

青藏高原植被覆盖变化及其与气候变化的关系

刘军会¹, 高吉喜^{2*}, 王文杰¹

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 环境保护部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042)

摘 要: 近几十年来, 全球气候变化对青藏高原植被覆盖产生了重要影响。基于青藏高原 1981—2005 年遥感影像及同期气象数据, 结合生态学模型, 分析了青藏高原植被覆盖度变化趋势及其与气候变化的关系。结果显示, 25 a 间, 青藏高原温度升高、降水量增加, 植被覆盖度呈“整体升高、局部退化”趋势; 地表植被改善区主要位于植被低覆盖区, 退化区主要位于高覆盖区; 从不同植被类型看, 除针叶林、阔叶林受采伐影响覆盖度下降外, 其他植被覆盖度均不同程度的上升; 植被覆盖度变化与同期降水量变化、温度变化均呈正相关, 且具有明显的区域差异。

关键词: 植被覆盖度; 归一化植被指数; 气候变化; 青藏高原

中图分类号: Q948.11

文献标志码: A

全球变化与陆地生态系统响应(GCTE) 是当前全球变化研究的重要内容, 有关地表植被覆盖与环境演变的关系是全球变化中最复杂、最具活力的研究内容^[1]。全球变化对陆地生态系统的影响必然会在植被类型、数量和质量方面有所响应^[2]。植被覆盖度是指植被投影面积在单位面积上所占比例^[3-4], 是衡量地表植被数量的重要指标^[5], 获取地表植被覆盖度及其变化信息对于揭示全球变化影响下的区域生态系统响应特征及评价区域生态环境质量具有重要意义。测量植被覆盖度的方法可分为地表实测和遥感测量^[6]。地表实测的方法包括目视估测法、采样法和仪器法^[7-8], 该类方法的精度较高, 但主观性强、野外操作不便、成本高, 难以在大范围内快速提取植被覆盖度。

由于遥感技术可从多时相、多波段遥感信息中提取地表覆盖状况与环境变量, 为研究陆地植被的分布、变化提供了强有力的手段。因此, 出现了多种植被覆盖度的遥感测量方法, 如回归模型法、植被指数法和像元分解模型法等^[5]。植被指数转换法由

于不依赖于实测的植被覆盖度数据, 因而在实际工作中使用较多。

目前, 许多学者通过地面实测及各种生态模型对不同尺度下的植被覆盖度进行了估算、预测及其时空变化特征^[9-12]研究, 但对植被覆盖度变化与影响因子的相关性、耦合性研究还处于探索阶段^[13-16]。气候要素、土地利用变化以及 CO₂ 的施肥效应等都会对全球不同地区的陆地植被产生不同的影响^[17-18]。气候变化中以气温和降水对植被生长的影响最为直接和重要^[19-21], 温度、降水通过影响植物光合作用、呼吸作用及土壤有机碳分解等进而影响植物的生长和分布。青藏高原位于中纬度西风带对流层中部, 低纬度高海拔, 其独特而脆弱的生态环境极易受到全球气候变化的影响。为此, 本研究利用长时间序列的遥感影像和气候数据, 测算 1981—2005 年青藏高原植被覆盖度变化趋势, 分析植被覆盖度变化与气候变化的定量关系; 旨在揭示高寒地区地表植被对全球气候变化的响应特征, 探讨区域环境变化的驱动因子。

收稿日期(Received date): 2012 - 09 - 21; 改回日期(Accepted): 2013 - 01 - 03。

基金项目(Foundation item): 国家高技术研究发展计划(2012AA12A310) 资助。[Supported by the National High Technology Research and Development Program of China (Grant No. 2012AA12A310).]

作者简介(Biography): 刘军会(1976 -), 男, 河北人, 博士, 副研究员, 主要从事全球变化生态学研究。[Liu Junhui (1976 -), male, born in Hebei, doctor, associate professor, major in research on global change ecology.] E-mail: liujh@craes.org.cn

* 通讯作者(Corresponding author): 高吉喜(1963 -), 男, 研究员, 博士生导师。[Gao Jixi (1963 -), male, professor, Ph.D supervisor.] E-mail: gjx@nies.org

1 数据与方法

1.1 研究区概况

青藏高原位于 $28^{\circ}32' \sim 40^{\circ}11'N$ 、 $78^{\circ}27' \sim 104^{\circ}43'E$, 面积 $230 \times 10^4 \text{ km}^2$, 平均海拔在 4 000 m 以上, 分布着高山、峡谷、水系、湖泊、盆地、冰川与冻土等多种地貌; 气候类型独特而复杂多样, 东南暖热、湿润, 西北寒冷、干旱; 大部分地区年平均温度在 0°C 以下, 最热月平均温度在 $5.5^{\circ}\text{C} \sim 13.6^{\circ}\text{C}$, 温度随海拔升高而形成山地垂直温度带。降水量主要受西南季风控制, 东南部年均降水量 $>400 \text{ mm}$, 西北部不足 100 mm , 自东南向西北逐渐减少。自然景观自东南向西北表现为森林、草甸、草原、荒漠的带状更迭; 另外, 高原东部垂直高差达数千米, 热量和水分组合在不同海拔差异较大, 形成了各具特色的垂直自然带^[22]。

1.2 数据及预处理

1. 气象数据 覆盖青藏高原 1981—2005 年的月(年)均降水量、月(年)均温度以及 104 个站点的经度、纬度和高程, 均来自于国家气象信息中心气象资料室。利用 ArcGIS 空间分析的克里格(Kriging)插值方法对气象要素进行空间插值。

