多年草地 NPP 均值, $\bar{i} = (n + 1)/2$,显然,这个值为正(负)时,

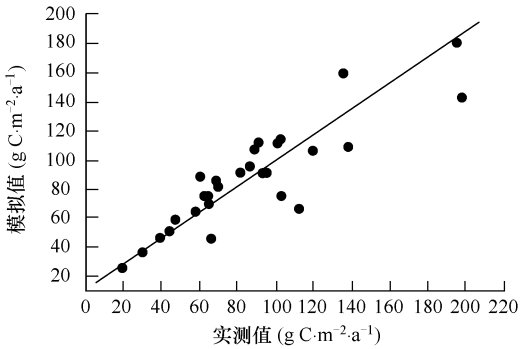


图 1 CASA 模型模拟结果精度检验
Fig. 1 Comparison of simulated and observed NPP

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^[1]。如草地 NPP 变化趋势系数通过 0.01 或 0.05 的显著性检验 ($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$), 则认为减少或增加趋势极显著或显著。

以上工作是在 ERDAS Imagine8.6 遥感图像处理软件、ArcInfo9.0 地理信息系统软件支持下完成的。

3 结果与讨论

3.1 藏北高寒草地 NPP 及其变化趋势总体特征

1981 年至 2004 年期间,藏北地区草地植被年净第一性生产力 (NPP) 空间分布规律受藏北水热条件的制约呈水平地带性分布 (图 2)。藏北地区从东南向西北气候明显地表现出高寒湿润、高寒半湿润、高寒半干旱和高寒干旱的水平地带性变化^[1]。因而草地植被大体上也呈现出由东南向西北依次出现亚高山、高山灌丛草甸—高寒草甸—高寒草原—高寒半荒漠直至西北部可可西里地区变为高寒荒漠,其 NPP 也逐渐由 230 $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 减少到接近 0 $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。藏北地区草地植被 NPP 整体水平较低,1981 年至 2004 年期间多年平均草地植被总 NPP 为 $21.3 \times 10^{12} \text{ gC} \cdot \text{a}^{-1}$, 多年平均值仅为 47.7 $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 最高值为 75.4 $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (1991 年), 最低值仅为 14.4 $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (1994 年)。

通过 GIS 手段,分析从 1981 年至 2004 年期间藏北地区高寒草地植被 NPP 空间格局的变化趋势发现 (图 3、图 4) 近 24a 来,藏北绝大部分区域 (约占草地总面积的 88.61%) 草地植被 NPP 变化趋势不明显,是在正常波动范围之内,而草地植被 NPP 变化趋势显著的区域仅占草地总面积的 11.39%,其中显著降低约占 11.30% (其中极显著降低区域约占 1.90% 而显著降低区域约占 9.40%), 显著增高仅占 0.09%。从空间分布规律来看,草地 NPP 显著减少区域主要分布在东部地区 (图 4)。

3.2 藏北高寒草地 NPP 变化趋势的空间格局

藏北地区的海拔高度、坡度、坡向等不同地形地貌因素对草地植被 NPP 变化趋势的影响也有所不同 (表 1 和图 5)。藏北地区高海拔区域 (大于 6000m) 草地 NPP 显著降低比例最大;其次是海拔高度在 5500 ~ 6000m 之间区域,然后是海拔高度 4000 ~ 4500m 之间区域。这说明高海拔地区生态环境相对脆弱,对气候变化和人类活动较为敏感,从而该区域有较大比例 (大于 26%) 的草地 NPP 显著降低 (包括极显著和显著降低) 而在海拔高度 4000 ~ 4500m 之间区域的草地多年平均 NPP 为最高 (表 1), 比较适合于放牧和居住,人类活动强度较大,使该区域 20.6% 的地区草地 NPP 呈现显著降低的趋势。

