

2000—2015年青藏高原植被NPP时空变化格局及其对气候变化的响应

陈舒婷¹, 郭兵^{1,2,3,4}, 杨飞⁵, 韩保民¹, 范业稳⁴,
杨潇¹, 何田莉¹, 刘悦¹, 杨雯娜¹

(1. 山东理工大学建筑工程学院, 淄博 255000; 2. 山东省基础地理信息与数字化技术重点实验室, 青岛 266590; 3. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241; 4. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 433079; 5. 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘要: 全球变化背景下, 青藏高原作为我国乃至全球气候变化的“天然实验室”, 植被生态系统发生了深刻变化。引入重心模型等方法分析和探讨2000—2015年青藏高原植被NPP时空变化格局及其驱动机理, 并定量区分NPP变化过程中气候变化和人类活动的相对作用。研究发现: (1) 2000—2015年, 青藏高原植被NPP年均值总体上呈现从东南向西北递减的趋势。在年际变化方面, 近16年植被NPP呈现波动上升趋势, 其中在2005年出现上升陡坡, 并在2005—2015年表现为高位波动的态势。(2) 青藏高原植被NPP增加区(变化率>10%)主要集中于三江源地区、横断山区北部、雅鲁藏布江中下游以及那曲地区的中东部, 而植被NPP减小区(变化率<-10%)则主要分布于雅鲁藏布江上游和阿里高原。(3) 近16年青藏高原植被NPP重心总体向西南方向移动, 表明西南部植被NPP在增量和增速上大于东北部。(4) 青藏高原植被NPP与气候因子相关性的地区差异显著, 其中植被NPP与降水显著相关的区域主要位于青藏高原中部、青藏高原东南部及雅鲁藏布江流域中下游, 而植被NPP与气温显著相关的区域主要位于藏南地区、横断山区北部、青藏高原中部和北部。(5) 气候变化和人类活动在青藏高原植被NPP变化过程中的相对作用存在显著的时空差异性, 在空间上呈现“四线—五区”的格局。研究成果能够为揭示青藏高原区域生态系统对全球变化的响应机制提供理论和方法支撑。

关键词: NPP; 重心模型; 驱动机制; 全球变化; 青藏高原

植被净初级生产力(NPP)是指在单位面积、单位时间内绿色植物通过光合作用积累的有机物的数量, 是指示陆表生态系统健康状况的核心指标^[1-3]。NPP作为碳收支和气候变化研究的核心内容, 是判定生态系统健康状况和可持续发展水平的重要指标^[3]。因此, 对区域植被NPP的时空变化格局及其驱动机制的分析和探讨, 不仅可以揭示气候变化背景下生态系统的响应程度, 而且可以为生态环境保护、植物估产、资源开发利用、自然资源的有效管理以及制定相应的社会和经济发展战略提供科学依据^[4]。

收稿日期: 2019-04-30; 修订日期: 2019-08-23

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2018BD001); 国家重点研发计划项目(2017YFA0604804); 山东省高等学校科学技术计划项目(J18KA181); 山东省基础地理信息与数字化技术重点实验室开放基金项目

作者简介: 陈舒婷(1996-), 女, 山东淄博人, 硕士, 主要从事灾害与生态环境遥感方面的研究。

E-mai: 2578749407@qq.com

通讯作者: 郭兵(1987-), 男, 山东淄博人, 博士, 讲师, 主要从事灾害与生态环境遥感方面的研究。

E-mail: guobingjl@163.com

目前国外学者主要基于气候模型、生态机理过程模型 (BIOME-BGC 模型^[5]) 和遥感数据估算 (CASA 模型^[2]、GLO-PEM 模型^[6]) 三方面开展 *NPP* 的研究, 而国内学者则利用国外经验和改进模型对中国不同尺度区域, 如三江源地区、横断山区、石羊河流域、锡林郭勒盟草原等, 开展了一系列 *NPP* 综合研究, 包括 *NPP* 时空变化格局、演变规律及其驱动机制分析等内容^[1,3,5-10]。植被净初级生产力随着研究区域以及时空尺度的变化, 对气候变化的响应机制产生了显著的不同。部分研究表明, 在全球尺度上, 近三十年植被 *NPP* 呈现总体增加趋势, 但是不同区域植被 *NPP* 的演变机制存在显著差异^[11-14]。受气候变暖的影响, 中国陆地植被 *NPP* 随着气候变化表现出一定的增长趋势^[15-18]。全球气候变化胁迫下, 植被生长受水热条件胁迫的影响日趋明显, 然而, 气候变化对植被 *NPP* 的影响存在显著的区域差异性^[19-23], 因此, 在全球气候变化背景下, 针对不同区域研究植被 *NPP* 的时空演变机制具有十分重要的研究意义。青藏高原独特的气候类型、地貌条件、地理位置及海拔高度, 形成了从热带到寒带、从湿润到干旱等多种气候和生态系统类型, 使之成为一个特殊的地理单元, 是受全球变化影响非常敏感的区域, 对全球变化具有重要的调节和指示作用, 被视为我国乃至全球气候变化的“天然实验室”^[1,4]。刘凤等^[24]基于 CASA 模型计算 2000—2015 年青海高原植被 *NPP*, 并分析近 16 年来植被 *NPP* 时空变化演变格局及其对气候因素变化的响应。何楷迪等^[25]等基于 2000—2015 年 MODIS *NPP* 遥感产品, 结合气象和土壤质地数据, 采用回归分析等模型分析了降水、气温和土壤质地对青藏高原 *NPP* 和降水利用率变化的影响。张雪蕾等^[26]基于 Thornthwaite Memorial 模型估算的 *NPP*, 分析和探讨了对 *NPP* 时空变化的主要气候影响因子, 并对未来 *NPP* 的变化进行了预测。王娟等^[27]基于 ArcGIS 10.2 和 MOD17A3 产品定量区分了 *NPP* 与气候因素和土地利用类型的转变关系。黄玫等^[28]利用大气—植被相互作用模型 (AVIM 2) 模拟研究了青藏高原 1981—2000 年植被净初级生产力 (*NPP*) 对气候变化的响应。

故此, 本文引入重心模型等对青藏高原近 16 年的植被 *NPP* 时空演变格局及其驱动机制进行分析和探讨, 并对气候变化—人类活动对 *NPP* 演变过程中的相对作用进行定量区分, 对于揭示青藏高原植被生态系统对全球化的响应机制提供理论支持。

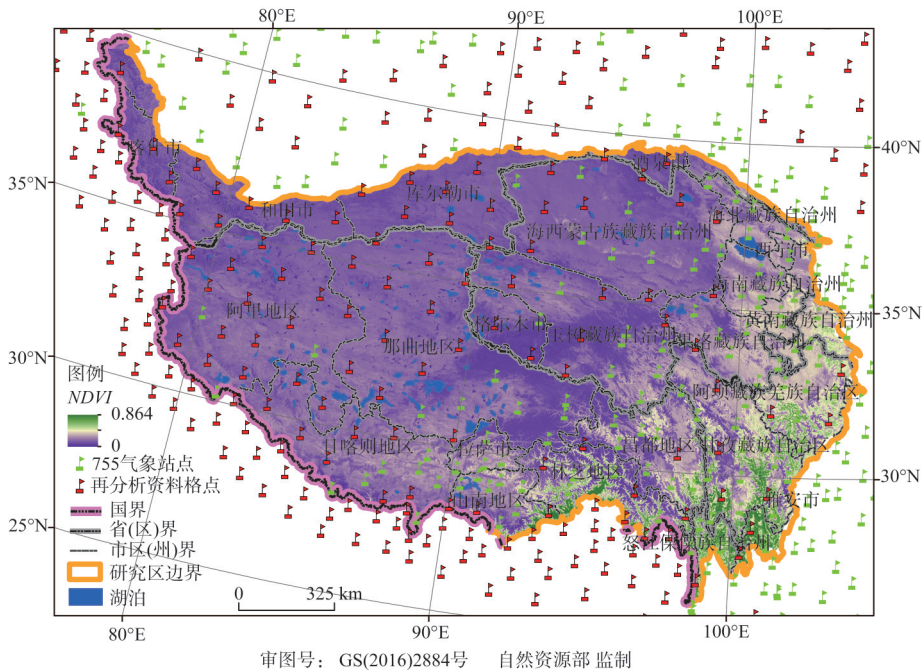
1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究区概况