2. 遥感数据 青藏高原 1981—2005 年植被指数来源于美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)全球观测模拟与制图研究组(Global Inventory Modeling and Mapping Studies, GIMMS)制作的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)数据集, GIMMS/NDVI 在中国植被遥感中不存在数据限制问题^[20], 且具有空间分辨率低但时间分辨率高、时间序列长的优点, 是研究大尺度、长时间跨度植被覆盖变化不可多得的数据集。数据集空间分辨率为 $8 \text{ km} \times 8 \text{ km}$, 每月有上、下半月两个值。采用国际上惯用的最大值合成法(Maximum Value Composite, MVC), 即在每个像元取该像元每半月的 NDVI 最大值对每月的 NDVI 进行预处理, 以尽可能消除云层、颗粒、视角及太阳高度角的影响。公式为

$$NDVI_i = \text{Max}(NDVI_{1i} - NDVI_{2i}) \quad (1)$$

式中 i 为月序号, 由于青藏高原植被生长季集中于 7—9 月, i 的取值范围为 7—9, $NDVI_{1i}$ 为第 i 月的 NDVI 值; $NDVI_{1i}$ 和 $NDVI_{2i}$ 分别为第 i 月的上半月和下半月的 NDVI 值。

3. 其他基础数据 1: 100 万《中国植被类型图》^[23] 来源于中国科学院植物研究所; 1: 400 万数字化《中国植被类型图》^[24] 来源于国家地理信息系统重点实验室; 1: 400 万《中国土壤质地图》^[25]、数字高程模型(DEM) 来源于全国生态环境调查数据库。

本研究中所用的数据均集成到同一坐标系统下, 投影方式为双标准纬线等面积圆锥(Albers)投影, 采用的椭球体为 Krasovsky 椭球体, 主要参数: 中央经线 105° , 原点纬线 0° , 第一标准纬线 $N_1 = 25^{\circ}$, 第二标准纬线 $N_2 = 47^{\circ}$ 。

1.3 方法

1.3.1 生态系统分类

为了解青藏高原不同植被类型覆盖度的变化及其对气候变化的响应特征, 在参考 1: 100 万《中国植被类型图》、1: 400 万中国植被分类体系和全国土地利用/覆盖分类体系基础上, 将青藏高原划分为 10 个主要生态系统类型: 针叶林、阔叶林、灌丛、温带草甸、温带草原、高寒草甸、高寒草原、高寒荒漠、农田和其他(冰川、雪被、裸岩、湖泊等)(图 1)。高寒草原主要分布在藏北高原; 高寒草甸分布在三江源地区等高海拔地区; 高寒荒漠分布在西北部的柴达木盆地周围; 针叶林、阔叶林等森林分布在气候暖湿的东南部; 灌丛分布相对分散; 农田分布在河谷地带和城镇边缘。

1.3.2 植被覆盖度信息提取模型

NDVI 能反映吸收的光合有效辐射、叶绿素密度、叶面积以及蒸发速率等植被参数^[26], 因此, NDVI 数据已经广泛应用于植被覆盖度、生物量、NPP 以及物候等方面的研究。本文中植被覆盖度信息提取是在对光谱信号进行分析的基础上, 通过建立归一化植被指数与植被覆盖度的转换关系, 直接提取植被覆盖度信息^[27]。

假设每个像元的 NDVI 值可由该像元的植被覆盖部分(f_v)和裸土部分($1 - f_v$)的 NDVI 值合成, 则其公式如下

$$NDVI = NDVI_v + NDVI_s(1 - f_v) \quad (2)$$

式中 $NDVI_v$ 为植被覆盖部分的 NDVI 值; $NDVI_s$ 为裸土部分的 NDVI 值; f_v 为植被覆盖度。由于年最大 NDVI 可较好地反映该年度植被长势最好季节的地表植被覆盖程度, 因此, 在实际计算中, 以 NDVI 最大值代替 $NDVI_v$ 、以 NDVI 最小值代替 $NDVI_s$, 则植被覆盖度(f_v)公式如下

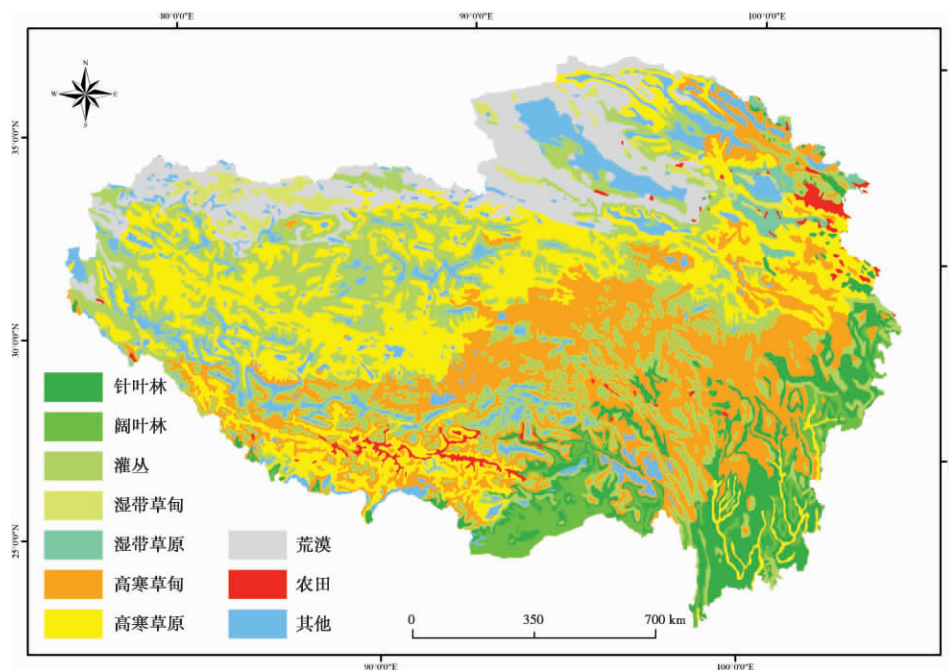


图 1 青藏高原生态系统分类

Fig. 1 Distribution of vegetation types on the Tibetan Plateau

$$f_v = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (3)$$

式中 $NDVI_{\max}$ 和 $NDVI_{\min}$ 分别为植被整个生长季 $NDVI$ 的最大值和最小值。青藏高原的 $NDVI_{\max}$ 出现在 7—9 月, 为此, 取 7—9 月的均值作为分析植被覆盖度年际变化的基础。

