

利用 EOS/MODIS 数据估算西藏藏北 高原地表草地生物量^{*1}

除 多¹ 姬秋梅² 德吉央宗¹ 普 次¹

1 青藏高原大气环境科学研究所,拉萨, 850000

2 西藏自治区畜牧科学研究所,拉萨, 850000

摘 要

植被生物量作为一个重要的植被状态参数,其估算不仅对研究陆地生态系统植被生产量、碳循环、营养分配等方面具有重要意义,植被生物量的大小直接影响人类对地表植被的利用特点,而且影响其他的生物物理参量。各种不同空间分辨率、时间分辨率和波谱分辨率遥感数据的出现,使得实时监测大范围的植被生长成为可能。文中根据 2004 年 8 月至 9 月草地植被地面观测资料结合同期的 EOS/MODIS 卫星遥感数据建立了西藏藏北高原草地植被地上生物量、绿色干物质获得量与 EOS/MODIS 归一化植被指数(NDVI)、增强植被指数(EVI)之间的关系,并与影响草地植被空间分布的主要气候和高程要素之间的关系进行了分析。结果表明:在藏北高原 NDVI 较 EVI 能有效地估算草地地上生物量和绿色干物质获得量;藏北高原草地上生物量与绿色干物质获得量的空间分布特征是从东南部到西北部逐渐减少,东南部部分地区每公顷的草地地上生物量在 2000 kg 以上,到西北部地区减少到 200 kg 以下。影响草地地上生物量空间分布的主要气候要素是降水,两者的相关系数为 0.64,其次为温度,相关系数为 0.44;草地植被地上生物量的空间分布与高程呈反比,即海拔越高的地段生物量越低。

关键词:草地生物量,EOS/MODIS,气候要素,藏北高原。

1 引 言

陆地生物圈是地球系统科学研究对象的一个重要部分,地球系统科学研究涉及气候变化,水文循环变化和陆地生态系统生产力变化等诸多方面,其中最基本的一个问题是把地球作为一个统一系统研究时如何理解陆地植被在大尺度过程中的作用。同时,未来大气中 CO₂ 增加的威胁以及相关的气候变化促使从事地球科学的专家研究和模拟植被对全球环境变化的响应^[1]。作为对气候变化敏感地区,半干旱的草原植被可能是气候变化影响的重要地区^[2]。预测全球变化对生态系统要素可能影响的能力需要某一区域内不同植被对气候变化响应的详尽分析,以及相互的响应是如何联系的^[3]。回答这些问题首先需要了解和掌握陆地生态系统植被状态参

数的大尺度时空分布特征及其变化情况。主要的地表植被状态参数有植被类型、植被覆盖度、生物量、叶面积指数、反照率、粗糙度等。现在的陆面过程模型需要能够精确表述陆地表面性质的这些状态参量^[4]。其中,植被的生物量是一定区域内植被的生产量。植被生物量的估算不仅对研究陆地生态系统植被生产量、碳循环、营养分配等方面具有重要意义^[5-6],生物量的大小直接影响人类对地表植被的利用特点,而且影响其他的生物物理参量。

由于遥感技术的飞速发展和各种不同时间、空间、波谱分辨率遥感数据的增多,近年来利用卫星遥感数据来估算地表生物量的研究越来越多。从卫星遥感数据获取的各种植被指数如归一化植被指数、比值植被指数和土壤调节植被指数在植被生物量、叶面积指数以及生产量方面得到了广泛的应用^[7-8]。

* 初稿时间:2006 年 5 月 18 日;修改稿时间:2006 年 9 月 25 日。

资助课题:国家自然科学基金项目(40361001)和中国气象局气象新技术推广项目。

作者简介:除多,高级工程师,主要从事环境遥感与 GIS 应用。E-mail: chu_d22@yahoo.com

Sophie 等^[9]利用 NOAA/AVHRR 估算了安第斯草地的生物量动态变化;Al-Bakri 等^[10]将 NOAA/AVHRR 遥感数据应用于植被生物量和生长状况的监测研究;Cayrol 等^[11]建立了 SPOT-4 VEGETATION NDVI 与地面观测的草地生物量之间的关系,并将土壤-植被-大气传输模式(SVAT)应用于植被生物量和叶面积指数的计算;Zheng 等^[12]利用 Landsat 7 ETM+ 估算了美国威斯康星州地区的地表植被生物量。

朴世龙等^[13]利用中国草地资源清查资料,并结合同期的遥感影像,建立了基于最新修正的归一化植被指数(NDVI)的中国草地植被生物量估测模型,并利用该模型研究了中国草地植被生物量及其空间分布特征。Liang 等^[14]建立了中国东北典型草地植被地上生物量与气候之间的关系。在青藏高原,中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站自 1980 年起,在高寒草甸植物生物量的观测和研究方面开展了大量工作^[15-16]。罗天祥等^[17-19]用实测观测数据首次系统地分析和比较了青藏高原主要植被类型生物生产量的构成规律及分布格局。藏北高原是青藏高原最大的天然牧场,也是中国主要的天然草场之一。基于草地资源的畜牧业是该地区的支柱产业。由卫星遥感数据和地面调查相结合建立藏北高原草地植被的生物量模型不仅对定量研究该地区的陆地生态系统有重要意义,而且对指导当地草地资源的管理、优化当地产业结构同样具有重要意义。

本研究利用 2004 年 8 月至 9 月藏北高原地面观测的草地生物量数据和同期的 EOS/MODIS 卫星遥感数据,估算了藏北高原草地地上生物量,并对影响草地生物量空间分布的主要气候和地形要素进行了分析。