在藏北地区坡度在 15 ~ 30° 之间区域的草地年总 NPP 变化幅度较大,其中,在 25 ~ 30° 坡度区的草地总 NPP 有显著降低 (包括极显著和显著降低) 的区域面积占该区域总面积的 25.3%,而在 15 ~ 20° 和 20 ~ 25° 坡度区的草地总 NPP 有显著降低的区域面积分别占各自区域总面积的 20.3% 和 20.8% (图 5)。在藏北地区,

表 1 地形因素对藏北地区草地 NPP 的影响

Table 1 Impacts of elevation, slope and aspect on grassland NPP in Northern Tibet

项目 Item	坡向 Aspect								
	平地 Flat	北 North	东北 North east	东 East	东南 South east	南 South	西南 South west	西 West	西北 North west
面积比例 Area percentage (%)	29.8	9.9	10.1	7.1	8.8	9.4	9.4	6.8	8.7
NPP ($\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$)	37.5	47.9	54.3	58.0	57.4	45.4	49.2	54.4	52.8
高程 Elevation	A	B	C	D	E	F	G	H	I
面积比例 Area percentage (%)	2.1	0.5	2.3	15.0	37.6	27.3	12.3	2.6	0.1
NPP ($\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$)	48.6	75.6	107.1	63.5	46.6	39.4	44.1	38.9	17.6
坡度 Slope (°)	<1	1 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 25	25 ~ 30	>30	
面积比例 Area percentage (%)	38.0	24.7	14.0	8.0	4.3	3.5	2.5	4.9	
NPP ($\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$)	36.3	38.2	49.9	57.9	78.9	83.0	111.6	81.2	

A :<3500m B 3500 ~ 4000m C 4000 ~ 4500m D 4500 ~ 4750m E 4750 ~ 5000m F 5000 ~ 5250m G 5250 ~ 5500m H 5500 ~ 6000m I :>6000m

接彩图 2,3,4,5

坡向对草地 NPP 变化趋势的影响不大,各个坡向的草地 NPP 显著降低区域面积基本相当,最大为 12.6% (西南坡),最小为 9.5% (南坡)。可见,在藏北地区,虽然低海拔、平地 (坡度小于 1°) 和平滩地的人类活动强度较大,草地植被的多年平均 NPP 也相对较低,但是这些区域草地 NPP 显著降低区域面积相对较小,变化趋势不明显,草地年总 NPP 相对较稳定。

3.3 人类活动对藏北草地 NPP 变化趋势的影响

为了探讨人类活动强度对藏北草地 NPP 变化趋势的影响,提取藏北地区人为活动主要发生区域——道路和居民点及其不同距离缓冲区,与藏北草地 NPP 变化趋势的空间格局图进行叠加运算,分析了道路和居民点不同距离缓冲区内的草地 NPP 变化趋势分布规律。其中道路和居民点的不同距离缓冲区表示人类活动强度梯度,离道路和居民点的距离越远、人类活动的强度或影响草地及其 NPP 的能力越低^[7, 18]。

藏北地区道路和居民点缓冲区分布规律有所不同 (表 2)。在道路缓冲区内,第一缓冲区 (I :<2km) 面积最大,占草地总面积的 40.3% 其次是第七缓冲区 (Ⅶ :>12km),即离道路 12km 以外的地区,约占 26.6% 的面积 第 2 缓冲区至第 5 缓冲区,其所占比例逐渐减小。居民点第 1 个缓冲区 (Ⅰ :<2km) 内草地面积占草地总面积的 15.1% 而居民点第 2 个缓冲区 (Ⅱ 2~4km) 面积 (9.1%) 大于第 1 个缓冲区,然后随着缓冲区距离的增大,所占面积逐渐减少 缓冲区距离大于 12km 时 (Ⅶ :>12km),其所占面积比例最大,达到 47.6%。以往研究通常区分道路和居民点的缓冲区,分别分析道路和居民点各自带来的环境影响,很少探讨道路和居民点的综合效应。本研究叠加分析道路和居民点缓冲区,得到了藏北地区道路和居民点综合缓冲区。综合缓冲区分布规律与道路缓冲区基本相同,第 1 缓冲区面积最大,其次是第 7 缓冲区,然后是第 2 缓冲区,第 6 缓冲区面积最小。