1.3.3 一元线性回归模拟变化趋势

一元线性回归是以单个像元的时间变化规律反映整体的空间变化规律^[11-12]。将植被覆盖度进行一元线性回归处理, 用一元线性回归方程的斜率 ($SLOPE$) 反映植被覆盖度的年际变化趋势。如果 $SLOPE$ 为正数表示随着时间变化, 植被覆盖度呈上升趋势, 且数值越大说明上升的更快。反之, 当 $SLOPE$ 值为负时, 表示随着时间变化, 植被覆盖度呈下降趋势。其计算公式如下

$$SLOPE = \frac{n * \sum_{i=1}^n i * f_{vi} - (\sum_{i=1}^n i) (\sum_{i=1}^n f_{vi})}{n * \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (4)$$

式中 f_{vi} 为第 i 年的植被覆盖度; n 为监测时间段的年数; i 从 1 到 n , 为研究时段内年份的序号。

采用相同的方法, 计算青藏高原 1981—2005 年温度和降水的年际变化趋势。

1.3.4 植被覆盖度变化与主要气候因素变化的相关性分析

利用 SPSS 13.0 软件, 经正态分布检验, 植被覆盖变化与降水量 (温度) 变化的样本数均服从正态分布, 其相关性采用 Pearson 相关系数来表示, 并在 $P=0.05$ 的水平下开展显著性检验。正相关表示研究时段内植被覆盖与降水量 (温度) 同升同降, 反之亦然。在 Arc INFO 环境下, 逐像元分析植被覆盖变化与降水量、温度变化的关系, 以揭示其相关程度的空间分布。Pearson 相关系数的计算公式为

$$R = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right) \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}} \quad (5)$$

式中 R 为 Pearson 相关性系数; x 为所有像元的植被覆盖变化率; y 为所有像元的降水量 (温度) 变化率; n 为监测时段。

2 结果与分析

2.1 植被覆盖度的地域分异

青藏高原地表植被覆盖度空间上由东南向西北递减 (图 2)。覆盖度较高的地区位于高原东南、中东部, 该区降水多、温度高, 水热组合适宜亚热带植被生长; 植被以针叶林和阔叶林为主, 覆盖度很高。高原中东部是黄河、长江和澜沧江的发源地, 河网密集, 地表水丰富, 植被以高寒草甸为主, 覆盖度较高。

雅鲁藏布江自源头向下,随着温度升高,植被覆盖度也逐渐升高。随着地形攀升,暖湿气流难以向西北扩散,高原西北部降水量明显减少,植被以高寒荒漠为主,覆盖度最低。

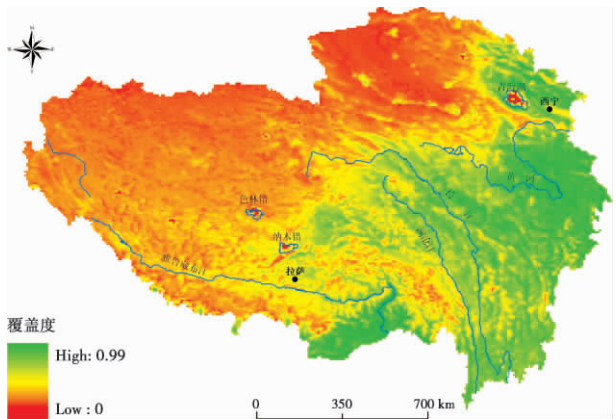


图 2 1981—2005 年青藏高原植被覆盖度平均值
Fig.2 Average vegetation coverage on the Tibetan Plateau from 1981 to 2005

2.2 植被覆盖度时空变化特征

1981—2005 年青藏高原植被覆盖度年际变化率达到了为 8.69% (表 1), 针叶林、阔叶林的多年平均覆盖度最高,但两者植被覆盖度均呈下降趋势,阔叶林减少最快;其他植被类型的覆盖度均不同程度提高,农田、高寒草甸覆盖度增加最快。植被覆盖度变化地域差异显著(图 3),升高区位于高原中、西北和西南部,占整个区域的 70.5%;降低区位于高原东南、东北和西部,占整个区域的 27.5%;植被覆盖度未发生变化的区域零散分布,占整个区域的 2.0%。可见,青藏高原地表植被改善区域主要位于低覆盖区,退化区域主要位于高覆盖区,且植被改善区面积远大于退化区域面积。

分析发现,植被覆盖度年际变化与降水量年际变化的总体变化趋势呈现出一定程度的滞后性。在

一些年份,降水量增加,植被覆盖度却在下降。植被覆盖度年际变化与温度年际变化的总体变化趋势较为相近,二者的变化具有同步性。这一方面说明植被覆盖变化对气候变化敏感,另一方面也说明降水量、温度并不是植被覆盖变化的绝对限制因子,人类活动往往主导了植被覆盖变化的区域分异特征。特别是在 20 世纪 80—90 年代,一些地区过度放牧、滥砍滥伐或农垦,导致了地表植被破坏;20 世纪 90 年代后期,处于国家生态安全考虑,政府先后实施了大量生态保护工程,使得青藏高原植被得到了有效恢复。