2 研究区域概况

本研究区位于青藏高原腹地,包括西藏自治区的那曲地区和拉萨市,其范围为 $29^{\circ}14'10''$ — $36^{\circ}29'9''$ N、 $83^{\circ}52'23''$ — $95^{\circ}1'20''$ E,总面积为 $42 \times 10^4 \text{ km}^2$,占西藏自治区总面积的 35%。研究区的北部那曲地区的地形地貌特点是:青藏公路以西是青藏地区海拔最高、高原形态最为完整的地貌单元,大部分海拔在 4600—5100 m。地势南北高、中间低。该地区降水资源的空间分布特点是东南部向西北部逐渐减

少,温度则由南向北逐渐递减。南部拉萨地区平均海拔为 4616 m,地势呈西部高、东部低,北部高、南部低;雅鲁藏布江在本地区内及拉萨河下游河段海拔均低于 4000 m。降水资源的特点是东部向西部呈逐渐减少趋势,温度则南部雅鲁藏布江河谷和拉萨河谷向北部逐渐降低^[20-21]。

研究区除那曲地区东南边缘有小面积森林和灌木丛外,大面积是草地。分布特点是东南部由于气候温和半湿润,植被以半湿润灌木丛和亚高寒草甸为主,中部由于气候寒冷半湿润,植被为高寒草甸,西部是以紫花针茅为优势种的高寒草原植被,西北部是高寒荒漠植被带。拉萨地区东部水热条件相对优越,植被类型较西部地区相对丰富多样,植被的发育状况普遍较好。东部和北部海拔 4200 m 以上为高寒草甸植被为主,海拔 5000 m 以上为高山植被稀疏带。拉萨河河谷和雅鲁藏布江河谷及其 4200 m 以下山坡为山地草原^[20-21]。

3 数据

3.1 地面观测数据

2004 年 8 月至 9 月在研究区典型草地类型区选择了 10 个采样点,对 10 个采样点进行了每月两次的地面观测,每个采样点采集了 3 个样品。采样的内容有植被覆盖度、草地地上生物量和土壤湿度以及采样点的 GPS 定位数据。草地地上生物量的观测步骤是:首先用 $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 面积的正方形线圈在草地采样点随机抛出后用锋利的刀片将草地植被的地上部分全部割去,然后西藏自治区畜牧科学研究所草原室将采集的所有样品进行分拣,分拣时首先将草地的绿色部分和干枯部分进行分拣,之后在高温烘干机中分别烘干后称重,这样就获得了草地干枯部分和绿色部分的质量,这两个部分的合计值为草地干物质获得量(Dry Material),即草地地上生物量,绿色部分的质量就是草地绿色干物质质量,即草地植被鲜草总质量。在野外观测中,由于人为采集草地植物时,不可能完全将草地植被的地上部分全部收集。西藏自治区畜牧科学研究所多年进行草地生物量观测时发现,人工收集到的草地植被与总的草地植被地上部分的真实生物量值之间存在 5%左右的差异^[22]。所以,草地植被生物量和绿色干物质获得量分析时增加了 5%的误差。另外,2004 年 8 月 14、28 日及 9 月 15 和 29 日西藏自治区

畜牧科学研究所对拉萨地区林周县牦牛选育场附近的天然草地植被作了草地植被覆盖度和草地生物量

的观测,本文也利用了该观测数据。野外草地植被样品采样点分布见图 1。



图 1 研究区草地植被样品观测点及行政区

Fig. 1 Vegetation sampling points and administrative boundary in the study area

3.2 遥感数据

青藏高原大气环境科学研究所从 1988 年开始接收数字化 NOAA/AVHRR 卫星图像,于 2002 建立了青藏高原上第一个 EOS/MODIS 接收站,并开始接收 EOS/MODIS 卫星图像。我们接收了 2004 全年 EOS/MODIS 数据。经过对 2004 年接收的数据进行仔细分析后发现,2004 年 9 月 13 和 27 日接收的两个图像地面观测区域为晴空,其中,9 月 13 日整个研究区域为晴空。13 日图像对应的地面观测数据是 13 日至 15 日的草地观测数据;27 日 MODIS 图像采用了 27 日至 29 日采集的地面观测数据。2004 年 8 月在高原上以多云天气为主,没有找到适合植被监测的无云晴空天气,所以采用了美国地质调查局(USGS)提供的 16 d 合成的 250 m 分辨率植被指数数据。

拉萨接收的 MODIS 数据处理过程是,首先将原始接收的 MODIS 数据格式 PDS 转成 MODIS 1B 数据(以 HDF 格式存储),之后利用北京星地通公司开发的 MODIS 数据处理软件 EOSSHOP,对 MODIS 1B 数据重新进行投影后将 MODIS 数据分辨率为 250 m 的第 1 个和第 2 个波段分离后生成局

地数据 LDF 格式。由于 9 月的 MODIS 数据从 PDS 转成 MODIS 1B 时利用 MODIS 自带的定位数据进行了几何校正,EOSSHOP 投影之后的 MODIS 数据套上青藏高原上的湖泊边界后发现,MODIS 数据无需再定标而可以直接应用。2004 年 8 月的 MODIS 数据是 USGS 提供的 8 月 12 和 28 日 16 d 合成的植被指数图像,USGS 处理后数据的地理位置坐标完全能满足我们的要求。这些数据在图形处理软件 ENVI 中处理后采集了地面观测点对应的植被指数。采集时由于 MODIS 数据的空间分辨率和几何位置精度较高,所以直接采集了观测点对应的一个像素点的植被指数值。在此基础上,利用所生成的植被指数和地面观测资料建立了藏北高原草地植被地上生物量和绿色干物质获得量估算模型。

