

# 2000—2015 年川西地区植被 NPP 时空动态及驱动因子

陈杰, 仙巍, 陈春容

(成都信息工程大学, 成都 610041)

**摘要:**对川西植被净初级生产力进行估算并分析了其时空格局变化及驱动因子与植被净初级生产力的变化关系, 为深入认识川西植被生产力状况提供科学依据。在原 CASA 模型的基础上, 通过区域实际蒸散量与区域潜在蒸散量对水分胁迫影响系数进行了改进, 进而估算 2000—2015 年期间川西地区植被净初级生产力; 运用逐像元趋势法分析了川西地区植被净初级生产力在研究期间内其空间变化情况; 同时结合气象因子、土地利用变化、植被类型、地形因素、人类活动与植被净初级生产力进行了相关性分析。结果表明: 川西地区植被空间差异明显, 其 NPP 多年平均值为  $199 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , 在 2000—2015 年期间, 大面积区域植被 NPP 呈显著上升, 汶川、泸定、金川、康定局部区域受自然灾害及人类活动等因素 NPP 呈下降趋势; 降水、气温、太阳辐射等气象因子对植被空间格局分布产生一定影响, 不同土地利用及植被类型的 NPP 差异较大; 海拔与研究区 NPP 相关性非常显著 ( $R^2 = 0.896, p < 0.001$ ); 人类活动对汶川、泸定等局部地区负干扰明显。

**关键词:** 植被净初级生产力; CASA 模型; 川西地区; 时空变化; 驱动因子

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)05-0137-07

## Temporal and Spatial Dynamics and Driving Factors of Vegetation NPP in Western Sichuan from 2000 to 2015

CHEN Jie, XIAN Wei, CHEN Chunrong

(Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** This study is aimed to estimate the net primary productivity of vegetation in western Sichuan and analyze its spatial-temporal pattern and the relationship between net primary productivity (NPP) of vegetation and its driving factors, which provided a theoretic basis for understanding the status of vegetation productivity in this area. Specifically, the followings were investigated. (1) based on the Original CASA model, the influence coefficient of water stress on regional actual evapotranspiration and potential evapotranspiration was improved, and the NPP of vegetation in western Sichuan from 2000 to 2015 was estimated. (2) A pixel-by-pixel trend method was used to analyze the spatial variation of net primary productivity of vegetation in western Sichuan during the study period. (3) The correlation analysis was conducted between meteorological factors, land use change, vegetation type, topographic factors and human activities and net primary productivity of vegetation. The results showed that the spatial variation of vegetation in western Sichuan was obvious with the average annual NPP of  $199 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ; during the period 2000—2015, the NPP of vegetation in large areas increased significantly, while in some areas like Wenchuan, Luding, Jinchuan and Kangding, the values declined due to natural disasters and human activities; the meteorological parameters such as precipitation, temperature and solar radiation had certain influence on the spatial pattern of vegetation, causing the difference of NPP in area with different land uses and vegetation types; the correlation between altitude and NPP in the study area was highly significant ( $R^2 = 0.896, p < 0.001$ ) and human activities had a significant negative influence on NPP in the areas such as Wenchuan and Luding.

收稿日期: 2018-11-20

修回日期: 2018-12-06

资助项目: 四川省科技厅项目“四川省连片特困扶贫区生态环境安全过程分析和预警关键技术研究及示范: 以川西藏区为例” (2017SZ0088)

第一作者: 陈杰 (1995—), 女, 四川广元人, 硕士研究生, 主要研究方向 3S 集成与气象应用。E-mail: 2843688691@qq.com

通信作者: 仙巍 (1979—), 女, 山东济宁人, 副教授, 博士, 主要从事遥感技术应用研究。E-mail: 66952965@qq.com

**Keywords:** net primary productivity; CASA model; western Sichuan; time and space change; driving factor

植被净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)在地表碳循环和生态系统中扮演着重要角色,反映区域植被生产能力,表征陆地生态系统的质量状况。在过去的几十年中,利用遥感数据及模型模拟区域植被净初级生产力并分析其对生态系统影响一直是研究陆地生态系统的主要内容之一<sup>[1]</sup>。