在各道路缓冲区,草地 NPP 显著降低 (包括极显著和显著降低) 区域在第 7 缓冲区内分布面积最大,占草地 NPP 显著降低区域总面积的 27.6%,其中极显著和显著降低区域分别占第 7 缓冲区的 1.7% 和 5.0% 其次是第 2 和第 1 缓冲区,分别占草地 NPP 显著降低区域总面积的 22.9% 和 19.9%,其中极显著降低区域分别占第 1 和第 2 缓冲区总面积的 2.6% 和 2.5%。草地 NPP 变化不明显区域的分布规律与缓冲区面积分布规律基本相同,在第 1 缓冲区的分布面积最大,其次是在第 7 缓冲区内分布面积。NPP 显著增高区域全部分布在第 1 缓冲区,即离道路 2km 距离范围之内 (表 2)。在居民点缓冲区,草地 NPP 显著降低区域和 NPP 变化不明显区域都主要分布在第七缓冲区、第 2 缓冲区和第 1 缓冲区 而所有 NPP 显著增高区域也在居民点周围 2km 之内 (表 2)。在不同综合缓冲区草地 NPP 变化趋势与道路缓冲区基本相同,草地 NPP 显著降低区域主要分布在第 1、第 7、第 2 缓冲区 (表 2)。

表 2 藏北地区人类活动强度缓冲区所占面积比例 (%)

Table 2 Proportion (%) of different buffer area of human activity intensity in Northern Tibet

缓冲区序号 Number of buffer		I	II	III	IV	V	VI	VII
道路缓冲区 Road affect	显著降低 Decreased	1.77	2.03	1.21	0.74	0.47	0.21	2.45
	变化不明显 No obvious	33.30	12.88	6.34	3.68	2.80	2.74	24.20
	显著增高 Increased	5.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	总面积比例 Area percentage (%)	40.26	14.91	7.54	4.42	3.27	2.95	26.64
居民点缓冲区 Residential area affect	显著降低 Decreased	1.40	1.93	1.07	0.65	0.57	0.39	5.30
	变化不明显 No obvious	13.63	17.17	7.89	3.30	2.59	1.76	42.26
	显著增高 Increased	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	总面积比例 Area percentage (%)	15.12	19.11	8.96	3.96	3.15	2.14	47.56
综合缓冲区 Synthesis affect	显著降低 Decreased	4.26	2.11	1.28	0.77	0.45	0.18	2.26
	变化不明显 No obvious	36.90	13.51	6.34	3.78	2.53	2.47	23.07
	显著增高 Increased	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	总面积比例 Area percentage (%)	41.25	15.63	7.62	4.55	2.98	2.65	25.33

缓冲区序号 距离 km) I :<2km ;II 2~4km ;III 4~6km ;IV 6~8km ;V 8~10km ;VI 10~12km ;VII :>12km

在各道路缓冲区,草地 *NPP* 显著降低 (包括极显著和显著降低) 区域在第 7 缓冲区内分布面积最大,占草地 *NPP* 显著降低区域总面积的 27.6%,其中极显著和显著降低区域分别占第 7 缓冲区的 1.7% 和 5.0% ;其次是第 2 和第 1 缓冲区,分别占草地 *NPP* 显著降低区域总面积的 22.9% 和 19.9%,其中极显著降低区域分别占第 1 和第 2 缓冲区总面积的 2.6% 和 2.5%。草地 *NPP* 变化不明显区域的分布规律与缓冲区面积分布规律基本相同,在第 1 缓冲区的分布面积最大,其次是在第 7 缓冲区内分布面积。*NPP* 显著增高区域全部分布在第 1 缓冲区,即离道路 2km 距离范围之内 (表 2)。在居民点缓冲区,草地 *NPP* 显著降低区域和 *NPP* 变化不明显区域都主要分布在第 7 缓冲区、第 2 缓冲区和第 1 缓冲区,而所有 *NPP* 显著增高区域也在居民点周围 2km 之内 (表 2)。在不同综合缓冲区草地 *NPP* 变化趋势与道路缓冲区基本相同,草地 *NPP* 显著降低区域主要分布在第 1、第 7、第 2 缓冲区 (表 2)。