4 植被指数提取与草地生物量估算

植被指数(VI)是对地表植被活动的简单、有效和经验的度量,是利用叶冠的光学参数提取出的独特的光谱信号。设计植被指数的目的是要建立一种经验的或半经验的、对地球上所有生物群体都适用的植被观测测量。植被指数的一个重要特点是在植被

生物物理学参数(如生物量、叶面积指数,绿蔽度,光合作用有效吸收辐射等)的获取方面还起着“中间变量”的作用^[23]。因此,大多数学者根据植被的反射光谱特征,用植被红光、近红外波段的反射率和其他因子及其组合所获得的植被指数来提取植被信息的。这种方法简便易行,易于推广,通常是将两个(或多个)光谱观测通道组合来设计植被指数。应用最为广泛的植被指数是归一化植被指数(I_{NDV}),其表达式为

$$I_{NDV} = (R_{NI} - R) / (R_{NI} + R) \quad (1)$$

式中, R_{NI} 为 MODIS 卫星传感器第 2 个波段近红外波段(841—876 nm)反射率, R 为第 1 个波段红光波段(620—670 nm)反射率,两者的空间分辨率都为 250 m。 I_{NDV} 值范围在-1.0—1.0。

根据 8 月和 9 月地面观测点采集的 GPS 定位数据在图像处理软件 ENVI4.1 中读取了每个观测点相应的 250 m×250 m 范围内的 MODIS I_{NDV} 和 EVI 值,并与 8—9 月 31 个实际观测到的草地植被生物量之间建立了相关关系。实测草地植被地上生物量与 I_{NDV} 之间呈指数关系(图 2), $W_{Biomass} = 194.21e^{3.1775I_{NDV}}$, $r^2 = 0.6292$;草地绿色干物质总量与 I_{NDV} 也呈指数关系,其关系式为 $W_{Green} = 109.29e^{3.85I_{NDV}}$, $r^2 = 0.6942$ 。两个相关系数均通过了显著性水平为 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验(图 3)。由于 I_{NDV} 对绿色植被更为敏感,表现在相关系数上后者的相关系数高于前者。

植被叶冠背景对植被指数的影响与大气有关。在大气与叶冠背景对植被指数的影响敏感性研究中,Huete^[24-26]的研究发现背景对 I_{NDV} 的影响随着大气气溶胶的增加而减小。在水平能见度为

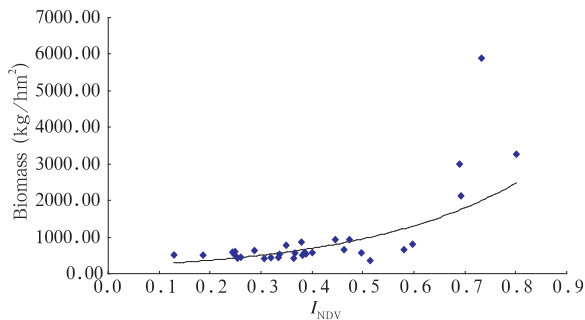


图 2 MODIS I_{NDV} 与草地植被地上生物量之间的关系

Fig. 2 Relationship between MODIS I_{NDV} and above-ground vegetation biomass over grassland

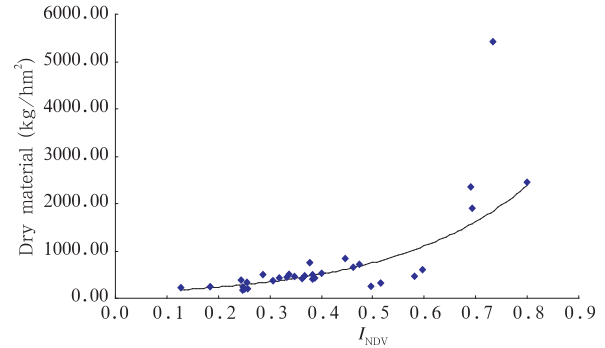


图 3 MODIS I_{NDV} 与草地植被绿色干物质总量(鲜草总重)之间的关系

Fig. 3 Relationship between MODIS I_{NDV} and above-ground green dry matter over grassland

5 km 的混浊大气中,背景的影响接近于 0。预期背景问题在 MODIS- I_{NDV} 图像中由于大气修正算法的改进而更加显著。反馈问题也是明显的,即降低了一种噪声(如大气)会增加另一种噪声。Liu^[27] 发展了一种对相对作用的叶冠背景和大气的影响进行修正的反馈算法。将背景调整和大气修正综合到反馈方程中,就得到了增强的土壤大气修正的植被指数,即增强植被指数(I_{EV}),其表达式为

$$I_{EV} = 2 \left[\frac{(R_{NI} - R)}{(L + R_{NI} + C_1 R + C_2 B)} \right] \quad (2)$$

式中, L 为背景调整项, R_{NI} 为 MODIS 近红外波段反射率, R 为红光波段反射率, B 是 MODIS 第 3 波段绿波段(459—479 nm)反射率, C_1 和 C_2 为拟合系数。

研究区内野外观测的草地植被地上生物量与 I_{EV} 呈指数相关,表达式为 $W_{Biomass} = 192.51e^{5.5071I_{EV}}$, $r^2 = 0.4989$ (图 4)。其相关系数低于 I_{NDV} 与草地植被地上生物量之间的相关系数。