对于大区域地带无法通过野外观测对植被净初级生产力进行实时测量,通过建立模型对区域植被净初级生产力进行间接估算成为重要的研究手段<sup>[2]</sup>。基于遥感数据的光能利用率原理模型在近几年被广泛应用于植被净初级生产力的估算<sup>[3-7]</sup>,同时在碳循环及农作物的评估中有着广泛应用。CASA 模型以归一化差异植被指数(NDVI)为基础,是一种比较普遍的植被净初级生产力的估算方法,在区域 NPP 时空动态分析上有着较高的精度。对于 NPP 时空变异的驱动机制还在进一步研究中,气候变化<sup>[8]</sup>及不同植被类型、土地利用类型、地形地貌、人类活动等驱动因子对 NPP 时空变异及空间格局存在至关重要的影响。

研究区位于四川省西部,地处青藏高原向川西南高山峡谷和四川盆地过渡的青藏高原东南边缘;植被作为四川生态屏障重要的组成部分,对研究区植被 NPP 进行长时间序列模拟研究是十分重要的内容;该研究以 NDVI 遥感数据源为基础,进行区域长时间序列月尺度 NPP 模拟,结合气象因素、地形地貌、人类活动正负干扰全面探讨 2000—2015 年川西植被 NPP 时空变化特征及驱动因素,对研究区植被碳储量变化有着重要意义,同时为该区域生态环境治理及评估提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区(图 1)包括四川省的甘孜藏族自治州、阿坝藏族羌族自治州及凉山彝族自治州木里藏族自治县,包括 32 个县,711 个乡镇,总面积为 238 100 km<sup>2</sup>,是四川省重点扶贫开发的特困地区,其地貌以山地、高原为主,地形构造复杂;阿坝、甘孜主要是高原地貌,凉山为云贵高原向北延伸的部分,中心地区的山原地貌特征明显,但在边缘地区呈破碎状态<sup>[9]</sup>;研究区受海陆分布及高原等因素存在明显的季风气候,是全球 25 个生物多样性地区之一、多种珍稀和濒危生物物种存留地,其沼泽、草地等自然资源丰富,且生态地位极其重要<sup>[10]</sup>。

## 2 数据处理与研究方法

### 2.1 数据来源

遥感数据选用美国国家航空航天局的 MODIS 数据,数据集为 MODIS13Q1,其时间分辨率为 16 d,空间分辨率为 250 m×250 m,高时间分辨率的 MODIS 数据能够满足研究区 NPP 模拟精度的要求,利用 MRT 工具进行格式转换、投影转换和拼接;气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网,研究区 17 个气象站点分布均匀、覆盖全区,可以代表研究区气候变化特征,利用 ArcGIS 插值工具,对研究区平均气温、降水、太阳辐射进行插值,得到气象要素空间分布图;土地利用数据及植被类型数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心,通过人工目视解译获得,土地利用类型包括耕地、林地、草地、水域、居民地和未利用土地 6 个一级类型以及 25 个二级类型;90 m 高程数据来源于地理空间数据云,其研究区坡度、坡向数据利用 ArcGIS 软件计算而来。