青藏高原又称为“世界屋脊”和“第三极”, 其大部分位于西藏自治区和青海省 (26°00′12″~39°46′50″N, 73°18′52″~104°46′59″E), 占全国总面积的 23%, 是世界上海拔最高的地区之一^[1], 该地区山脉广布, 主要包括昆仑山、祁连山、巴颜喀拉山、唐古拉山以及冈底斯山等。高原腹地年平均气温在 0℃ 之下, 温度随高度和纬度的升高而降低, 气温日差较大。年平均降水量从东南部的 2000 mm 递减到高原腹地的 50 mm 以下^[4]。夏季, 高原大部分地区受到印度洋西南季风及其暖湿气流的综合影响, 降水充沛, 而冬季受西风带影响显著, 多大风且降水稀少。青藏高原植被类型复杂多样, 水平光谱上有森林、草甸、草原和沙漠。因此, 垂直自然带也从东南部的海洋湿润型转变为高原腹地的大陆干旱型^[18]。此外, 青藏高原冻土分布广泛, 占中国冻土总面积的 70%, 是世界中低纬度地区面积最大、范围最广的冻土区之一。

1.2 数据源

植被NPP可由MOD17A3产品获得,该产品集下载网址为: <https://lpdaac.usgs.gov/>,空间和时间分辨率分别为1 km和1年。研究区及周边229个气象气象站点数据,包括日降水、日均温等,来自中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。利用MRT(MODIS Projection Tool)工具对MOD17A3H数据进行镶嵌和投影转换,并在ArcGIS 10.3中将镶嵌结果裁剪出青藏高原范围内影像。逐站点计算出2000—2015年逐年的年平均气温和年降水总量,并利用Cokriging差值方法对上述两个气候因子进行空间化。同时考虑到研究区西部站点较少,利用中国区域高时空分辨率地面气象要素驱动数据集(<http://westdc.westgis.ac.cn>)对研究区站点进行了加密(图1)。



注: 本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作, 底图无修改, 下同。

图1 研究区概况

Fig. 1 Location of the study region

1.3 研究方法

1.3.1 趋势分析

一元线性回归分析方法可以一定程度上消除特定年份极端气候的影响^[10], 因此本文采用该方法对植被NPP进行时间序列变化趋势分析, 其计算公式如下:

$$\theta_{slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times NPP_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n NPP_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2} \quad (1)$$

式中: θ_{slope} 为趋势斜率; NPP_i 为第*i*年的NPP ($\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); *i*为年变量, $i=1, 2, 3, 16$ 。

利用植被NPP变化率表征*n*年间NPP的变化程度, 公式如下:

$$NPP\text{变化率} = \frac{\theta_{slope}}{NPP_{mean}} \times n \times 100\% \quad (2)$$

式中： $NPP_{\text{变化率}}$ 以百分率来表示（%）； NPP_{mean} 为16年平均 NPP （ $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ）； n 为年份数（年）。

1.3.2 相关性分析

相关性分析主要用来反映要素之间的相关程度和相关方向^[24-28]。本文在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 两种置信水平下，利用基于像元的皮尔森相关系数分析和探讨植被 NPP 与典型气候因子的相关性及其显著水平。其相关系数、偏相关系数及复相关系数计算公式如下：

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

$$r_{xy_1y_2} = \frac{r_{xy_1} - r_{xy_2} r_{y_1y_2}}{\sqrt{1 - r_{xy_2}^2} \sqrt{1 - r_{y_1y_2}^2}} \quad (4)$$

$$R_{x,y_1y_2} = \sqrt{1 - (1 - r_{xy_1}^2)(1 - r_{xy_2}^2)} \quad (5)$$

式中： $r_{x,y}$ 表示 x 变量与 y 变量的相关系数（ r_{xy_1} 、 r_{xy_2} 、 $r_{y_1y_2}$ 与之相类似），其中正值表示正相关，否则，反之； x_i 与 y_i 分别表示两个变量在第 i 年的数值； $r_{xy_1y_2}$ 为 x 变量与 y_1 变量的偏相关系数（ y_2 固定）（ $r_{xy_2y_1}$ 与之相类似）； R_{x,y_1y_2} 为 x 变量与 y_1 变量和 y_2 变量的复相关系数。此外，本文分别采用 F 检验法和 T 检验法来分析偏相关系数和复相关系数的显著性，公式如下：

$$T = \frac{r_{xy_1y_2}}{\sqrt{1 - r_{xy_1y_2}^2}} \times \sqrt{n - m - 1} \quad (6)$$

$$F = \frac{R_{x,y_1y_2}^2}{1 - R_{x,y_1y_2}^2} \times \frac{n - m - 1}{m} \quad (7)$$

式中： n 为样本个数（个）； m 为变量个数（个）。

1.3.3 重心模型

应用物理学中“重心”的概念，意指物体各部分所受重力产生合力的作用点^[29,30]。在地理学及生态学研究领域中，“重心”概念被广泛应用于人类的生产、生活、土地利用等各种领域^[31]。本文中，植被 NPP 的重心空间变化特征能够反映地理现象的变化程度和变化趋势，其计算公式如下：

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i x_i}{\sum_{i=1}^n z_i} \quad (8)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i y_i}{\sum_{i=1}^n z_i} \quad (9)$$

式中: z_i 为第 i 个平面空间单元的属性值, (x_i, y_i) 为第 i 个平面空间单元的坐标值, 点 (\bar{x}, \bar{y}) 为 n 个平面空间单元组成的空间均值。

重心偏离的方向指向的是空间现象的“高密度”区域, 而重心偏离的距离则描述的是这种不均衡分布的程度。不同时期重心的移动轨迹能反映空间现象分布的演变过程, 其中重心移动的方向和距离计算公式如下:

$$\theta = \arctan\left(\frac{y_{t+m} - y_t}{x_{t+m} - x_t}\right) t + m \quad (10)$$

$$d_m = \sqrt{(x_{t+m} - x_t)^2 + (y_{t+m} - y_t)^2} \quad (11)$$

式中: θ 与 d_m 分别表示空间现象重心移动的方向与距离 (单位); y_{t+m} 和 y_t 分别表示空间现象在时间 $t+m$ 和时间 t 的纬度坐标; x_{t+m} 和 x_t 分别表示空间现象在时间 $t+m$ 和时间 t 的经度坐标。

1.3.4 Miami 模型

本文中潜在 NPP 的估算利用 Liebig 提出的 Miami 模型^[22,32], 其计算公式如下:

$$NPP_{\text{潜在}} = \min\left\{\left[1 + \frac{3000}{\exp(1.315 - 0.119T)}\right], (3000[1 - \exp(-0.000664P)])\right\} \quad (12)$$

式中: $NPP_{\text{潜在}}$ 为潜在 NPP ($\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); T 为年均温度 ($^{\circ}\text{C}$); P 为年降水量 (mm)。

2 结果分析

2.1 青藏高原植被 NPP 时空演变特征

2.1.1 2000—2015 年年均 NPP 空间分布格局

如图 2 所示, 青藏高原 2000—2015 年近 16 年植被 NPP 在空间分布上具有较强的规律性, 在区域水热条件的影响下, 研究区整体在时空上整体呈现从东南向西北递减的趋势。2000—2015 年青藏高原大部分区域植被净初级生产力处于 $400 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以下, 植被净初级生产力均值为 $167.52 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。在青藏高原西部和北部形成一个植被 NPP 低值区, 平均 NPP 小于 $200 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 如那曲地区、阿里地区、玉树藏族自治州等地区。植被 NPP 的高值区出现在青藏高原的东南部, 平均植被 NPP 大于 $600 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 主要包括山南地区与林芝地区南部、甘孜藏族自治州与阿坝藏族羌族自治州东南部、怒江傈僳族自治州北部等地区。植被 NPP 处于 $200 \sim 400 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的地区则主要分布于川西高原, 包括甘孜藏族自治州与阿坝藏族羌族自治州西北部、黄南藏族自治州、昌都地区东南部。而横断山区植被 NPP 则呈现自南向北、自西向东递减的趋势, 其值位于 $300 \sim 1000 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 该区最大值则出现在怒江傈僳族自治州, 其均值为 $830 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 这与该地区的植被类型、地形与气候相关。