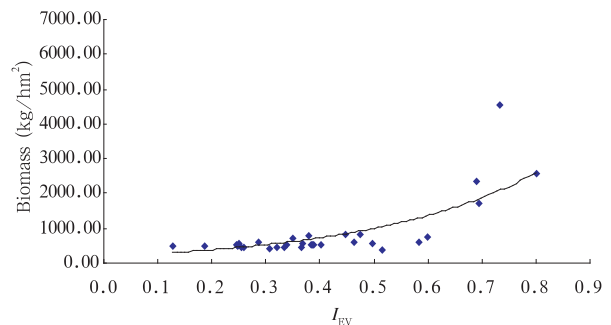


图 4 MODIS I_{EV} 与草地植被地上生物量之间的关系

Fig. 4 Relationship between MODIS I_{EV} and above-ground biomass of grassland vegetation

同样, I_{EV} 与绿色干物质总量之间的关系为 $W_{Green} = 102.08e^{6.9157I_{EV}}$, $r^2 = 0.5912$ 。该相关程度略高于 I_{EV} 与草地植被地上生物量之间的相关(图 5)。两个相关系数也均通过了显著性水平为 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。

从以上的两个植被指数与地面观测数据之间的相关系数可以发现, MODIS I_{NDV} 能够较准确地估算藏北地区草地地上生物量。

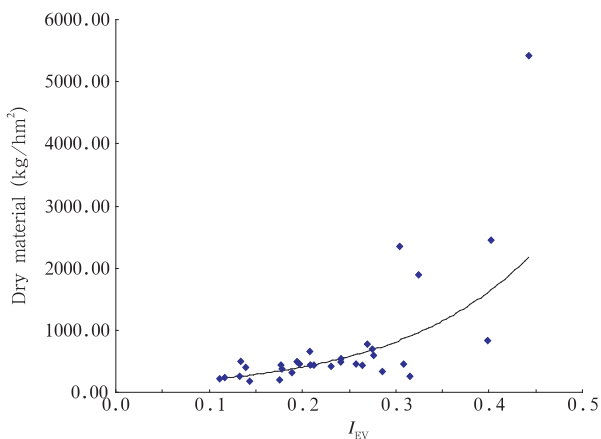


图 5 MODIS I_{EV} 与绿色干物质总量之间的关系
Fig. 5 Relationship between MODIS I_{EV} and above-ground green dry matter

5 藏北高原草地生物量分布

根据以上的分析, 基于 I_{NDV} 建立了 9 月藏北高

原草地上植被生物量分布图(图 6)。藏北高原由于寒冷严酷的环境, 限制了植物的生长发育, 植物对环境的适应性表现出低矮、生育期短等特点, 由此决定了草地生产能力低的特点。草地地上生物量总体分布特征是从东南部到西北部逐渐减少, 东部那曲县、聂荣县, 东南部的当雄县、林周县及墨竹工卡县以及这些地区的东部每平方公里的草地生物量在 2000 kg 以上, 到西北部地区减少到 200 kg 以下。藏北高原无植被区占整个研究区的 4.24%, 主要地表类型为湖泊、高山冰川以及高山裸岩地段。草地植被生物量为 300—400 kg/hm² 占的面积最大, 为整个藏北地区总面积的 37.68%, 主要分布在尼玛县中部绝大部分、班戈县北部和安多县北部; 其次面积较大的是 200—300 kg/hm² 的区域, 占整个面积的 27.92%, 分布在尼玛县和班戈县北部靠近昆仑山脉的广大地区; 此外, 400—500 kg/hm² 所占的面积为整个研究区的 9.11%, 分布在申扎县、尼玛县和安多县南部和安多县西部部分地段。其他各分级所占的面积都小于 10%。草地生物量在 1000 kg/hm² 以上地段分布在安多县南部、那曲县、当雄县谷地以及这些县的东南部广大地区, 为总面积的 5.45%。根据西藏自治区第 1 次草地资源调查表明, 本研究区内草地生物量一般在 300—750 kg/hm² [20], 这与 MODIS I_{NDV} 估算结果基本一致。