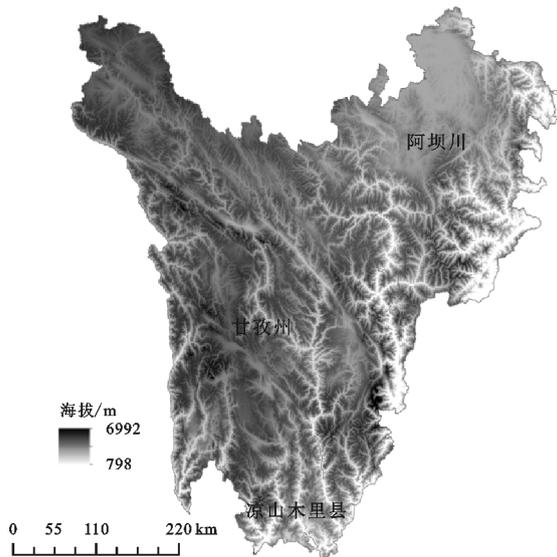


图 1 研究区域图

### 2.2 研究方法

2.2.1 CASA 模型 CASA 模型是基于植被所吸收的光合有效辐射(APAR)和光合利用率 $\epsilon$ 基础估算研究区植被净初级生产力;该模型利用遥感数据覆盖范围广、时间分辨率高的特点,能够实现对研究区 NPP 进行动态监测。模型如下:

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

$$APAR(x, t) = SOL(x, t) \times FPAR(x, t) \times 0.5$$

$$\epsilon(x, t) = T_{\epsilon 1} \times T_{\epsilon 2} \times W_{\epsilon(x, t)} \times \epsilon_{max}$$

$$W_{\epsilon(x, t)} = 0.5 + 0.5 \times E(x, t) / E_p(x, t)$$

式中:植被光合有效辐射(APAR)是由太阳总辐射(SOL)和植被层对入射光合有效辐射的比例共同决定;0.5表示的是植被所能利用的太阳有效辐射占太阳总辐射的比例; $\epsilon$ 为光能转化率,植被把所吸收的光合有效辐射转化为碳的几率,主要与温度和水分有关; $T_{e1}, T_{e2}$ 表示低温和高温对光能利用率的胁迫作用; $W_e$ 为水分胁迫影响系数,是经过土壤水分模型计算得到,该研究对水分胁迫影响系数进行改进,采用区域实际蒸散量 $E(x, t)$ 与区域潜在蒸散量 $E_p(x, t)$ 得到研究区水分胁迫影响系数 $^{[11]}$ ;  $\epsilon_{\max}$ 为理想条件下最大光能利用率,在参考朱文泉等 $^{[12]}$ 研究成果,  $\epsilon_{\max}$ 取值为0.389 gC/MJ。

2.2.2 趋势分析 NPP变化趋势由各个像元16 a(2000—2015年)的时间系列数据与年份进行线性回归,得到各个像元的线性斜率; $NPP = a(\text{year}) + b$ ,其中 $a, b$ 为回归系数, $a$ 为斜率。

2.2.3 相关性分析 相关性分析是指对两个或多个具备相关性的变量元素进行分析,从而衡量两个变量因素的相关密切程度。计算公式如下:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$\text{其中: } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i.$$

$-1 \leq r \leq 1$ ,  $r$ 绝对值越大,表明两个变量的相关程度越强。 $0 \leq r \leq 1$ ,表明两个变量之间存在正相关, $r = 1$ 表明两个变量之间存在完全正相关。 $-1 \leq r \leq 0$ ,表明两个变量之间存在负相关, $r = -1$ 表明两个变量之间存在完全负相关。 $r = 0$ ,表明两个变量之间无线性关系。

基于逐像元对2000—2015年研究区NPP与气象因子(降水、气温、太阳辐射)进行相关性分析,通过相关系数反映植被净初级生产力(NPP)与气象因子的相关程度,分别对其相关系数的空间分布情况进行研究,综合分析NPP对气象因子的响应 $^{[13]}$ 。

2.2.4 残差分析法 残差分析法可以将自然因素与人类活动对NPP的影响程度分离开,除去自然因素对NPP的影响,判断人类活动在NPP时空变化中起的作用,通过对每个栅格像元的NPP与自然因素做多元回归分析,得到每个像元NPP的预测值,该预测值为自然因素对NPP的影响,然后利用NPP实际值减去NPP预测值,得到人类活动对NPP的影响。 $\beta = \text{NPP实际值} - \text{NPP预测值}$ ,  $\beta$ 为人类活动对研究区NPP的影响, $\beta > 0$ 表示人类活动对研究区NPP是正干扰, $\beta < 0$ 表示人类活动对研究区NPP是负干扰 $^{[14]}$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 川西植被 NPP 年际变化特征