总的来说,藏北地区居民点对草地 *NPP* 变化趋势的负面影响小于道路影响。这一方面可能是藏北地区居民点规模较小,主要以一两户牧民为主,也相对比较分散,另一方面藏北地区放牧活动以游牧活动 (分冷暖季牧场) 为主,流动性较强,使得居民点附近的草地 *NPP* 降低趋势与其他区域的差别较小。还有,藏北草地 *NPP* 显著增高区域只分布在第 1 个缓冲区内,这说明了近年来当地政府和相关单位在藏北地区 (主要在房前屋后或交通便利的地区) 开展或推广的人工草地和退化草地治理等主要草地建设和保护措施已经得到一定的效果。

3.4 主要结论

(1) 近 24 年以来,藏北绝大部分区域 (约占草地总面积的 88.61%,其中降低趋势不明显区域面积约为 77.98%,增高趋势不显著约占 10.63%) 草地植被年总 *NPP* 变化趋势不明显,是在正常波动范围之内;而草地植被年总 *NPP* 变化趋势显著的区域仅占草地总面积的 11.39%,其中显著降低约占 11.30% (其中极显著降低区域约占 1.90% 而显著降低区域约占 9.40%),显著增高仅占 0.09%。

(2) 藏北地区的海拔高度、坡度、坡向等不同地形地貌因素对草地植被 *NPP* 变化趋势的影响也有所不同。在高海拔地区生态环境相对脆弱,对气候变化和人类活动较为敏感,从而该区域有较大比例 (大于 26%) 的草地 *NPP* 显著降低;坡度在 15~30° 之间区域的草地年总 *NPP* 变化幅度较大,草地 *NPP* 有显著降低的区域面积占该区域总面积的 20% 以上。在藏北地区,坡向对草地 *NPP* 变化趋势的影响不大,各个坡向的草地 *NPP* 显著降低区域面积基本相当。

(3) 藏北地区居民点对草地 *NPP* 变化趋势的负面影响小于道路影响。藏北草地 *NPP* 显著增高区域只分布在第 1 个缓冲区内,这说明了近年来当地政府和相关单位在藏北地区 (主要在房前屋后或交通便利的地区) 开展或推广的人工草地和退化草地治理等主要草地建设和保护措施已经得到一定的生态效益。

References :

[1] Gansu Grassland Ecological Research Institute and Animal Husbandry Bureau of Naqu Prefecture of Tibet, Grassland resources and animal production in the Naqu region of Tibet. Lanzhou : Gansu Science and Technology Press, 1991.

[2] Gao Q Z, Li Y, Lin Erda, *et al.* Temporal and spatial distribution of grassland degradation in Northern Tibet, *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60 (6) : 965—973.

[3] Liu S Z, Zhou L, Qiu C S, *et al.*, Studies on grassland degradation and desertification of Naqu Prefecture in Tibet Autonomous Region, Lasha, Tibet People's Press, 1999.

[4] Odum E P. Fundamentals of ecology. W. B. Saunders Co., Philadelphia, Pennsylvania, 1959.

[5] Li S H, Niu Z, Li B C. Study on Remote Sensing Driving Factors of *NPP* Process Model. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12 (1) : 120—123.

[6] Zhu W Q, Pan Y Z, Long Z H, *et al.* Estimating net primary productivity of terrestrial vegetation based on GIS and RS : a case study in Inner Mongolia, China. *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9 (3) : 300—307.