藏北高原草地绿色干物质获得量的空间分布与

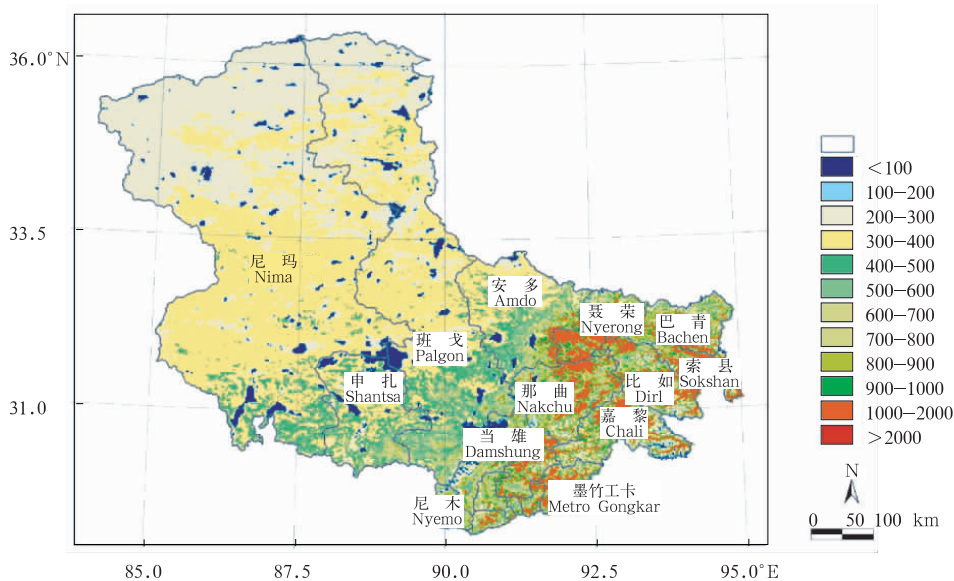


图 6 藏北高原 9 月草地植被生物量分布(单位: kg/hm²)
Fig. 6 Spatial distribution of above-ground vegetation biomass in September in North Tibet Plateau (unit: kg/hm²)

前述的草地生物量分布基本一致,呈东南向西北部减少趋势(图略)。200 kg/hm² 以下的面积最大,为整个研究区面积的 38.10%,集中分布在尼玛县和班戈县北部广大地区;其次为 200—300 kg/hm² 的面积,占总面积的 33.43%,分布在尼玛县和班戈县中部广大地区及安多县北部等地区。其他各级的面积都很小,不到总面积的 7%,其中较大面积分布在 300—400 kg/hm²,分布在申扎县、班戈县和尼玛县南部及安多县南部地区。草地绿色干物质获得量在 1000 kg/hm² 以上的占总面积的 1.84%,主要分布在藏北高原东部和东南部部分地区,其中那曲县和索县分布最广。

为了验证 MODIS I_{NDV} 估算模式的可信度,选取了研究区内分布最为广泛的高寒草甸类型(当雄 B、当雄 C、当雄 D、林周、日多 A、日多 B)和高寒草原类型(羊八井),利用 2004 年 7 月中旬和下旬草地生物量观测数据和 MODIS I_{NDV} 估算的结果进行了对比(表 1),两者的相关系数达 0.92。由于观测值与估算值之间的差异属于两个总体的均值检验,因此, $|t|=0.62$ 。在显著水平 $\alpha=0.05$ 和自由度 $m+n-2=20$ 的情况下, $t_{\frac{\alpha}{2}}=t_{0.025}(20)=2.086$ 。因 $t_{\frac{\alpha}{2}}=2.083>|t|=0.62$,表明草地地上生物量观测值与 MODIS I_{NDV} 估算值之间没有显著差异。

表 1 2004 年 7 月 11—31 日草地地上生物量观测值与 MODIS I_{NDV} 估算值

Table 1 The comparison between above ground grassland biomass and estimation by MODIS I_{NDV} during 11—31, July 2004

采样点	MODIS I_{NDV} 时间	采样时间	观测的生物量	I_{NDV} 估算值
当雄 B	2004 年 7 月 11 日	2004 年 7 月 14 日	385.00	712.78
当雄 B	2004 年 7 月 27 日	2004 年 7 月 28 日	576.80	712.55
当雄 C	2004 年 7 月 11 日	2004 年 7 月 14 日	690.90	1142.20
当雄 C	2004 年 7 月 27 日	2004 年 7 月 28 日	1260.00	1146.57
当雄 D	2004 年 7 月 11 日	2004 年 7 月 14 日	432.60	940.65
当雄 D	2004 年 7 月 27 日	2004 年 7 月 28 日	464.10	1043.64
林周	2004 年 7 月 11 日	2004 年 7 月 14 日	663.60	477.62
日多 A	2004 年 7 月 11 日	2004 年 7 月 13 日	620.20	582.54
日多 B	2004 年 7 月 27 日	2004 年 7 月 27 日	2703.40	2531.78
羊八井	2004 年 7 月 11 日	2004 年 7 月 14 日	415.80	561.82
羊八井	2004 年 7 月 27 日	2004 年 7 月 28 日	534.80	707.37

6 草地生物量分布与气候要素的关系

气候要素中水热条件是影响植被生长和其生物量的主要因素,此外,青藏高原作为世界上海拔最高

的高原,其高大的地形对植被的空间分布特点和生物产量具有重要的影响。为了分析气候要素和高程对藏北高原草地植被地上生物量的影响,首先建立了以空间分辨率为 500 m 的年降水量(图 7)、年平