2.1.2 年均植被 NPP 空间变化分布格局

对 2000—2015 年青藏高原植被 NPP 变化率进行分析, 结果 (图 3) 表明: 近 16 年, 青藏高原植被 NPP 变化率在 $10\% \sim 30\%$ 的像元面积最大, 占 45.55% , 其次为 $-10\% \sim 10\%$ 的像元面积, 占 33.39% ; 而植被 NPP 变化率在 $< -30\%$ 的像元面积最小, 占 0.91% 。以上分析结果表明 2000—2015 年, 青藏高原植被 NPP 年际变化总体上呈现增加趋势, 其中稳定

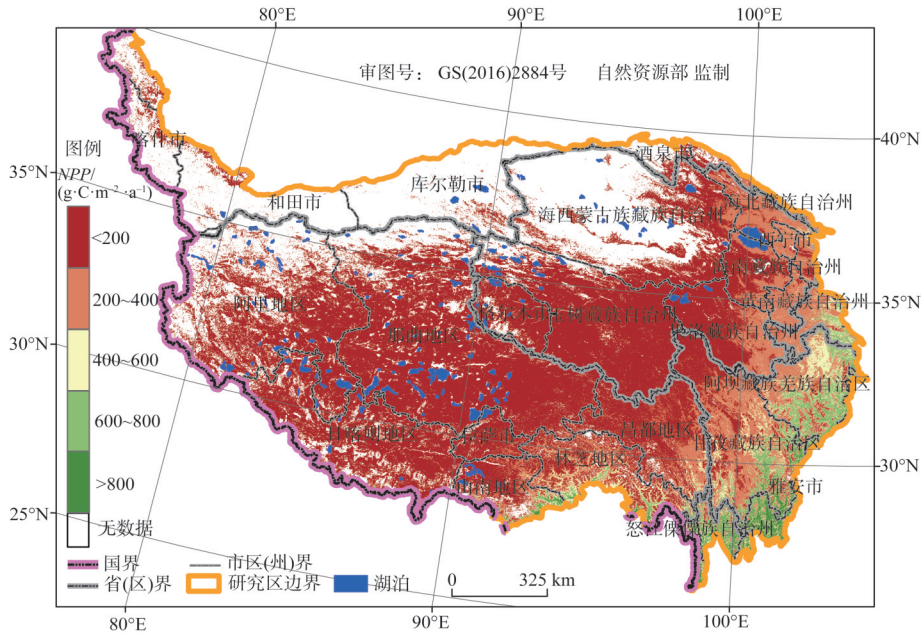


图2 近16年平均植被NPP分布特征

Fig. 2 Distribution characteristics of average vegetation NPP in the past 16 years

区 ($-10\% \sim 10\%$) 和增加区 ($>10\%$) 占研究区总面积的 94.20%，而轻微减小区 ($-30\% \sim -10\%$) 和重度减小区 ($< -30\%$) 则仅占总面积的 5.80%。

图4表明，2000—2015年，青藏高原植被NPP不同等级变化率区域在空间分布上存在一定规律：稳定区 ($-10\% < \text{变化率} < 10\%$) 主要分布于青藏高原东部边缘以及藏南地区，如阿坝藏族羌族自治州中北部、果洛藏族自治州中东部、黄南藏族自治州以及日喀则地区北部。植被NPP变化率 $> 30\%$ 的区域则主要分布于格尔木市、林芝地区、海西蒙古族藏族自治州东部以及海南藏族自治州中东部。NPP变化率在 $10\% \sim 30\%$ 的区域分布面积最广，主要集中于三江源地区、横断山区北部、雅鲁藏布江中下游以及那曲地区中东部。而植被NPP减小区 (变化率 $< -10\%$) 则主要分布于雅鲁藏布江上游和阿里高原，如阿里地区西部和南部、那曲地区西南部。

植被NPP重心可以有效地显示研究区域内NPP空间分布的不均衡性和偏向性。本文分别计算了近16年平均NPP及逐年NPP的重心 (图5)，主要集中于青藏高原东南部的昌都地区，表明青藏高原东南部的植被NPP总量要高于西北部，这与图2的分析结果 (年均植被NPP从青藏高原东南部向西北部递减) 相一致。

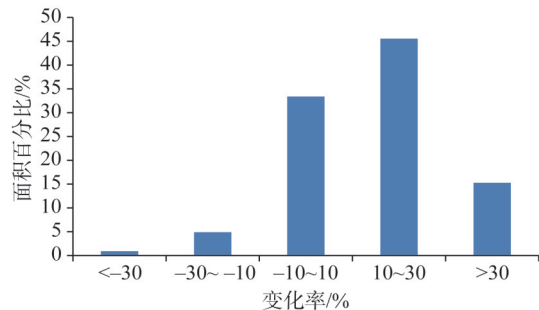


图3 2000—2015年青藏高原植被NPP不同等级变化率面积百分比对比

Fig. 3 Area percentage comparisons of different grades in NPP variation rates in the Qinghai-Tibet Plateau from 2000 to 2015

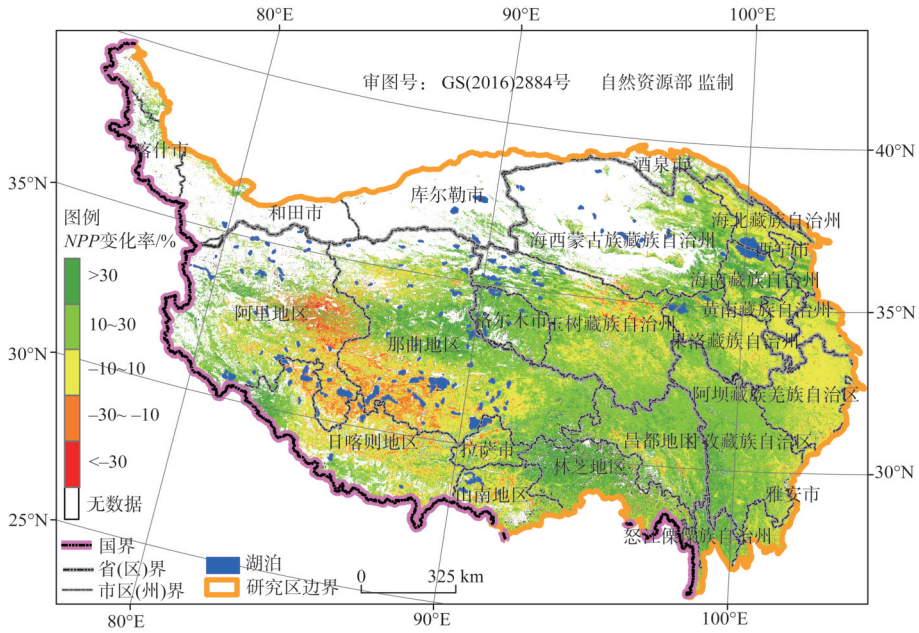


图4 2000—2015年青藏高原植被NPP不同等级变化率空间分布

Fig. 4 Spatial distributions of different grades of NPP variation rate in the Qinghai-Tibet Plateau from 2000 to 2015

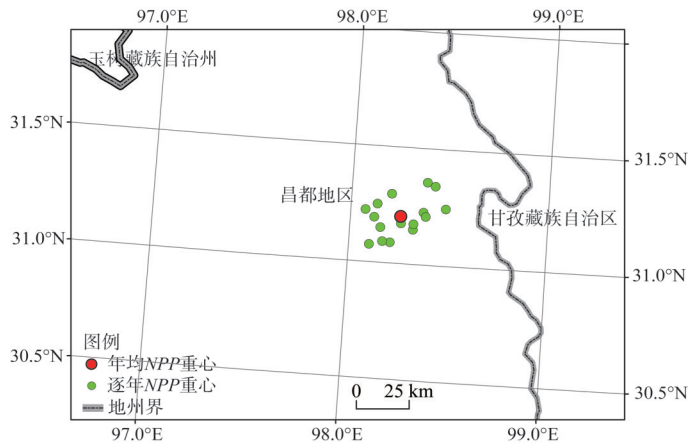


图5 2000—2015年青藏高原植被NPP重心分布

Fig. 5 Distributions of gravity center of NPP in the Qinghai-Tibet Plateau from 2000 to 2015