2.3 降水量、温度时空变化特征

1981—2005 年,青藏高原年平均降水量为 383.9 mm,年际变化率为 6.3%,降水量呈缓慢增长趋势(图 4)。在空间分布上(图 5),青藏高原东南部降水量在 400 mm 以上,局部地区在 1 000 mm 以上;中西部地区年降水量小于 400 mm,为半干旱区。25 a 间青藏高原东南部和中部的年降水量增加,占整个区域的 62.5%;东北部和西南部的降水量减少,占整个区域的 32.5%;降水量不变的区域零散分布,占整个区域的 5%(图 6)。从不同植被类型来看,阔叶林、高寒荒漠和温带草原的降水量呈减少趋势,其他植被的降水量都在增加,针叶林的年际变率最大(见表 1)。

1981—2005 年青藏高原年平均温度为 3.1℃,年际变化率为 5.3%,增温趋势明显(见图 4)。在空间分布上(图 7),随着纬度和高程的变化,温度从南向北先降低后升高。高原中部气温最低,年均温在 0℃ 以下,占整个区域的 19.7%;高原东南部的年平均温大于 10℃,占整个区域的 4.9%;年均温 1~10℃ 之间的区域最大,占整个区域的 74.0%。图 5 显示 25 a 间除东南部的个别地区降温外,高原大多数地区均不同程度增温;增温幅度由南向北逐渐递增,西北地区升温最快。增温区域占整个区域的 97.1%,

表 1 不同植被类型的覆盖度、降水量及温度的年际变化
Table 1 Annual variations of vegetation coverage, precipitation and temperature in different vegetation types

类型	针叶林	阔叶林	灌丛	高寒荒漠	温带草甸	温带草原	高寒草甸	高寒草原	农田	其他	均值
多年平均覆盖度	0.88	0.91	0.73	0.62	0.67	0.81	0.72	0.81	0.78	0.66	0.74
覆盖度年际变化/%	-4.99	-13.36	9.09	10.13	10.34	10.52	11.03	12.56	18.21	9.41	8.69
降水量年际变化/%	18.41	-7.05	8.35	-0.29	3.56	-5.15	8.50	4.39	16.27	1.30	6.81
温度年际变化/%	-3.94	0.24	6.03	20.31	9.41	35.73	10.98	16.60	9.68	43.59	13.43

降温区域占的 2.7%, 温度基本不变的区域占 0.2% (图 8)。从不同植被类型来看, 针叶林的温度年际变化率为负, 其他植被类型均不同程度增温(见表 1)。

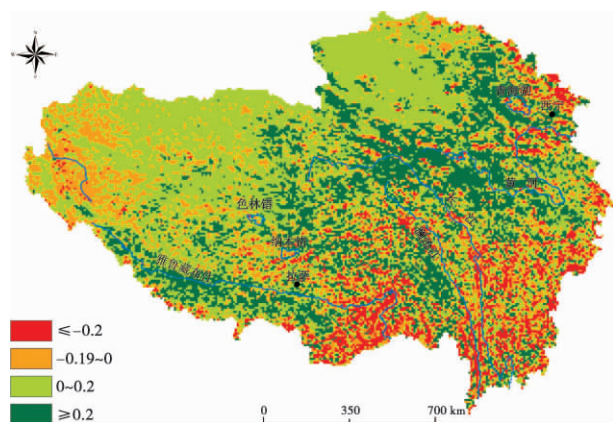


图 3 1981—2005 年青藏高原植被覆盖度变化趋势

Fig. 3 Trends of vegetation coverage variations on the Tibetan Plateau from 1981 to 2005