对川西年植被NPP的平均值进行统计分析,图2所示,2000—2015年川西省年NPP呈现波动增加趋势,变化趋势线斜率为1.1895 gC/(m<sup>2</sup>·a)。川西年NPP平均值为198.87 gC/(m<sup>2</sup>·a),变化范围在177.44~213.83 gC/(m<sup>2</sup>·a),其中2004年植被NPP值最大,2000年最小;这一结论与刘思瑶在基于CASA模型的四川植被净初级生产力及其时空格局分析中研究成果一致 $^{[15]}$ 。

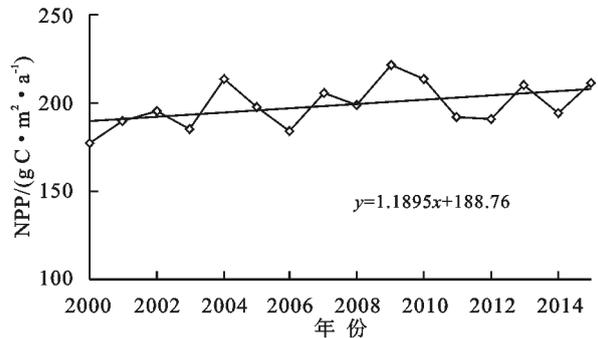


图2 川西2000—2015年平均植被NPP时间变化

### 3.2 植被 NPP 空间分布特征及其变化趋势

3.2.1 2000—2015年川西年均NPP空间变化 受经纬度和土地利用类型、气候、植被类型、地形因素、人类活动等的综合影响,川西2000—2015年植被NPP空间分布差异十分显著,研究区植被净初级生产力从东南方向往西北方向呈递减的趋势(图3)。以九寨沟—松潘—黑水—马尔康—金川—丹巴—康定—泸定—九龙—雅江—稻城为明显的分界线,石渠县植被NPP在研究区中非常具有代表性,其位于川、青、藏三省区结合部,以丘状高原山区为主,境内平均海拔为4000 m,西北部与青海玉树州接壤,其中石渠县西北部植被NPP最低为0~100 gC/(m<sup>2</sup>·a),局部植被NPP在100~200 gC/(m<sup>2</sup>·a);德格县、甘孜县、色达县境内地形复杂,NPP多在100~200 gC/(m<sup>2</sup>·a),色达县整个地势由西北向东南倾斜,西北高东南低,色达东南区域局部植被NPP的范围为200~300 gC/(m<sup>2</sup>·a);若尔盖、红原、松潘、阿坝其植被以草原为主,草地牧草资源丰富,草原类型多样,NPP相对较高,为200~300 gC/(m<sup>2</sup>·a);川西植被NPP的高值区位于九寨沟、黑水、茂县、理县、小金、丹巴、雅江、九龙、木里藏族自治州,NPP的范围为300~382 gC/(m<sup>2</sup>·a);黑水县、理县、小金部分区域NPP值较低,区域性差异显著。

3.2.2 2000—2015年川西NPP年际变化分析 NPP年际空间变化由相邻年度NPP差值比较得到。根据图4结果显示2000—2003年期间,NPP增长面积占

研究区的 59%，主要集中在川西的西北地区及西南地区；川西东北区域 NPP 面积减少占研究区的 41%；2003—2006 年期间，研究区东南部呈现增加趋势；2006—2009 年期间，整个研究区 NPP 均出现大幅度增长；而在 2009 年基础上，2012 年研究区域 NPP 出现大幅度的降低，2015 年在 2012 年的基础上又有所回升；其中 2008 年、2011 年、2012 年、2014 年这四年是川西 NPP 下降较明显的年份，下降范围在 6~13 gC/(m<sup>2</sup>·a)。