在极坐标系下，以2000—2015年植被NPP均值重心为原点并计算了逐年NPP重心到原点的距离（极径）和偏移角度（极角）。本文分别统计并计算了四个象限内NPP重心数目及其所占百分比。结果如图6所示，其中西南象限植被NPP重心的所占比为37.50%，25%的植被NPP重心位于东北象限，说明2000—2015年植被NPP在增速和增量在青藏高原西南部和东北部相对比较大，重心数目占整个青藏高原重心数目的62.5%，其他象限重心数目所占比为18.75%。如果按坐标轴分为两部分，43.75%的植被NPP的重心位于坐标轴的北半部，56.25%的植被NPP的重心位于坐标轴的南半部，北半部的重心

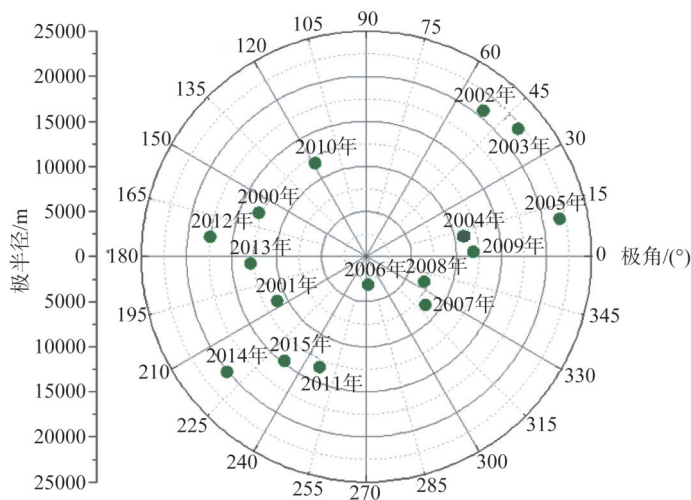


图6 2000—2015年青藏高原植被NPP重心分布比例(极坐标系)

Fig. 6 Distribution ratio of NPP gravity center in the Qinghai-Tibet Plateau from 2000 to 2015 (Polar coordinates)

数目小于南半部,这说明近16年植被NPP在南半部的增量于增速大于北半部。同时,2002年、2003年、2005年及2014年的植被NPP重心相比原点偏移距离较大,说明这四个年份青藏高原东北部和西南部的植被NPP增量显著。而2006年、2007年和2008年NPP重心相比原点偏移距离较小,说明这三个年份青藏高原各个区域植被NPP变化相对一致。

为了进一步探讨青藏高原NPP重心的空间变化规律,本文分析了2000—2015年不同时间尺度下的重心迁移情况。考虑到极端气候等因素对逐年植被NPP重心变化的影响,设定了两个时间尺度(3年和5年)来分析青藏高原植被NPP的重心迁移规律,如图7所示,2003—2005年植被NPP的重心相比2000—2002年向东发生了偏移,说明该时间段内

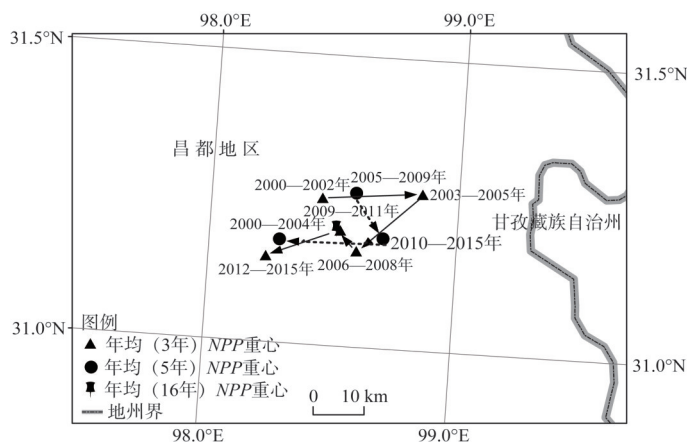


图7 不同时间尺度下青藏高原植被NPP重心迁移轨迹

Fig. 7 Migration trajectory of NPP gravity center in the Qinghai-Tibet Plateau at different time scales

研究区东部的植被NPP增量和增速要高于西部。而2006—2008年植被NPP重心相比2003—2005年向西南方向发生了偏移,说明该时间段内西南部植被NPP的增长速度大于东北部。2009—2011年和2012—2015年两个时间段内植被NPP重心相比2006—2008年总体发生西移,说明近7年,青藏高原西部地区的植被NPP增量要高于东部。5年尺度下,青藏高原植被NPP重心先向东南方向移动(2000—2004年>2005—2009年),之后又向西移动(2005—2009年>2010—2015年),表明2005—2009年青藏高原植被NPP相比2000—2004年东南部的增速大于西北部,而2010—2015年植被NPP相比2005—2009年西部的增速大于西北部。2000—2015年,青藏高原植被NPP的重心总体上表现为向西南方向移动,说明近16年,研究区西南部植被NPP的增速要高于东北部地区。

2.1.3 青藏高原植被NPP(实际)时间变化特征

2000—2015年青藏高原植被NPP均值呈现波动增加趋势(图8),波动幅度达 $32.88 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。其中最大值出现在2013年,为 $182.95 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,其次为2006年,为 $180.88 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,而最小值则出现在2000年,为 $150.07 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。2005年之前,青藏高原全区植被NPP均值小于 $160 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,增长趋势缓慢。2005年后,植被NPP均值显著增加,并在 $170 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 上下波动,这与国家在该区域大力推行“退耕还草”与“退牧还草”政策有密切关系,其中在2006年和2013年出现两个峰值,分别达到 $180.88 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $182.95 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,其主要原因在于上述年份研究区降水充沛,有助于植被的恢复和生长,而在2008年和2012年则出现两个谷值,分别为 $164.38 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $167.71 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,与这两年研究区降水较少,大部分区域发生不同程度干旱相关。

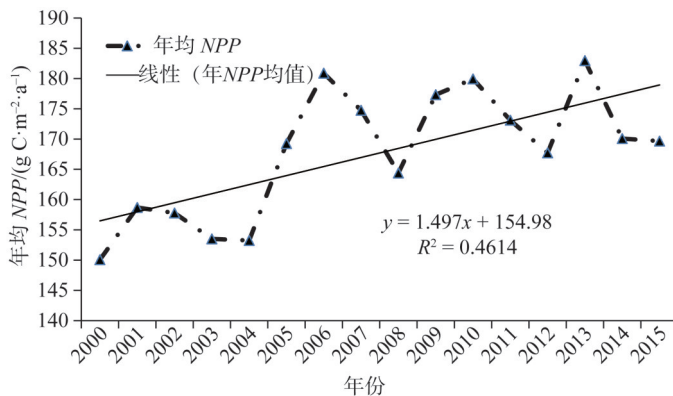


图8 2000—2015年青藏高原植被NPP均值年际变化

Fig. 8 Interannual variation of NPP in the Qinghai-Tibet Plateau from 2000 to 2015

2.2 青藏高原植被NPP(实际)与气温、降水的相关性分析

2.2.1 气候因子变化分析

如图9所示,青藏高原2000—2015年年降雨量为379.36~541.10 mm,多年平均降雨量为490.65 mm,其中最大值出现在2010年,而最小值则出现在2007年。近16年,青藏高原年降水量呈现微弱减小的趋势,在空间上则呈现出自东南向西北递减的趋势。青藏高原2000—2015年年均温为0.67~2.98 ℃,多年平均气温为1.48 ℃,其中最大值出现在2007年,最小值出现在2002年,近16年,青藏高原年均温呈现显著上升的趋势。