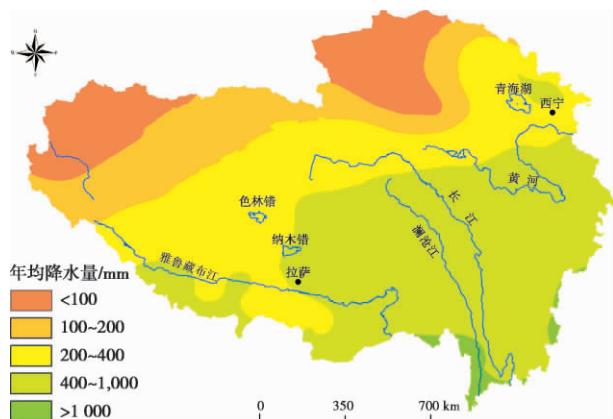


图 5 1981—2005 年青藏高原平均降水量

Fig. 5 Distribution of mean annual precipitation from 1981 to 2005

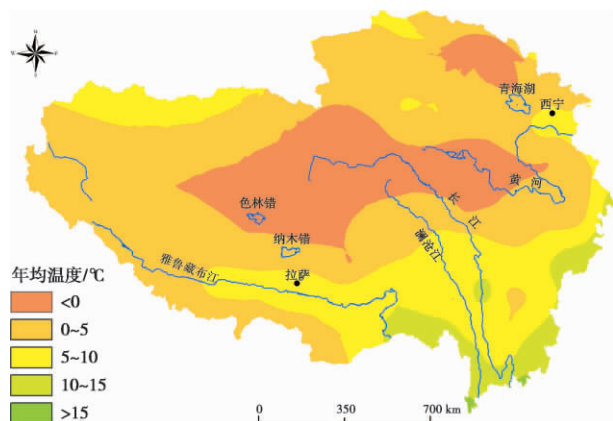


图 7 1981—2005 年青藏高原平均温度分布图

Fig. 7 Distribution of mean annual temperature from 1981 to 2005

2.4 植被覆盖与降水量、温度相关系数的空间分布
1981—2005 年, 青藏高原植被覆盖与年平均降水量、温度均呈正相关。

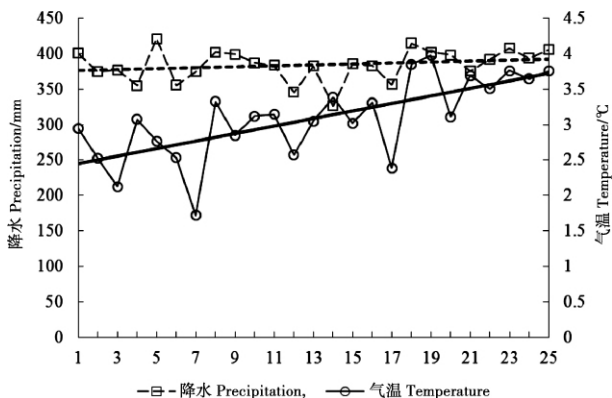


图 4 1981—2005 年青藏高原平均降水量、平均气温年变化图

Fig. 4 Inter-annual variations of vegetation mean annual precipitation and temperature from 1981 to 2005

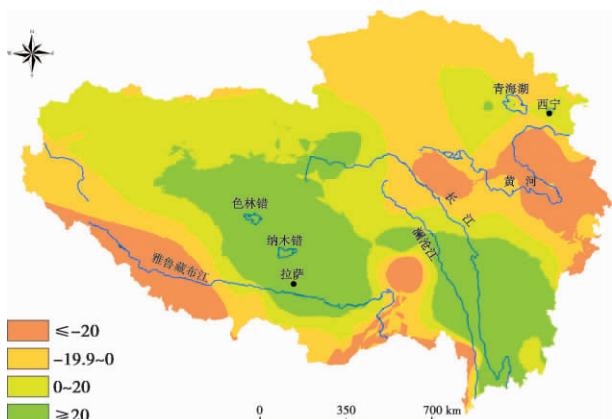


图 6 1981—2005 年青藏高原降水量变化趋势

Fig. 6 Distribution of trends of precipitation variations from 1981 to 2005

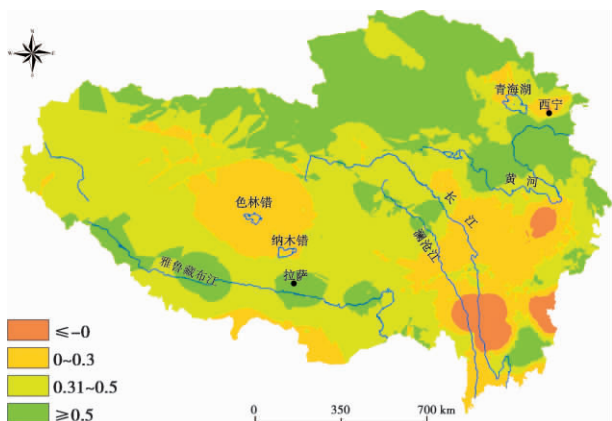


图 8 1981—2005 年青藏高原年平均温度变化趋势图

Fig. 8 Distribution of trends of temperature variations from 1981 to 2005

从图 9 可见,植被覆盖度变化与降水量变化呈正相关区域位于高原东北部、中部、南部和西部,占整个区域的 63.87%;正相关地区植被类型以高寒草甸、高寒草原和温带草原为主,降水量变化对植被覆盖的影响较大。负相关区域主要位于西北部、东部、东南部和西南部,占整个区域的 33.14%;负相关地区植被以高寒荒漠、针叶林、阔叶林、温带草甸和灌丛为主,降水量年际变化率较小,对植被覆盖影响不大。不相关的区域(相关系数为 0)零散分布,占整个区域的 2.99%。植被覆盖度和降水量正相关系数的最大值为 0.8,负相关系数的最大绝对值为 0.73。

从图 10 可见,植被覆盖度变化与温度变化呈正相关区域位于高原西北部、中东部和西南部,占整个区域的 63.52%;正相关地区海拔高、温度低,植被以高寒草甸、高寒草原和高寒荒漠为主,温度升高可促进植物的光合作用,植被生长期延长,有利于植物的生长。负相关区域位于高原东北、东南和西部,占整个区域的 33.25%;负相关地区是青藏高原城镇、人口和产业的主要聚集区,植被以针叶林、阔叶林、温带草原、温带草甸和灌丛为主,植被覆盖变化主要受人类活动影响,升温对植被覆盖变化影响不明显。

不相关区域零散分布,占整个区域的 3.23%。植被覆盖与温度正相关系数的最大值为 0.83,负相关系数的最大绝对值为 0.74。

从表 2 可看出,针叶林、阔叶林的覆盖度变化与降水量、温度变化均呈负相关;高寒荒漠覆盖度变化与温度变化呈正相关,但与降水量变化呈负相关;其他植被类型的覆盖度变化与降水量、温度变化均呈正相关;温带草原覆盖度变化与降水量变化的 Pearson 相关系数最大,高寒荒漠覆盖度变化与温度变化的 Pearson 相关系数最大。

青藏高原地表植被覆盖度变化不仅受气候因子的影响,亦受人为活动制约。在较大时空尺度上气候变化可起主导作用,而在特定地区和时段社会和经济因素也常常具有决定性作用^[28-30]。青藏高原东南部存在“降水量增加、温度升高、覆盖度下降”的小区域。实地调查发现,高原东南部气候温暖、湿润,植被以针叶林和阔叶林为主,是我国西南林区的重要采伐区。这里山高谷深,天然森林的采伐与更新仅在交通方便的林区局部进行^[31];对森林的集中过伐和疏于管理大大降低了森林的高度和密度,导致了针叶林、阔叶林覆盖度的下降。近年来,随着植树造林、天然林保护和退耕还林等生态保护工程的实