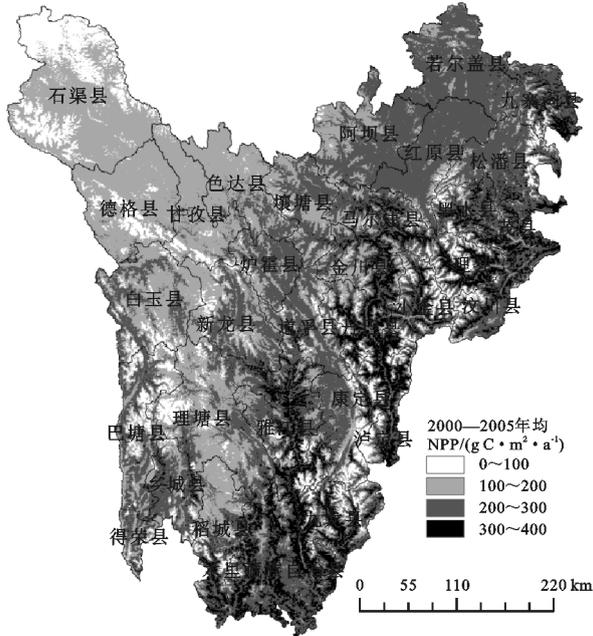


图 3 川西 2000—2015 年平均植被 NPP 空间变化

3.2.3 2000—2015 年川西 NPP 变化趋势空间分布  
 根据川西植被 NPP 区域总量与年份回归分析结果显示(图 5),川西大部分区域植被 NPP 在 2000—2015 年期间总体呈显著上升趋势,NPP 呈下降趋势的区域主要分布在汶川、泸定、金川、康定,汶川位于四川盆地西北部边缘,地势由东南向西北上升,在 2000—2015 年期间其植被 NPP 呈下降趋势,2008 年汶川地震自然灾害是造成其 NPP 变化的主要原因之一<sup>[16]</sup>,在 2008—2015 年期间,汶川余震频繁发生,具有极大的破坏力,同时灾后道路修建及房屋建设,河谷地区及靠近河岸的缓坡区域被充分利用,人类活动加剧,是该区域植被恢复缓慢及 NPP 下降的另一因素,对于高程较高的区域,阳坡光照时间较长,光合作用充足,降水充沛,有利于植被的生长与恢复,其 NPP 增加。泸定县属于典型的高山峡谷地形地貌,由于峡谷相对高差较大,气候垂直明显,岩石裸露<sup>[17]</sup>,不利于植被生长,且道路修建、第二产业迅速发展等人类活动<sup>[18]</sup>的加剧都是造成泸定植被 NPP 减少的原因。在若尔盖、红原 NPP 为上升趋势,草地保护、合理放牧等政策<sup>[19]</sup>为该区域植被生长提供有利的生长条件。