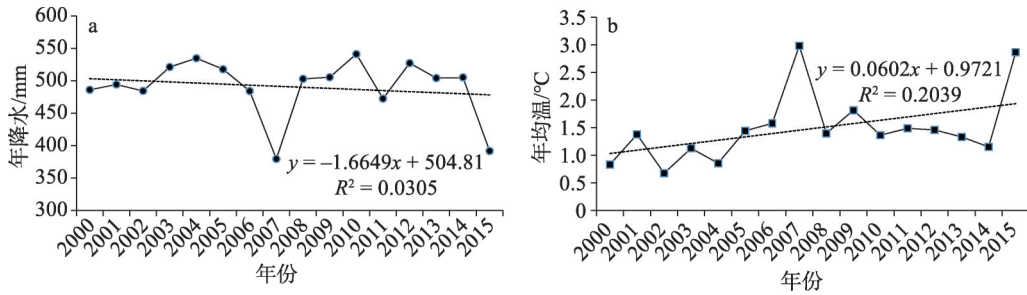


图9 青藏高原气候因子年际变化特征

Fig. 9 Interannual variation characteristics of climate factors in the Qinghai-Tibet Plateau

2.2.2 植被NPP与气温、降水相关性分析

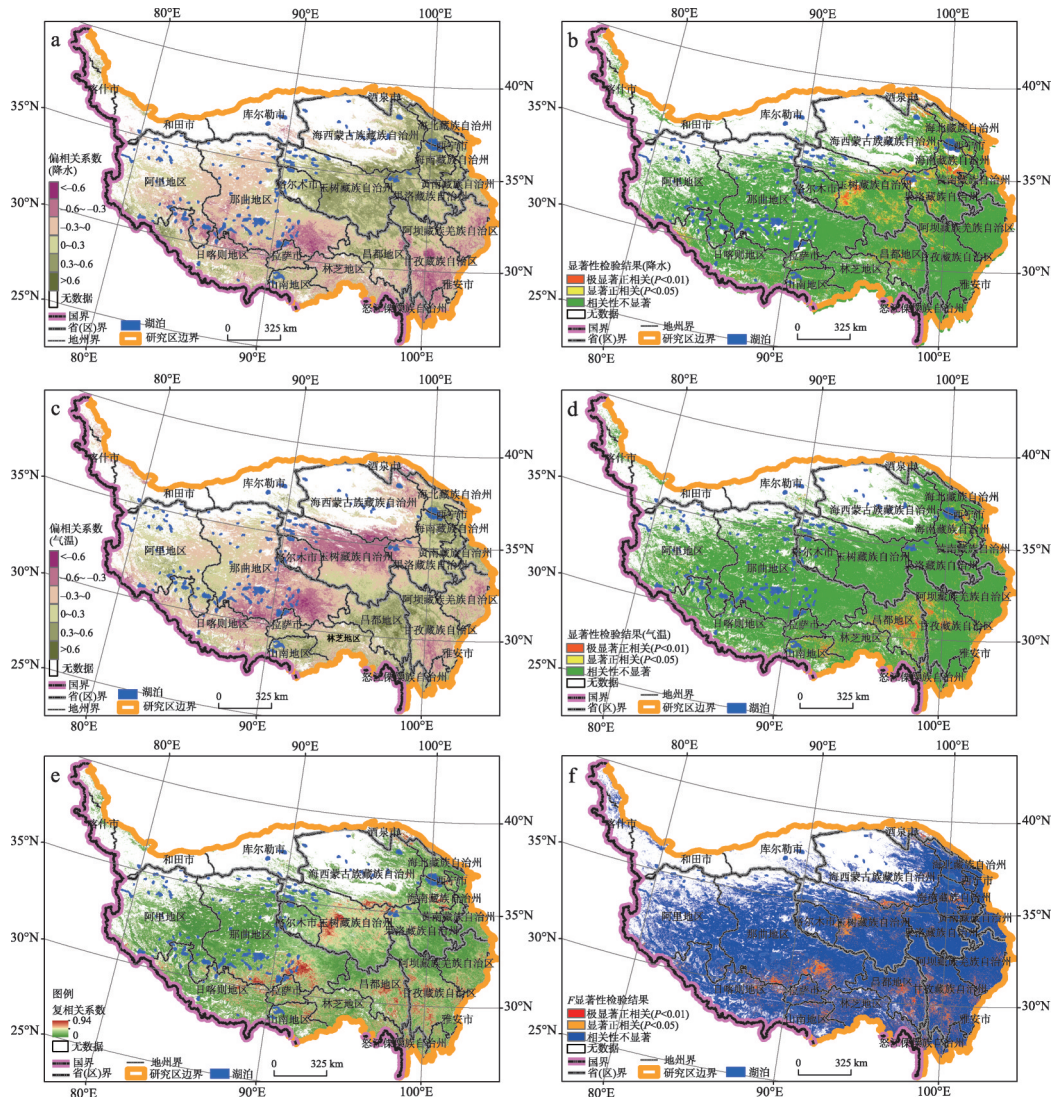
由于植被NPP受气温和降水因子的影响具有交叉性,本文逐像元计算2000—2015年青藏高原植被NPP与年降水、气温之间的偏相关系数及复相关系数。如图10a所示,植被NPP与年降水量的偏相关系数为-0.86~0.91,其中正相关区域主要分布于青藏高原东北部等地区,占总面积的54.57%;负相关区域主要分布于阿里地区、那曲地区南部、林芝地区、甘孜藏族自治州和阿坝藏族羌族自治州。如图10c所示,气温与植被NPP呈正相关区域主要分布于雅鲁藏布江中下游和青藏高原东部,占总面积的47.13%;呈负相关的区域则主要分布于雅鲁藏布江上游及其周边地区、横断山区、长江源区,占总面积的52.87%。对植被NPP与降水、气温的偏相关系数分别进行 T 显著性检验,结果如图10b、图10d所示,其中植被NPP与降水的偏向系数通过 $P<0.05$ 水平检验的区域占总面积的15.83%,通过 $P<0.01$ 水平检验的区域占总面积的5.34%,极显著相关区域主要分布于海南藏族自治州中部、海西蒙古族藏族自治州东南部、玉树藏族自治州东部及昌都西部;植被NPP与气温的偏向系数通过 $P<0.05$ 水平检验的区域占总面积的12.65%,通过 $P<0.01$ 水平检验的区域占总面积的6.13%,极显著相关区域主要分布于昌都中部、黄南藏族自治州—海南藏族自治州—西宁市交界地带、山南—林芝交界地带。

如图10e所示,气温与两个典型气候因子的复相关系数为0~0.94,其中,复相关系数较大的区域主要分布于玉树藏族自治州中部、那曲地区南部、昌都地区中西部以及甘孜藏族自治州的西部,而复相关系数较小的区域则主要分布于阿里地区、那曲地区北部、日喀则地区南部以及海北藏族自治州等地区,图10f为 F 显著性检验结果,其中复相关性显著区域($P<0.05$)主要分布于日喀则地区—那曲地区—拉萨市交界地带,昌都地区—甘孜藏族自治州—玉树藏族自治州—海西蒙古族藏族自治州交界地带,占总面积的16.32%,极显著区域($P<0.01$)主要分布于长江源区中部—那曲地区南部—昌都地区与甘孜藏族自治州交界地带,占总面积的5.89%。

2.3 气候变化和人类活动对植被NPP变化影响的区分

由于气候和人类活动对植被NPP动态变化产生双重胁迫作用,因此,气候变化和人类活动对植被退化的相对作用可通过植被NPP的变化进行定量的评估和区分。本文计算了三种植被NPP变化指标:(1)基于MOD17A3H的实际NPP(NPP_{actual});(2)基于Miam模型潜在NPP($NPP_{climate}$);(3)潜在NPP与实际NPP的残差 NPP_{human} 。

可以通过计算 $NPP_{climate}$ 、 NPP_{human} 和实际NPP的斜率 K_c 、 K_h 和 K_a 来评价气候变化和人



审图号：GS(2016)2884号 自然资源部 监制

图10 植被NPP与气温、降水的偏相关系数、复相关系数及其显著性检验结果

Fig. 10 Partial correlation coefficient, multiple correlation coefficient and significance test results of NPP with temperature and precipitation in the Qinghai-Tibet Plateau

类活动对NPP的影响和表示植被的恢复或退化状态。当 $K_c > 0$ 时，表明气候变化对于植被的生长及恢复产生积极作用；而当 $K_c < 0$ 时，表明气候变化对于植被的退化产生积极影响。当 $K_a > 0$ 时，表明人类活动对于植被的退化产生积极作用，而当 $K_a < 0$ 时，表明人类活动对于植被的生长及恢复产生积极影响。当 $K_a > 0$ ，表示植被处于恢复状态， $K_a < 0$ ，表示植被处于退化状态（表1）。