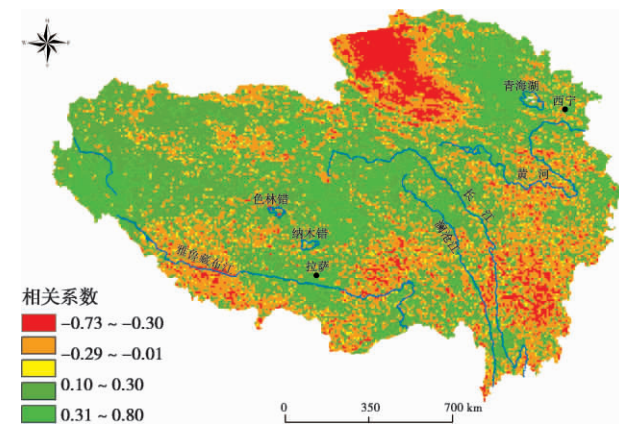


图 9 1981—2005 年植被覆盖度与降水量相关系数分布图
Fig.9 Correlation coefficient between vegetation coverage and precipitation from 1981 to 2005

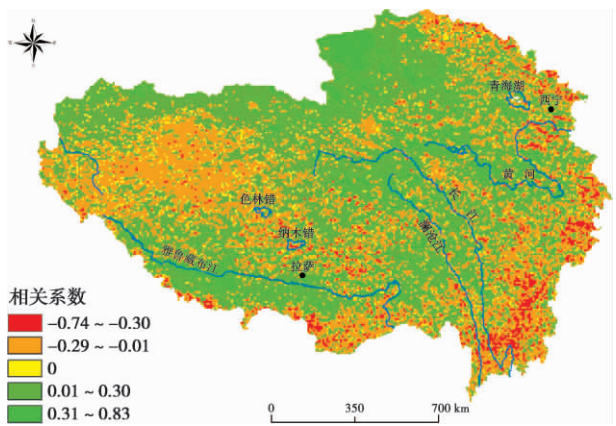


图 10 1981—2005 年植被覆盖度与温度相关系数分布图
Fig.10 Correlation coefficient between vegetation coverage and temperature from 1981 to 2005

表 2 不同植被覆盖度年际变化与主要气候因子年际变化的相关系数

Table 2 Pearson correlation coefficients between the inter-annual variations of vegetation coverage and the inter-annual variations of main climate factors for different vegetation types

类型	针叶林	阔叶林	灌丛	高寒	荒漠温带草甸	温带草原	高寒草甸	高寒草原	农田
覆盖度与降水相关系数	-0.095	-0.096	0.110	-0.025	0.083	0.252	0.082	0.135	0.179
覆盖度与温度相关系数	-0.053	-0.052	0.063	0.201	0.153	0.041	0.108	0.070	0.155

施,局部地区的森林覆盖度已有所恢复。

3 结论与讨论

复杂的气候变化和较低的人口密度(有限的人类活动),使得青藏高原成为研究全球气候变化对区域植被变化影响的理想场所。研究结果表明,近几十年来,青藏高原植被覆盖年际变化对气候因子变化有较强的相关性,但存在明显的区域差异,这与已有研究结论基本保持一致^[14, 32]。

1. 受来自于印度洋的西南季风和低纬高海拔的共同影响,青藏高原东南部温暖湿润、植被以森林为主;西北部寒冷干燥,植被以高寒荒漠为主;植被覆盖度也呈现出东南高、西北低,自东南向西北逐渐递减的趋势,这与该区降水量的空间分布基本保持一致。

2. 1981—2005 年,青藏高原植被覆盖度呈“整体升高、局部退化”的趋势;地表植被改善区域主要位于低覆盖区,退化区域主要位于高覆盖区,且改善区域面积远大于退化区域面积;从不同植被类型看,受森林过度采伐与抚育更新不能有效结合的影响,针叶林、阔叶林的覆盖度呈下降趋势,其他植被覆盖度均不同程度升高。

3. 1981—2005 年,青藏高原植被覆盖度变化与降水量、温度呈正相关;由于在较大时空尺度上气候变化起主导作用,而在特定地区和时段社会和经济因素也常常具有决定性作用,其相关性表现出显著的地域分异特征。

4. 青藏高原植被覆盖度变化是在全球气候变化和人类活动的双重作用下发生的,不同地区的植被响应强度存在显著的地域差异。随着青藏高原经济社会发展和城镇化加速,区域开发强度会越来越大,人类干扰将越来越强,人类活动对植被覆盖度的定量影响还需做更深入、细致的研究。

5. 青藏高原地域辽阔,地形复杂,气象因子空间插值需综合考虑高原地形条件和局地小气候;此外,由于气象站点主要分布在高原中东部地区,受到气象站点分布局限性的影响,高原西部和北部的气象信息的准确性有待进一步验证。

参考文献(References)