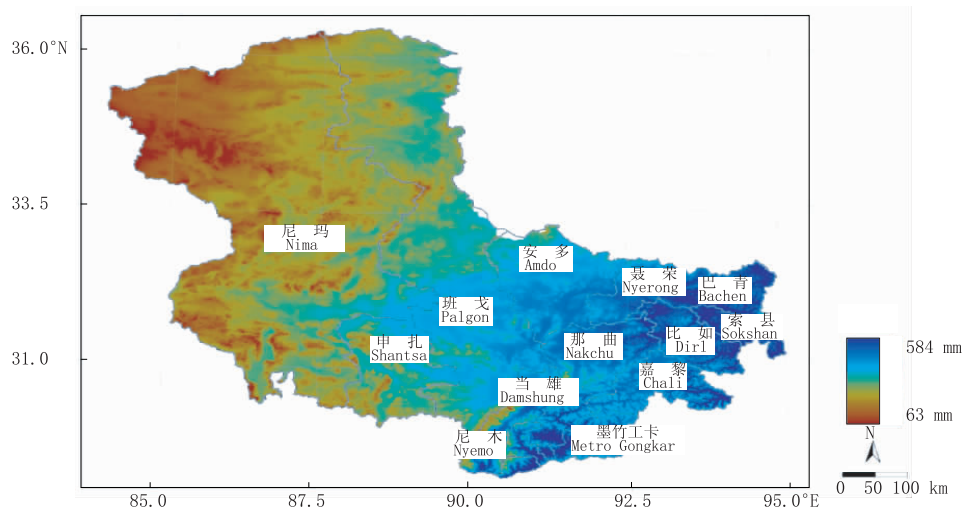


图 7 研究区域年降水量分布

Fig. 7 Spatial distribution of annual precipitation in the study area

均气温(图 9)、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温及数字高程模型(图 8),并将由 MODIS I_{NDV} 获得的 250 m 空间分辨率的研究区草地上生物量(图 6)重采样到 500 m 分辨率的空间栅格数据,之后草地地上生物量与影响草地生物量的主要气候要素年降水总量、年平均气温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温及高程进行了相关分析。分析表明:影响藏北地区草地植被地上生物量空间分布的主要气候要素是降水量,两者的相关系数达 0.64;其次是气温,相关系数为

0.44;与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温的相关系数为 0.30;草地植被地上生物量与高程呈反比,相关系数为 -0.35 ,即海拔越高的地方草地的产量越低。以上的相关系数均通过了显著性水平为 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

另外,从东南部(30°N 、 93°E)至西北部(36°N 、 85°E),及以 88°E 为两个样带,以 25 km 等距离间隔采样研究区草地地上生物量、气候和高程要素后对草地植被地上生物量和气候要素及高程之间的相关

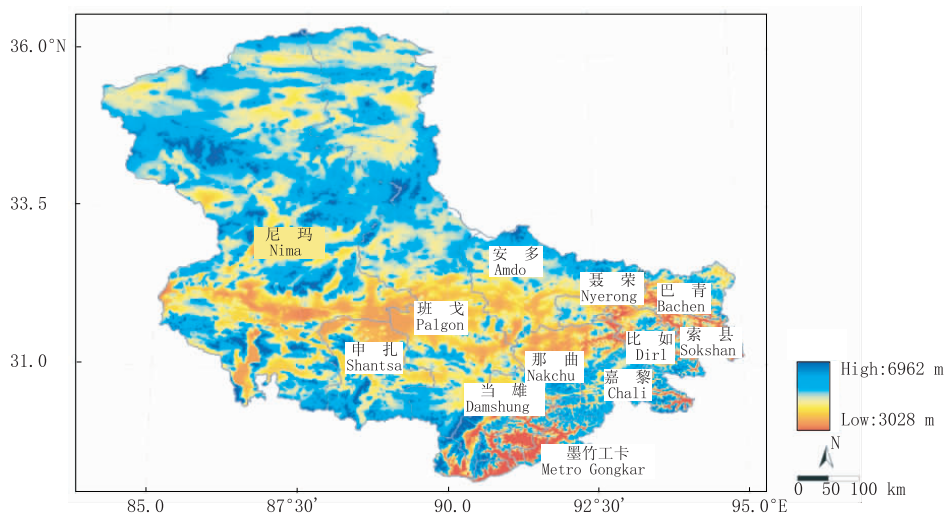


图 8 研究区数字高程模型(单位:m)

Fig. 8 The Digital Elevation Model (DEM) in the study area(unit: m)

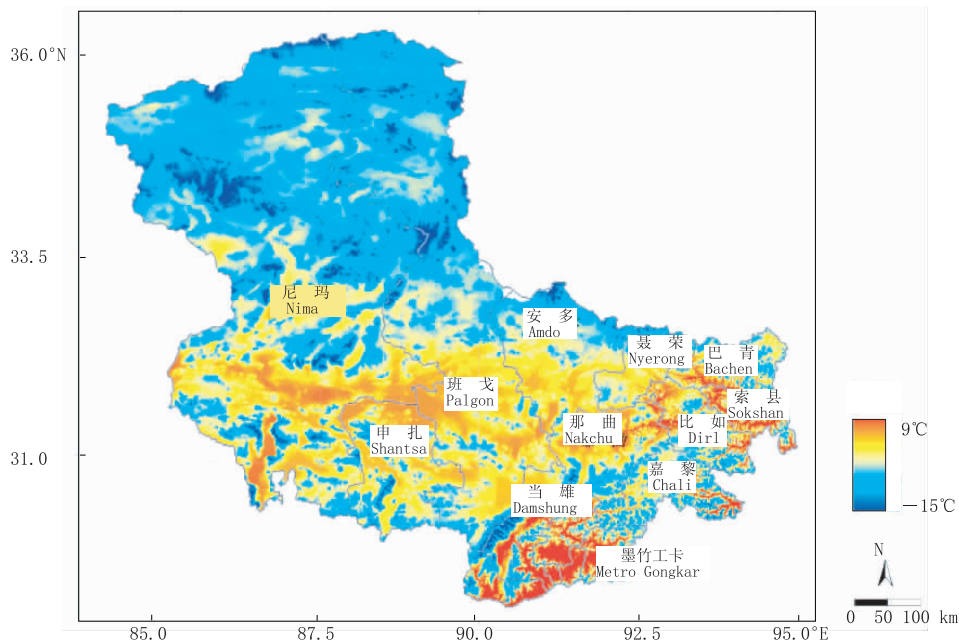


图 9 研究区年平均气温分布

Fig. 9 Spatial distribution of annual temperature in the study area

进行了分析。结果表明,东南部至西北部样带上草地植被地上生物量与降水的相关系数最高,为0.66(图10),与年平均气温的相关系数为0.48,均通过了显著性水平为 $\alpha=0.01$ 的相关显著性检验,与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温和高程之间的相关系数分别为0.29和-0.29,未通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验;在南至北 88°E 经线上与年平均温度的相关系数为0.41(图11),通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,与降水、积温和高程之间的相关系数都小于0.25,并且未通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。