如图11所示，2000—2015年青藏高原处于植被恢复状态的区域占总面积的84.54%，处于植被退化状态的区域占总面积的15.46%。其中有46.01%的植被恢复区由气候变化所致，主要分布于那曲北部、三江源地区西部及青藏高原东北边缘；34.33%的植被恢复区受人类活动影响，主要集中于雅鲁藏布江中下游和青藏高原东南部；3.81%的植被恢复区

表1 气候变化和人类活动对植被退化或恢复的相对作用

Table 1 Relative effects of climate change and human activity on vegetation degradation and recovery

NPP变化状况	情景	K_c	K_h	气候相对作用	人类活动相对作用
NPP增加 (植被恢复)	情景1	>0	>0	100	0
	情景2	<0	<0	0	100
	情景3	>0	<0	共同作用	共同作用
NPP减小 (植被退化)	情景4	>0	>0	100	0
	情景5	<0	<0	0	100
	情景6	<0	>0	共同作用	共同作用

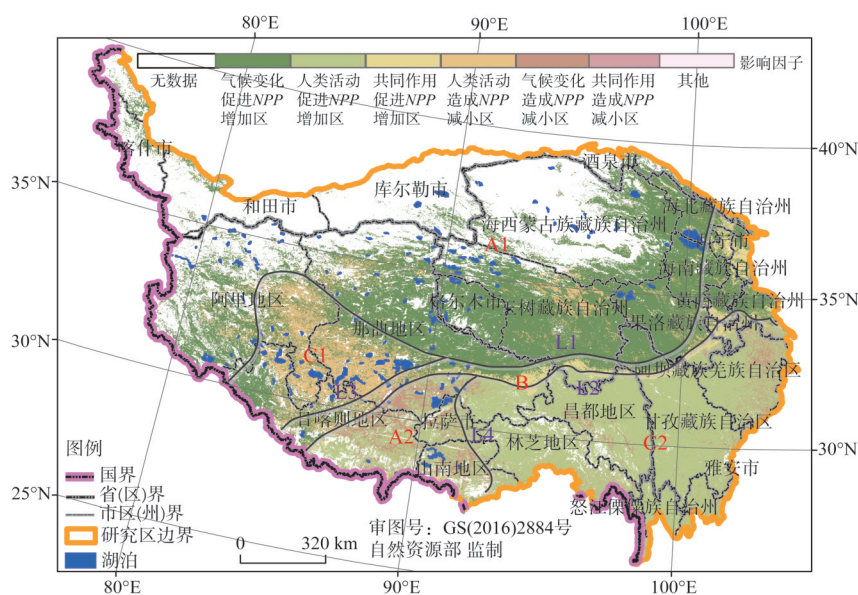


图11 气候变化和人类活动对植被变化相对作用的区分

Fig. 11 The relative effects of climate change and human activity on vegetation change in the Qinghai-Tibet Plateau

由气候变化和人类活动两者共同作用所致，主要分布于三江源地区南部边缘地带。

有5.05%的植被退化区由气候变化所致，零散分布于雅鲁藏布江上游和阿坝藏族自治州东部；10.20%的植被退化区受人类活动影响，主要集中于日那曲地区—日喀则地区—阿里地区交界地带和玉树藏族自治州北部；雅鲁藏布江北缘的植被退化区则由气候变化和人类活动两者共同作用所致。

综上所述，气候变化和人类活动的相对作用在空间上呈现“五区—四线”的格局，其中气候变化主导作用区为A1、A2，B区是气候变化主导作用区和人类活动主导作用区的过渡地带，该区内人类活动和气候变化共同对植被NPP的变化产生影响（促进增加或造成减小），而C1和C2则是人类活动主导作用区（图11）。

3 讨论

3.1 青藏高原植被NPP时空分布格局成因

2000—2015年青藏高原平均植被NPP空间分布上呈现自东南向西北递减的趋势，这

种趋势主要由降水和气温空间分布格局对植被NPP的影响造成的^[2]。青藏高原东南部由于太平洋季风的影响降水比其他地区充沛,多灌丛、针叶林及阔叶林,植被类型丰富多样。由于印度洋暖湿气流的影响,雅鲁藏布江下游地区多阔叶林、雨林及季雨林分布,植被覆盖度也较高,植被NPP较高。藏北高原大部分地区由于降水稀少,海拔高、气温较低,导致植被多为稀疏灌丛、低覆盖草原、高寒草甸,因此植被NPP相对较低。阿里高原地区由于气温较低,降水较少,荒漠化严重,植被NPP最低。2000—2015年,青藏高原总体NPP均值年际变化上呈现不断上升趋势,由于国家颁布实施了退耕还林及还草政策,2004年之后,研究区植被NPP均值出现了陡坡式的上升。此外,近16年青藏高原气温和降水总体上呈现上升趋势,暖湿化效应对于区域植被生态系统的生长及恢复均有一定程度的积极影响,从而进一步导致了植被NPP的高位增长态势。

3.2 青藏高原气候因子对植被NPP的作用机制

通过对植被NPP与气温、降水因子的单因子及双因子综合分析,发现青藏高原植被NPP与气候因子相关性的地区差异显著,很可能与海拔、气候类型、植被覆盖类型有关^[2]。青藏高原中部(特别是三江源地区)及东北部地区,植被NPP与降水呈显著正相关性,其原因在于该地区平均海拔超过4000 m,且地处内陆腹地,受印度洋及太平洋暖湿气流影响较弱,导致区域降水稀少,而水资源成为影响植被生长发育的关键因素之一。而横断山区以及雅鲁藏布江流域中下游,由于受北上印度洋暖湿气流及西进太平洋暖湿气流的交错影响,降水充沛,然而密集的降水加上陡峭的地形,造成了该区域强烈的水土流失、滑坡以及泥石流等自然灾害,从而在较大程度上破坏了区域植被生态系统,因此,上述地区植被NPP与降水呈显著负相关^[33]。

植被NPP与气温呈显著正相关的区域,主要分布于降水充沛且海拔适中的藏南地区及横断山区北部,其主要原因在于该地区较低温度极大的影响了植物的光合作用,抑制了植被生长发育,而随着温度的升高,植物的光合作用迅速增强,加上该地区较大的气温日较差,有利于植物干物质量的累积,进而促进了植被生态系统的恢复。而在青藏高原的中北部,植被NPP与气温呈显著负相关,主要原因在于气温升高虽有利于植被生长,但高温一少雨增加了地区土壤及植被的蒸散量,加剧区域旱情,不利于植被生长^[31]。

3.3 气候变化和人类活动对植被NPP变化的相对作用

气候变化和人类活动被认为是青藏高原植被NPP变化的主要驱动力。本文利用实际NPP(MOD17A3H)和潜在NPP(Miami模型)反演计算了特定指标将气候变化—人类活动对植被NPP的影响统一到可比的层面。研究表明,气候变化和人类活动的相对作用对植被NPP时空演变的影响呈现“五区—四线”的格局,其中气候变化主导作用区可分为两部分A1(气候变化促进NPP增加区)和A2(气候变化造成NPP减小区)。充沛的降水、丰富的水资源、显著增加的气温,均有助于植物的光合作用,进而极大促进了A1区植被的生长发育^[30,33]。A2区由于暖(增温显著)干(降水稀少)化显著,进而造成了一定程度的干旱,抑制了区域植被的生长。C1为人类活动造成NPP减小区,该区域的人类活动多表现为放牧和农耕,C2为人类活动促进NPP增加区,该区域的人类活动主要表现为“退耕还草”和“退牧还草”政策的推行。此外,B区为气候变化和人类活动对NPP变化共同作用的廊道,是气候变化影响增强—人类活动影响减弱的过渡地带。综上分析,气候变化和人类活动在青藏高原植被NPP变化过程中的相对作用存在明显的时空差

异性。综上分析,气候变化和人类活动在青藏高原植被 *NPP* 变化过程中的相对作用存在显著的时空差异性。

4 结论

本文利用重心模型和相关分析等方法探讨了青藏高原2000—2015年植被 *NPP* 时空演变格局及其驱动机理,并定量区分了 *NPP* 变化过程中气候变化和人类活动的相对作用,主要结论如下:

(1) 2000—2015年,青藏高原植被 *NPP* 年均值总体上呈现从东南向西北递减的趋势。在年际变化方面,近16年植被 *NPP* 呈现波动上升趋势,其中在2005年出现上升陡坡,并在2005—2015年表现为高位波动的态势。

(2) 植被 *NPP* 增加区(变化率 $>10\%$)主要集中于三江源地区、横断山区北部、雅鲁藏布江中下游以及那曲地区的中东部,而植被 *NPP* 减小区(变化率 $<-10\%$)则主要分布于雅鲁藏布江上游和阿里高原,如阿里地区西部和南部、那曲地区西南部。在重心方面,近16年青藏高原植被 *NPP* 重心总体向西南方向移动,表明西南部植被 *NPP* 在增量和增速上大于东北部。

(3) 青藏高原植被 *NPP* 与气候因子相关性的地区差异显著,其中植被 *NPP* 与降水显著相关的区域主要位于青藏高原中部、青藏高原东南部及雅鲁藏布江流域中下游,而植被 *NPP* 与气温显著相关的区域主要位于藏南地区、横断山区北部、青藏高原中部和北部。

(4) 气候变化和人类活动在青藏高原植被 *NPP* 变化过程中的相对作用存在显著的时空差异性,在空间上呈现“四线—五区”的格局。

参考文献(References):

- [1] 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(3): 373-380. [PIAO S L, FANG J Y. Terrestrial net primary production and its spatial-temporal patterns in Qinghai-Xizang Plateau, China during 1982-1999. Journal of Natural Resources, 2002, 17(3): 373-380.]
- [2] 德吉央宗,鲁旭阳. 青藏高原植被净初级生产力及其对气候变化的响应. 绿色科技, 2013, (10): 4-6. [DEJI Y Z, LU X Y. Analysis of vegetation net primary productivity on Qinghai-Tibetan Plateau and its response to climate change. Journal of Green Science and Technology, 2013, (10): 4-6.]
- [3] 张懿铨,祁威,周才平,等. 青藏高原高寒草地净初级生产力(NPP)时空分异. 地理学报, 2013, 68(9): 1197-1211. [ZHANG Y L, QI W, ZHOU C P, et al. Spatial and temporal variability in the net primary production of alpine grassland on the Tibetan Plateau since 1982. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(9): 1197-1211.]
- [4] 孙云晓,王思远,常清,等. 青藏高原近30年植被净初级生产力时空演变研究. 广东农业科学, 2014, 41(13): 160-166. [SUN Y X, WANG S Y, CHANG Q, et al. Study on spatial-temporal variation of net primary productivity for the Tibetan Plateau in recent 30 years. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(13): 160-166.]
- [5] 康满春,朱丽平,许行,等. 基于Biome-BGC模型的北方杨树人工林碳水通量对气候变化的响应研究. 生态学报, 2019, 39(7): 2378-2390. [KANG M C, ZHU L P, XU X, et al. Modelling the responses of carbon and water fluxes with climate change for a poplar plantation in Northern China based on the Biome-BGC model. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(7): 2378-2390.]
- [6] 张杰,潘晓玲,高志强,等. 干旱生态系统净初级生产力估算及变化探测. 地理学报, 2006, 61(1): 15-25. [ZHANG J, PAN X L, GAO Z Q, et al. Carbon uptake and change in net primary productivity of oasis-desert ecosystem in arid West-

- ern China with remote sensing technique. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(1): 15-25.]
- [7] 许方岳, 焦鸿渤, 丁雪丹, 等. 亚热带常绿阔叶林植被净初级生产力时空特征. *西北林学院学报*, 2019, 34(2): 62-68. [XU F Y, JIAO H B, DING X D, et al. Spatial-temporal characteristics of NPP in subtropical evergreen broad-leaved forests. *Journal of Northwest Forestry University*, 2019, 34(2): 62-68.]
- [8] MAO D H, LUO L, WANG Z M, et al. Variations in net primary productivity and its relationships with warming climate in the permafrost zone of the Tibetan Plateau. *Journal of Geographical Sciences*, 2015, 25(8): 967-977.
- [9] 朱莹莹, 韩磊, 赵永华, 等. 中国西北地区NPP模拟及其时空格局. *生态学杂志*: 2019, 38(6): 1861-1871. [ZHU Y Y, HAN L, ZHAO Y H, et al. Simulation and spatiotemporal analysis of vegetation NPP in Northwest China. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(6): 1861-1871.]
- [10] 杨柏娟, 王思远, 常清, 等. 青藏高原植被净初级生产力对物候变化的响应. *地理与地理信息科学*, 2015, 31(5): 115-120. [YANG B J, WANG S Y, CHANG Q, et al. Response of NPP to phenology changes in the Tibet Plateau. *Geography and Geo-Information Science*, 2015, 31(5): 115-120.]
- [11] 韩王亚, 张超, 曾源, 等. 2000—2015年拉萨河流域NPP时空变化及驱动因子. *生态学报*, 2018, 38(24): 8787-8798. [HAN W Y, ZHANG C, ZENG Y, et al. Spatio-temporal changes and driving factors in the net primary productivity of Lhasa River Basin from 2000 to 2015. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(24): 8787-8798.]
- [12] 田智慧, 张丹丹, 赫晓慧, 等. 2000—2015年黄河流域植被净初级生产力时空变化特征及其驱动因子. *水土保持研究*, 2019, 26(2): 255-262. [TIAN Z H, ZHANG D D, HE X H, et al. Spatiotemporal variations in vegetation net primary productivity and their driving factors in Yellow River Basin from 2000 to 2015. *Research of Soil and Water Conservation*, 2019, 26(2): 255-262.]
- [13] 骆艳, 张松林. 山东省植被NPP时空分布特征及驱动因素分析. *广西植物*, 2019, 39(5): 690-700. [LUO Y, ZHANG S L. Temporal-spatial variation characteristics and driving factors of vegetation NPP in Shandong province. *Guihaia*, 2019, 39(5): 690-700.]
- [14] 姬盼盼, 高敏华, 杨晓东. 中国西北部干旱区NPP驱动力分析: 以新疆伊犁河谷和天山山脉部分区域为例. *生态学报*, 2019, 39(8): 1-11. [JI P P, GAO M H, YANG X D. Analysis of NPP driving force in an arid region of Northwest China: A case study in Yili Valley and parts of Tianshan Mountains, Xinjiang, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(8): 1-11.]
- [15] 李肖, 袁金国, 孟丹. 河北省2005—2014年植被NPP时空演变及其与气候因子的关系. *水土保持研究*, 2018, 25(6): 109-114, 120. [LI X, YUAN J G, MENG D. Spatiotemporal distribution of vegetation net primary productivity and its relationship with climate factors in Hebei province from 2005 to 2014. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(6): 109-114, 120.]
- [16] 王钊, 李登科. 2000—2015年陕西植被净初级生产力时空分布特征及其驱动因素. *应用生态学报*, 2018, 29(6): 1876-1884. [WANG Z, LI D K. Spatial-temporal distribution of vegetation net primary productivity and its driving factors from 2000 to 2015 in Shaanxi, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(6): 1876-1884.]
- [17] 高军, 尹小君, 汪传建, 等. 天山北坡植被NPP时空格局及气候因子驱动分析. *新疆农业科学*, 2018, 55(2): 352-361. [GAO J, YIN X J, WANG C J, et al. Spatial-temporal distribution of NPP and its climatic driving factors in the northern slope of Tianshan Mountain. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2018, 55(2): 352-361.]
- [18] 刘欢, 刘冰, 花利忠, 等. 福建省植被NPP时空格局及其驱动力分析. *测绘科学*, 2018, 43(3): 51-57. [LIU H, LIU B, HUA L Z, et al. Analysis of vegetation NPP spatiotemporal pattern and driving force in Fujian. *Science of Surveying and Mapping*, 2018, 43(3): 51-57.]
- [19] 王芳, 汪左, 张运. 2000—2015年安徽省植被净初级生产力时空分布特征及其驱动因素. *生态学报*, 2018, 38(8): 2754-2767. [WANG F, WANG Z, ZHANG Y. Spatio-temporal variations in vegetation Net Primary Productivity and their driving factors in Anhui province from 2000 to 2015. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(8): 2754-2767.]
- [20] 郭连发, 来全, 伊博力, 等. 2000—2014年呼伦贝尔沙地河流湿地植被NPP时空变化及驱动力分析. *水土保持研究*, 2017, 24(6): 267-272. [GUO L F, LAI Q, YI B L, et al. Spatiotemporal changes of net primary productivity of river Wetland and its driving factors in Hulun Buir Sandy Land in 2000-2014. *Research of Soil and Water Conservation*, 2017, 24