- [1] Pan Yaozhong, Li Xiaobing, He Chunyang. Research on comprehensive land cover classification in China: Based on NOAA/AVHRR and holdridge PE index [J]. Quaternary Sciences, 2000, 20(3): 270–281 [潘耀忠, 李晓兵, 何春阳. 中国土地覆盖综合分类研究——基于 NOAA/AVHRR 和 Holdridge PE [J]. 第四纪研究, 2000, 20(3): 270–281]
- [2] Qin Wei, Zhu Qingke, Zhang Xuexia, et al. Review of vegetation covering and its measuring and calculating method [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest: Natural Science Edition, 2006, 34(9): 163–170 [秦伟, 朱清科, 张学霞, 等. 植被覆盖度及其测算方法研究进展 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(9): 163–170]
- [3] Anatoly A, Gitelson Y, Yoram J K, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 80: 76–87
- [4] Zhou Guolin, Yuan Zhengke. Common technical term in forestry [M]. Changsha: Hunan Science & Technology Press, 1982. [周国林, 袁正科. 常用林业技术术语 [M]. 湖南科学技术出版社, 1982.]
- [5] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19: 1533–1543
- [6] Zhou Q, Robson M, Pilesjö P. On the ground estimation of vegetation cover in Australian rangelands [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19: 1815–1820
- [7] Zhang Wenbo, Fu Suhua, Liu Baoyuan. Error assessment of visual estimation plant coverage [J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2001, 37(3): 402–408 [章文波, 符素华, 刘宝元. 目估法测量植被覆盖度的精度分析 [J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2001, 37(3): 402–408]
- [8] Zhang Yunxia, Li Xiaobing, Chen Yunhao. Overview of field and multi-scale remote sensing measurement approaches to grassland vegetation coverage [J]. Advances in Earth Sciences, 2003, 18(1): 85–93 [张云霞, 李晓兵, 陈云浩. 草地植被覆盖度的多尺度遥感与实地测量方法综述 [J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 85–93]
- [9] Chen Xiaoguang, Li Jianping, Li Zhijun, et al. Vegetation coverage and its relation with climate change in Qinghai Lake area [J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(5): 797–804 [陈晓光, 李剑萍, 李志军, 等. 青海湖地区植被覆盖及其与气温降水变化的关系 [J]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 797–804]
- [10] Chen Yuying, Chen Nan, Zheng Guangfen, et al. Changes of temperature, precipitation and NDVI in recent 45 years in Ningxia [J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(4): 626–634 [陈豫英, 陈楠, 郑广芬, 等. 近 45a 宁夏气温、降水及植被指数的变化分析 [J]. 自然资源学报, 2008, 23(4): 626–634]
- [11] Ma Mingguo, Wang Jian, Wang Xuemei. Advance in the inter-annual variability of vegetation and its relation to climate based on remote sensing [J]. Journal of Remote Sensing, 2006, 10(6): 421–429 [马明国, 王建, 王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展 [J]. 遥感学报, 2006, 10(3): 421–431]
- [12] Li Lu, Shi Zhihua, Zhu Dun, et al. Forest changes in the water source area of middle route of the South-to-north water diversion

- project [J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(6): 1049 – 1057 [李璐, 史志华, 朱悫, 等. 南水北调中线水源区森林覆盖变化及其影响因子分析[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(6): 1049 – 1057]
- [13] Peng Dailiang, Huang Jingfeng, Wang Xiuzhen. Correlation analysis of regional vegetation seasonal fluctuation and climate factors based on MODIS – EVI [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(5): 983 – 989 [彭代亮, 黄敬峰, 王秀珍, 等. 基于 MODIS – EVI 区域植被季节变化与气象因子的相关性分析[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(5): 983 – 989]
- [14] Yang Yuanhe, Piao Shilong. Variations in grassland vegetation cover in relation to climatic factors on the Tibetan Plateau [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2006, 30(1): 1 – 8 [杨元合, 朴世龙. 青藏高原草地植被覆盖变化及其与气候因子的关系[J]. *植物生态学报*, 2006, 30(1): 1 – 8]
- [15] Wang Tianwei, Shi Zhihua, Li Chaoxia, et al. Dynamic changes of forest vegetation coverage in Letianxi basin of Three Gorges Reservoir Area: a study based on multi-source data [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2533 – 2539 [王天巍, 史志华, 李朝霞, 等. 基于多源数据的三峡库区乐天溪流域林地植被覆盖动态监测[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2533 – 2539]
- [16] Yu Xiaofei, Sun Rui, Chen Yongjun, et al. Dynamics of vegetation cover and its relationship with rainfall in Wushen county of Inner Mongolia [J]. *Resources Science*, 2006, 28(4): 31 – 37 [于小飞, 孙睿, 陈永俊, 等. 乌审旗植被覆盖度动态变化及其与降水量的关系[J]. *资源科学*, 2006, 28(4): 31 – 37]
- [17] Schimel D, Melillo J, Tian H, et al. Contribution of increasing CO₂ and climate to carbon storage by ecosystems of the United States [J]. *Science*, 2000, 287: 2004 – 2006
- [18] Marco Albani, David Medvigy, George C Hurr, et al. The contributions of land-use change, CO₂ fertilization, and climate variability to the eastern US carbon sink [J]. *Global Change Biology*, 2006, 12(12): 2370 – 2390
- [19] Nemani R, Keeling C, Hashimoto H, et al. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999 [J]. *Science*, 2003, 300: 1560 – 1563
- [20] Fang Jingyun, Piao Shilong, He Jinsheng, et al. Increasing terrestrial vegetation activity in China, 1982–1999 [J]. *Science in China: Series C*, 2004, 47: 229 – 240
- [21] Cui Linli, Shi Jun, Yang Yinming. Ten-day response of vegetation NDVI to the variations of temperature and precipitation in eastern China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(7): 850 – 860 [崔林丽, 史军, 杨引明, 等. 中国东部植被 NDVI 对气温和降水的旬响应特征[J]. *地理学报*, 2009, 64(7): 850 – 860]
- [22] Yu Bohua, Lü Changhe, Lü Tingting, et al. Regional differentiation of vegetation change in the Qinghai – Tibet Plateau [J]. *Progress in Geography*, 2009, 28(3): 391 – 397 [于伯华, 吕昌河, 吕婷婷, 等. 青藏高原植被覆盖变化的地域分异特征[J]. *地理科学进展*, 2009, 28(3): 391 – 397]
- [23] Hou Xueyu. The vegetation atlas of China (1: 1 000 000) [M]. Beijing: Science Press, 2001. [侯学煜, 等. 1: 100 万中国植被图集[M]. 北京: 科学出版社, 2001]
- [24] Hou Xueyu. The vegetation map of China (1: 4 000 000) [M]. Beijing: Cartographic Publishing House, 1982. [侯学煜, 等. 1: 400万中华人民共和国植被图[M]. 北京: 地图出版社, 1982]
- [25] Deng Shiqin. Map of soil texture of China. In: Institute of Soil Science, the Chinese Academy of Sciences [M]. The soil atlas of China. Beijing: Cartographic Publishing House, 1986: 23 – 24 [邓时琴. 中国土壤质地图[M]. 见: 中国科学院南京土壤研究所编. 中国土壤图集[M]. 北京: 地图出版社, 1986: 23 – 24]
- [26] DeFries R, Field C, Fung I, et al. Mapping the land-surface for global atmosphere models, toward continuous distribution of vegetation functional properties [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100: 20867 – 20882
- [27] Pan Yaozhong, Shi Peijun, Zhu Wenquan, et al. Measurement of ecological capital of Chinese terrestrial ecosystem based on remote sensing [J]. *Science in China: Series D*, 2005, 48(6): 786 – 796
- [28] Yang Jianping, Ding Yongjian, Chen Rensheng. NDVI reflection of Alpine vegetation changes in the sources regions of the Yangtze and Yellow rivers [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(3): 467 – 478 [杨建平, 丁永康, 陈仁升. 长江黄河源区高寒植被变化的 NDVI 纪录[J]. *地理学报*, 2005, 60(3): 467 – 478]
- [29] Fu Xinfeng, Yang Shengtian, Liu Changming. Changes of NDVI and their relations with principal climatic factors in the Yarlung Zangbo River basin [J]. *Geographical Research*, 2007, 26(1): 60 – 67 [付新峰, 杨胜天, 刘昌明. 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与主要气候因子的关系[J]. *地理研究*, 2007, 26(1): 60 – 67]
- [30] Zhang Yuecong, Zhao Zhiqiang, Li Shuangcheng, et al. Indicating variation of surface vegetation cover using SPOT NDVI in the northern part of North China [J]. *Geographical Research*, 2008, 27(4): 745 – 755 [张月丛, 赵志强, 李双成, 等. 基于 SPOT NDVI 的华北北部地表植被覆盖变化趋势[J]. *地理研究*, 2008, 27(4): 745 – 755]
- [31] Zhang Xueqin, Ge Quansheng. The structure, characteristics of land use in the Tibetan Plateau and its rationed development strategy [J]. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2002, 23(1): 14 – 19 [张雪芹, 葛全胜. 青藏高原土地利用结构、特征及合理开发战略[J]. *中国农业资源与区划*, 2002, 23(1): 14 – 19]
- [32] Zhang Geli, Ouyang Hua, Zhang Xianzhou, et al. Vegetation change and its responses to climatic variation based on eco-geographical regions of Tibetan Plateau [J]. *Geographical Research*, 2010, 29(11): 2004 – 2016 [张戈丽, 欧阳华, 张宪洲, 等. 基于生态地理分区的青藏高原植被覆盖变化及其对气候变化的响应[J]. *地理研究*, 2010, 29(11): 2004 – 2016]