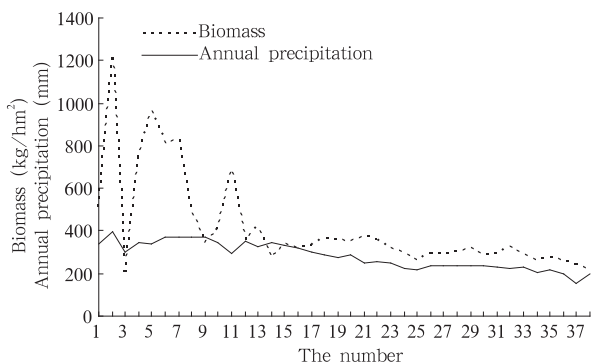


图10 东南部(30°N 、 93°E)至西北部(36°N 、 85°E)样带上草地地上生物量与年降水量之间的关系
Fig. 10 Relationship between above-ground vegetation biomass and annual precipitation along the belt from southeast (30°N , 93°E) to northwest (36°N , 85°E)

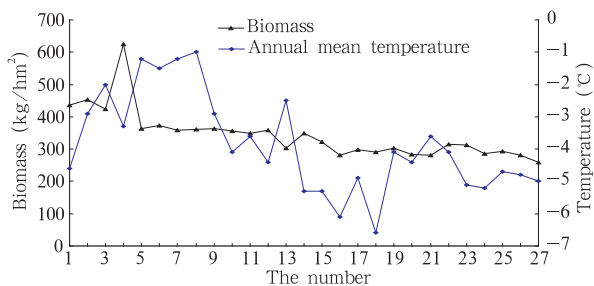


图11 88°E 样带上草地地上生物量与年平均气温之间的关系
Fig. 11 Relationship between above-ground vegetation biomass and annual mean temperature along the belt of 88°E from south to north

7 主要结论

(1) 通过地面实地观测资料结合同期的 EOS/MODIS 卫星遥感数据建立了西藏藏北高原草地地

上生物量、绿色干物质获得量与 EOS/MODIS 归一化植被指数(I_{NDV})、增强植被指数(I_{EV})之间的关系。藏北高原草地地上生物量与 I_{NDV} 、 I_{EV} 的相关系数为 0.793、0.706;草地绿色干物质获得量与 I_{NDV} 、 I_{EV} 的相关系数分别为 0.833、0.769。姬秋梅^[22]利用 2001 年 8—9 月 SPOT VEGETATION 卫星 1 km 分辨率的 I_{NDV} 数据结合地面草地采样资料,建立了藏北高原中部典型草地类型的遥感估算模型,其相关系数为 0.95。

(2) 藏北高原草地生物量和草地绿色干物质获得量的总体分布特征是从东南部到西北部逐渐减少。东南部部分地段草地地上生物量在 2000 kg/hm^2 以上,到了西北部则在 200 kg/hm^2 以下。藏北地区影响草地地上生物量空间分布的主要气候要素是降水,其次为温度,相关系数分别为 0.64 和 0.44。草地植被地上生物量与高程呈反比,即海拔越高的地段草地地上生物量越低。

(3) 从东南部(30°N 、 93°E)至西北部(36°N 、 85°E)样带上的生物量和降水的相关程度最高,为 0.66,与高程呈反比,相关系数为 -0.29。沿经向 88°E 上草地地上生物量的分布与温度相关程度较高,为 0.41,即经向上的草地地上生物量受温度的影响显著。

参考文献

- [1] Steffen W L, Walker B H, Ingran, et al. Global change and terrestrial ecosystems: The operational plan. IGBP Report 21, 1992
- [2] Houghton J T, Meira F, Callander L G, et al. Climate Change 1995-The Science of Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1996
- [3] Guyette R P, Rabeni C F. Climate response among growth increments of fish and trees. *Oecologia*, 1995, 104: 272-279
- [4] Wylie B K, Meyer D J, Tieszen L L, et al. Satellite mapping of surface biophysical parameters at the biome scale over the North American grasslands: A case study. *Remote Sensing Envir*, 2002, 79:266-278
- [5] Alban D H, Perala D A, Schlaegel B E. Biomass and nutrient distribution in aspen, pine, and spruce stands on the same soil type in Minnesota. *Canadian J Forest Res*, 1978, 8: 290-299
- [6] Ryu S R, Chen J, Crow T R, et al. Available fuel dynamics in nine contrasting forest ecosystems in north America. *Envir Management*, 2004, 33: 87-107