- (6): 267-272.]
- [21] 李晓荣, 高会, 韩立朴, 等. 太行山区植被NPP时空变化特征及其驱动力分析. 中国生态农业学报, 2017, 25(4): 498-508. [LI X R, GAO H, HAN L P, et al. Spatio-temporal variations in vegetation NPP and the driving factors in Taihang Mountain Area. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(4): 498-508.]
- [22] 郝永萍, 陈育峰, 张兴有. 植被净初级生产力模型估算及其对气候变化的响应研究进展. 地球科学进展, 1998, (6): 55-62. [HAO Y P, CHEN Y F, ZHANG X Y. Regress in estimation of net primary productivity and its responses to climate change. Advance in Earth Sciences, 1998, (6): 55-62.]
- [23] 王强, 张廷斌, 易桂花, 等. 横断山区2004—2014年植被NPP时空变化及其驱动因子. 生态学报, 2017, 37(9): 3084-3095. [WANG Q, ZHANG T B, YI G H, et al. Tempo-spatial variations and driving factors analysis of net primary productivity in the Hengduan Mountain Area from 2004 to 2014. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(9): 3084-3095.]
- [24] 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. 生态学报, 2019, 39(5): 1528-1540. [LIU F, ZENG Y N. Spatial-temporal change in vegetation net primary productivity and its response to climate and human activities in Qinghai Plateau in the past 16 years. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(5): 1528-1540.]
- [25] 何楷迪, 孙建, 陈秋计. 气候要素和土壤质地对青藏高原草地净初级生产力和降水利用率的影响. 草业科学, 2019, 36(4): 1053-1065. [HE K D, SUN J, CHEN Q J. Response of climate and soil texture to net primary productivity and precipitation-use efficiency in the Tibetan Plateau. Pratacultural Science, 2019, 36(4): 1053-1065.]
- [26] 张雪蕾, 王义成, 肖伟华, 等. 石羊河流域NPP对气候变化的响应. 生态学杂志, 2018, 37(10): 3110-3118. [ZHANG X L, WANG Y C, XIAO W H, et al. Responses of net primary productivity of natural vegetation to climate change in the Shiyang River Basin. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(10): 3110-3118.]
- [27] 王娟, 董金芳, 何慧娟. 陕北退耕还林区植被NPP时空变化及其驱动因子. 中国农学通报, 2016, 32(18): 114-120. [WANG J, DONG J F, HE H J. Temporal and spatial variation of vegetation net primary productivity and its driving factors in reforestation zone of Northern Shaanxi. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(18): 114-120.]
- [28] 黄玫, 季劲钧, 彭莉莉. 青藏高原1981—2000年植被净初级生产力对气候变化的响应. 气候与环境研究, 2008, 13(5): 608-616. [HUANG M, JI J Y, PENG L L. The response of vegetation net primary productivity to climate change during 1981-2000 in the Tibetan Plateau. Climatic and Environmental Research, 2008, 13(5): 608-616.]
- [29] 吕鑫, 王卷乐, 康海军, 等. 基于MODIS NPP的2006—2015年三江源区产草量时空变化研究. 自然资源学报, 2017, 32(11): 1857-1868. [LYU X, WANG J L, KANG H J, et al. Spatio-temporal changes of grassland production based on MODIS NPP in the Three-River Source Region from 2006 to 2015. Journal of Natural Resources, 2017, 32(11): 1857-1868.]
- [30] 张珺, 任鸿瑞. 人类活动对锡林郭勒盟草原净初级生产力的影响研究. 自然资源学报, 2017, 32(7): 1125-1133. [ZHANG J, REN H R. Effects of human activities on net primary productivity in the Xilingol Grassland. Journal of Natural Resources, 2017, 32(7): 1125-1133.]
- [31] 李传华, 赵军. 2000—2010年石羊河流域NPP时空变化及驱动因子. 生态学杂志, 2013, 32(3): 712-718. [LI C H, ZHAO J. Spatiotemporal variations of vegetation NPP and related driving factors in Shiyang River Basin of Northwest China in 2000-2010. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(3): 712-718.]
- [32] 刘斌涛, 陶和平, 宋春风, 等. 基于重心模型的西南山区降雨侵蚀力年内变化分析. 农业工程学报, 2012, 28(21): 113-120. [LIU B T, TAO H P, SONG C F, et al. Study on annual variation of rainfall erosivity in Southwest China using gravity center model. Transactions of the CSAE, 2012, 28(21): 113-120.]
- [33] 杨潇, 郭兵, 韩保民, 等. 青藏高原NPP时空演变格局及其驱动机制分析. 长江流域资源与环境, 2019, 28(12): 3038-3050. [YANG X, GUO B, HAN B M, et al. Analysis on the spatio-temporal evolution pattern and driving mechanism of NPP in the Qinghai-Tibet Plateau. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(12): 3038-3050.]

Spatial and temporal patterns of *NPP* and its response to climate change in the Qinghai-Tibet Plateau from 2000 to 2015

CHEN Shu-ting¹, GUO Bing^{1,2,3,4}, YANG Fei⁵, HAN Bao-min¹,

FAN Ye-wen⁴, YANG Xiao¹, HE Tian-li¹, LIU Yue¹, YANG Wen-na¹

(1. School of Civil Architectural Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, Shandong, China; 2. Key Laboratory of Geomatics and Digital Technology of Shandong Province, Qingdao 266590, Shandong, China; 3. Key Laboratory of Geographic Information Science (Ministry of Education), East China Normal University, Shanghai 200241, China; 4. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 5. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: The Qinghai-Tibet (QT) Plateau is considered as the "natural laboratory" of climate change in China and even in the world. Under the background of global change, the vegetation ecosystem of the QT has undergone profound changes. In this study, the spatial and temporal patterns and its driving mechanisms of *NPP* in the QT Plateau from 2000 to 2015 were analyzed and discussed by using gravity center and correlation coefficient models. Then, the relative effects of climate change and human activity on the process of *NPP* changes was quantitatively distinguished. The results show that: (1) From 2000 to 2015, the annual mean *NPP* in the QT Plateau showed a decreasing trend from southeast to northwest. In terms of interannual changes, the annual mean *NPP* showed a fluctuating upward trend in the study period, with a sharp rise in 2005 and a high fluctuation during 2005-2015. (2) The increased area of *NPP* in the QT Plateau (change rate >10%) was mainly concentrated in the Three-River Source Region, the northern Hengduan Mountains, the middle and lower reaches of the Yarlung Zangbo River Basin and the central and eastern parts of Naqu county, while the decreased area of *NPP* (change rate <- 10%) was mainly distributed in the upper reaches of the Yarlung Zangbo River Basin and the Ali Plateau. (3) During the 16 years, the gravity center of *NPP* in the QT Plateau moved eastward, indicating that the increment and growth rate of *NPP* in the eastern part is greater than that in the western part. (4) The correlation between vegetation *NPP* and climate factors in the study area is significant. The regions with significant correlation between *NPP* and precipitation are mainly located in the central and the southeastern parts of the QT Plateau and the middle and lower reaches of the Yarlung Zangbo River Basin. The regions with significant correlation between vegetation *NPP* and temperature are mainly located in Southern Tibet, Northern Hengduan Mountains, Central and Northern QT Plateau. (5) The relative effects of climate change and human activity on the process of *NPP* change in the plateau have significant spatial and temporal differences with a distribution pattern of "Four Lines and Five Regions". The research results can provide theoretical and methodological supports for revealing the response mechanism of regional ecosystems to global change in the QT Plateau.

Keywords: *NPP*; gravity center model; driving mechanism; global change; Qinghai-Tibet Plateau