[7] Potter C S, Randerson J, Field C B, *et al.* Terrestrial ecosystem production : a process model based on global satellite and surface data. *Global Biogeochemical Cycle*, 1993, 7 : 811—841.

[8] Liu X S, Ma Y C, Laba, *et al*, Climatic Regionalization of the animal husbandry of Naqu region. Beijing : Meteorological Press, 2003.

[9] Yu G R, He H L, Liu X N, *et al*. Study on spatialization technology of terrestrial eco-information in China (I) : The approach of spatialization in meteorology/climate information. Journal of Natural Resources, 2004, 19 (4) : 537 – 544.

[10] Tao F L, Masayuki Yokozawa, Zhao Z, Xu Y L, Yousay Hayashi. Remote sensing of crop production in China by production efficiency models : models comparisons. estimates and uncertainties. Ecological Modelling, 2005, 183 (4) : 385 – 396.

[11] Piao S L, Fang J Y. Terrestrial net primary production and its spatio-temporal patterns in Qinghai-Xizang Plateau, China during 1982 – 1999. Journal of Natural Resources, 2002, 17 (5) : 373 – 380.

[12] Piao S L, Fang J Y, Guo Q H. Application of CASA model to the estimation of Chinese terrestrial net primary productivity. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25 (5) : 603 – 608.

[13] Potter C. Predicting climate change effects on vegetation, soil thermal dynamics, and carbon cycling in ecosystems of interior Alaska. Ecological Modelling, 2004, 175 (1) : 1 – 24.

[14] Zhou C P, Ouyang H, Wang Q X, *et al*, Estimation of net primary productivity in Tibetan Plateau. Acta Geographica Sinica, 2004, 59 (1) : 74 – 79.

[15] Luo T X, Li W H, Leng Y F, *et al*. Estimation of total biomass and potential distribution of net primary productivity in the Tibetan Plateau. Geographical Research, 1998, 17 (4) : 337 – 344.

[16] Luo T X, Li W H, Luo J, *et al*. A comparative study on biological production of major vegetation types on the Tibetan Plateau, Acta Ecologica Sinica, 1999, 19 (6) : 823 – 831.

[17] Zhang Y L, Liu L S, Bai W Q, *et al*. Grassland Degradation in the Source Region of the Yellow River. Acta Geographica Sinica, 2006, 61 (1) : 3 – 14.

[18] Zeng H, Kong N N, Li S J. Human impacts on landscape structure in Wolong Natural Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21 (2) : 1994 – 2001.

参考文献：

[1] 甘肃草原生态研究所草地资源室和西藏自治区那曲地区畜牧局. 西藏那曲地区草地畜牧业资源. 兰州 : 甘肃科学技术出版社, 1991.

[2] 高清竹, 李玉娥, 林而达, 等. 藏北草地退化时空特征. 地理学报, 2005, 61 (6) : 965 ~ 973.

[3] 刘淑珍, 周麟, 仇崇善, 等. 西藏自治区那曲地区草地退化沙化研究. 拉萨 : 西藏人民出版社, 1999.

[5] 李世华, 牛铮, 李璧成. NPP 过程模型遥感驱动因子分析. 水土保持研究, 2005, 12 (5) : 120 ~ 123

[6] 朱文泉, 潘耀忠, 龙中华, 等. 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.

[8] 刘雪松, 马玉才, 拉巴, 等. 那曲地区牧业气候区划. 北京 : 气象出版社, 2003.

[9] 于贵瑞, 何洪林, 刘新安, 等. 中国陆地生态信息空间化技术研究 (I) 气象/气候信息的空间化技术途径. 自然资源学报, 2004, 19 (4) : 537 ~ 544.

[11] 朴世龙, 方精云. 1982 ~ 1999 年青藏高原植被净第一性生产力及其时空变化. 自然资源学报, 2002, 17 (5) : 373 ~ 380.