- [7] 谢力,温刚,符淙斌. 中国植被覆盖季节变化和空间分布对气候的响应——多年平均结果. 气象学报, 2002, 60(2): 180-187
- [8] 延昊,吴门新,刘桂青等. 利用 MODIS 的多通道信息估计中纬度降雨. 气象学报, 2006, 64(2): 205-210
- [9] Sophie M, Roland B, Xing F G, et al. Assessing the biomass dynamics of Andean bofedal and totora high-protein wetland grasses from NOAA/AVHRR. *Remote Sensing Envir*, 2003, 85: 516-529
- [10] Al-Bakri J T, Taylor J C. Application of NOAA AVHRR for monitoring vegetation conditions and biomass in Jordan. *J Arid Envir*, 2003, 54: 579-593
- [11] Cayrol P A, Chehbouni L, Kergoat G, et al. Grassland modeling and monitoring with SPOT-4 VEGETATION instrument during the 1997-1999 SALSALSA experiment. *Agricultural Forest Meteorol*, 2000, 105: 91-115
- [12] Zheng D L, Rademacher J, Chen J Q, et al. Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA. *Remote Sensing Envir*, 2004, 93: 402-411
- [13] 朴世龙,方精云,贺金生等. 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
- [14] Liang E Y, Vennetier M, Lin J X, et al. Relationships between tree increment, climate and above-ground biomass of grass: A case study in the typical steppe, north China. *Acta Oecologica*, 2003, 24: 87-94
- [15] 李英年,王勤学,古松等. 高寒植被类型及其植物生产力的监测. 地理学报, 2004, 59(1): 40-48
- [16] 李英年,王启基,周兴民. 矮嵩草草甸地上生物量与气候因子的关系及其预报模式的建立//高寒草甸生态系统,第4集. 北京:科学出版社,1985: 1-10
- [17] 罗天祥,李文华,王启基等. 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
- [18] 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第一性生产力的潜在分布. 地理研究, 1998, 17(4): 337-344
- [19] Luo T, Li W, Zhu H. Estimated biomass and productivity of natural vegetation on the Tibetan Plateau. *Ecological Applications*, 2002, 12: 980-997
- [20] 西藏自治区那曲地区畜牧局. 西藏那曲地区土地资源. 北京:中国农业科技出版社,1992: 467pp
- [21] 西藏自治区拉萨市农牧局. 西藏拉萨土地资源. 北京:中国农业科技出版社,1991: 446pp
- [22] 姬秋梅. 用系统方法对基于牦牛的西藏畜牧业生产系统的研究[D]. 北京:中国科学院,2002: 176pp
- [23] 陈利军. 中国植被净第一性生产力的遥感评估研究[D]. 北京:中国科学院,2001: 7-9
- [24] Huete A, Justice C, Liu H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing Envir*, 1994, 49: 224-234
- [25] 刘玉洁,杨忠东等. MODIS 遥感信息处理原理与算法. 北京:科学出版社,2001: 232-259
- [26] Huete A R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing Envir*, 1988, 25: 295-309
- [27] Liu H Q, Huete A R. A feedback based modification of the I_{NDVI} to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Trans Geosci Remote Sensing*, 1995, 33: 457-465

ESTIMATING GRASSLAND BIOMASS IN NORTH TIBETAN PLATEAU USING EOS/MODIS

Chu Duo¹ Ji Qiumei² Deji Yangzong¹ Pu Ci¹

1 Tibet Institute of Plateau Atmospheric and Environmental Sciences, Lhasa 850000

2 Tibet Institute of Animal Husbandry, Lhasa 850000

Abstract

As one of important biophysical parameters of vegetation, vegetation biomass estimation not only is necessary for studying productivity, carbon circles, and nutrition allocation in terrestrial ecosystem but also important to the natural resources management since the amount of vegetation biomass directly influences human utilization patterns of surface vegetation and affects other biophysical parameters. Remote sensing techniques make it possible that scientists examine properties and processes of ecosystems and their interannual variability, and monitor biophysical parameters such as biomass etc over broad areas at multiple scales because satellite observations can be obtained over large areas of interest with high revisit frequencies. Vegetation indices such as normalized difference vegetation index (I_{NDV}), Enhanced Vegetation Index (I_{EV}) and soil adjusted vegetation index (SAVI) etc obtained from satellite data are useful predictors of biomass and productivity in grasslands. In this paper relationships between the above-ground grassland biomass and green dry matter from the field measurements in North Tibetan Plateau from August to September 2004 and the I_{NDV} and I_{EV} from the corresponding MODIS remotely sensed data from the EOS/MODIS Receiving Station in the Tibet Remote Sensing Center and the MOD13Q1 products from LP-DAAC with 250 m resolution are established, and the impacts of climate conditions and elevation on the above-ground grassland biomass are analyzed as well. Exponential relations exist between above-ground grassland biomass or green dry matter and vegetation indices (I_{NDV} , I_{EV}). The correlation coefficients between above-ground grassland biomass and I_{NDV} , and I_{EV} are 0.793, and 0.706; and those between green dry matter and I_{NDV} , and I_{EV} are 0.833, and 0.769, respectively. It is apparent that the I_{NDV} can more effectively estimate grassland vegetation biomass in North Tibetan Plateau. Furthermore, based on the relationship between I_{NDV} and ground data, the spatial distribution of above-ground grassland biomass and green dry matter in North Tibetan Plateau are mapped at a scale of 250 m. The above-ground grassland biomass and green dry matter decrease from above 2000 kg/hm² in the southeast to below 200 kg/hm² in the northwest of North Tibetan Plateau. The main factors affecting the spatial distribution of above-ground grassland biomass in the study area are the precipitation (correlation coefficient = 0.64) and temperature (correlation coefficient = 0.44). There is a negative relationship (correlation coefficient = -0.29) between above-ground grassland biomass and elevation in the study area, which means that the elevation has negative impacts on vegetation productivity in North Tibetan Plateau.

Key words: Grassland biomass, EOS/MODIS, I_{NDV} , Climate condition, DEM, North Tibetan Plateau.