Variations of Vegetation Coverage and Its Relations to Global Climate Changes on the Tibetan Plateau during 1981—2005

LIU Junhui¹, GAO Jixi², WANG Wenjie¹

(1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China;

2. Nanjing Institute of Environment Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China)

Abstract: Recent global climate changes have an important effect on vegetation coverage on the Tibetan Plateau. Based on the remote sensing images and the meteorological data during 1981—2005, as well as the model of extracting vegetation coverage, the spatial-temporal variations of vegetation coverage and its responses to global climate changes on the Tibetan Plateau were studied. The results revealed that, under the combination effects of the temperature rising and the precipitation increasing, vegetation coverage increased as a whole from 1981 to 2005, except some degradation in small regions of the Tibetan Plateau. The degraded vegetation regions were mainly distributed in the area of higher vegetation coverage, while the improved vegetation regions were in the area of lower vegetation coverage on the Tibetan Plateau. The responses of vegetation coverage to global climate changes varied with different vegetation types. The vegetation coverage of needle-leaved forest and broad-leaved forest were decreasing due to the serious destruction of woods, while the other vegetation types were increasing. Global climate changes have contributed to an increase of vegetation coverage on the Tibetan Plateau, and the vegetation coverage changes were positively correlated with the changes of precipitation and temperature during 1981—2005. The correlation between vegetation coverage changes and precipitation and temperature variations was obviously different in different regions.

Key words: vegetation coverage, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); climate changes; the Tibetan Plateau

封面照片说明: 嘎弄拉山

嘎弄拉山位于西藏自治区东南部的林芝地区,山脉走向呈北西西—南东东,其北侧属波密县,南侧为墨脱县,主峰海拔5 600 m,山脊最低垭口处的海拔也大于4 300 m。波密县城扎木镇一带帕隆藏布江的海拔仅约2 700 m,嘎弄拉山脊距波密县城直线距离约14 km,其最大相对高度达2 900 m。在其南侧的墨脱县城一带,雅鲁藏布江的海拔不足700 m,最大相对高度超过4 900 m。由于地形高差巨大,山地垂直分带明显,高山上冰川发育,终年白雪皑皑,雪线以下生长着高山草甸和茂密的原始森林。受印度西南季风影响,嘎弄拉山降水量充沛,夏季泥石流、崩塌、山洪活动强烈,冬季则有近半年处于大雪封山状态,冰崩、雪崩频繁,使其成为阻隔波密和墨脱联系的天然屏障。

总投资9.5亿元的扎(木)墨(脱)公路目前正在建设之中,照片为扎墨公路嘎弄拉隧道北口施工前的地貌景观。

(嘉益)