[12] 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. 植物生态学报, 2001, 25 (5) : 603 ~ 608.

[14] 周才平, 欧阳华, 王勤学, 等. 青藏高原主要生态系统净初级生产力的估算. 地理学报, 2004, 59 (1) : 74 ~ 79.

[15] 罗天祥, 李文华, 冷允法, 等. 青藏高原自然植被总生物量的估算与净初级生产量的潜在分布. 地理研究, 1998, 17 (4) : 337 ~ 344.

[16] 罗天祥, 李文华, 罗辑, 等. 青藏高原主要植被类型生物生产量的比较研究. 生态学报, 1999, 19 (6) : 823 ~ 831.

[17] 张镭铿, 刘林山, 摆万奇, 等. 黄河源地区草地退化空间特征. 地理学报, 2006, 61 (1) : 3 ~ 14.

[18] 曾辉, 孔宁宁, 李书娟. 卧龙自然保护区人为活动对景观结构的影响. 生态学报, 2001, 21 (2) : 1994 ~ 2001.

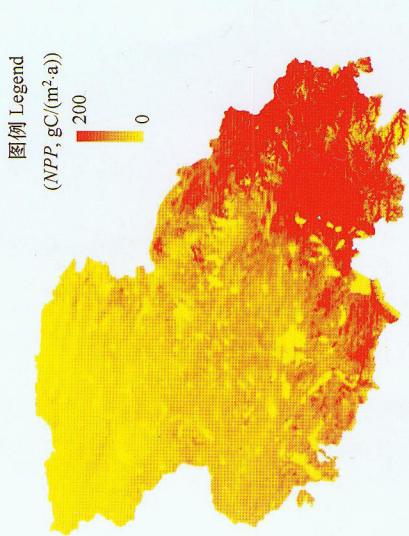
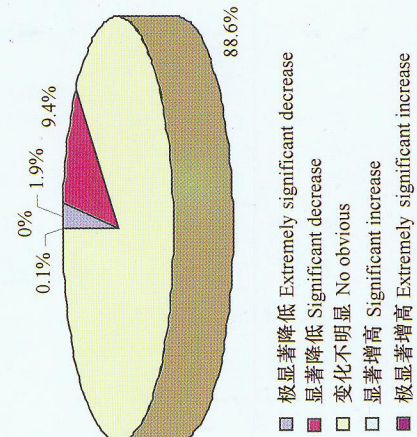
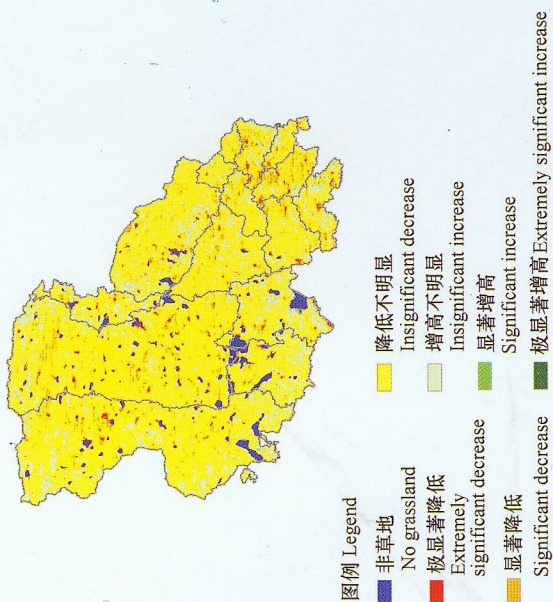


图2 1981~2004年间藏北草地平均NPP空间分布图
Fig.2 Spatial distribution of annual mean NPP in Northern Tibet

图3 藏北草地植被NPP变化趋势比例结构
Fig.3 Proportion of grassland NPP trends in Northern Tibet

图4 藏北地区草地植被NPP变化趋势图
Fig.4 Trends of grassland NPP in Northern Tibet