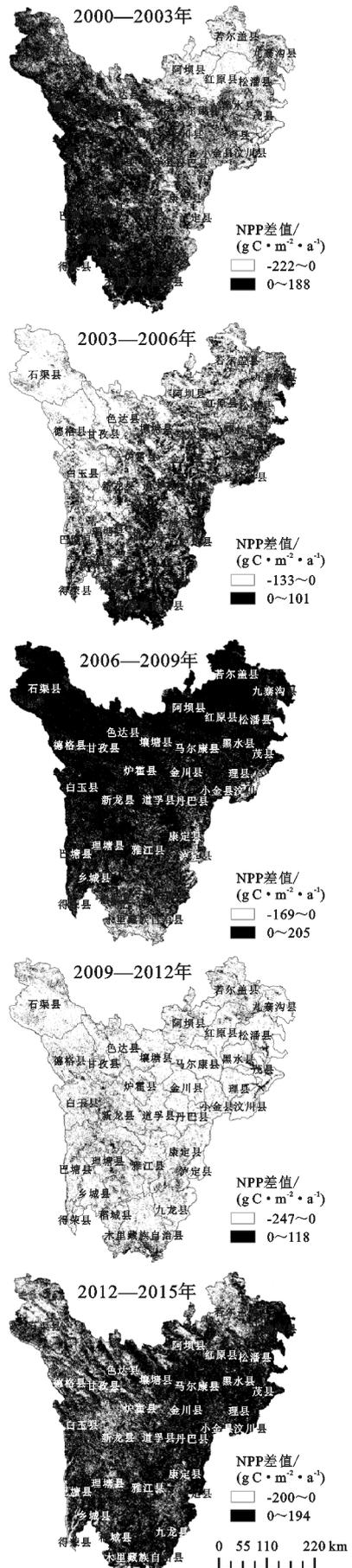


图 4 植被 NPP 的 annual 变化

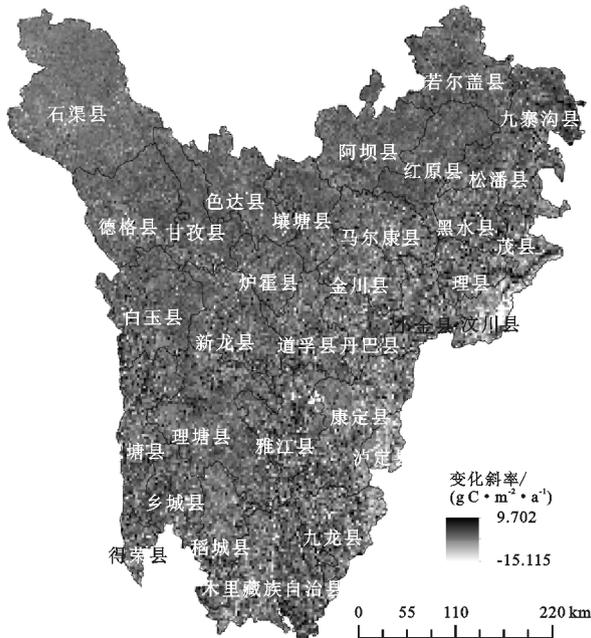


图 5 川西植被 NPP 变化趋势空间分布

### 3.3 植被 NPP 变化的驱动因素

3.3.1 气候变化对 NPP 的影响 2000—2015 年川西平均年降雨量、气温与植被 NPP 在空间格局分布较为一致,从研究区东南方向往西北方向来看,降雨量逐渐减少,其中在川西的西北方向降雨量达到最低在 480 mm 左右,与年均 NPP 最低值空间分布一致;

研究区气温空间变化与降水一致。根据 NPP 和气温、降雨量和太阳辐射总量 3 个气候因子相关分析结果得出(图 6),在甘孜州的石渠、德格、甘孜、色达区域, NPP 与降水呈显著正相关( $p < 0.001$ ),同时在阿坝州的阿坝、若尔盖、红原、壤塘降雨量增加促进植被的生长,表现为 NPP 与降水呈显著正相关,在若尔盖、红原和阿坝一带的高原沼泽是我国南方地区最大的沼泽带,在生态系统碳循环中占有重要地位,并且受气候的影响,蒸发量小,地表经常处于过湿的状态,有利于沼泽的发育;根据研究分析可得,在甘孜州、凉山州木里县大范围区域呈现 NPP 与气温为显著正相关,同时阿坝州的若尔盖、红原局部区域 NPP 与气温负相关明显,气温升高,蒸发量大,不利于该地区植被的生长;而阿坝州植被 NPP 与太阳辐射正相关性明显,随着太阳辐射增加,其植被接收日照的时间延长,进而植被光合作用产出增加,气温升高延长植被的生长周期,其 NPP 随着太阳辐射的增加而增加,甘孜州的西北地区 NPP 与太阳辐射相关性不显著,在理塘、雅江、九龙、道孚 4 个县其 NPP 与太阳辐射正相关性明显;研究区气温相对较低,降水导致部分区域植被接收日照时间减少,太阳辐射减少影响植被的光合作用,都是造成 NPP 空间分布差异的原因。

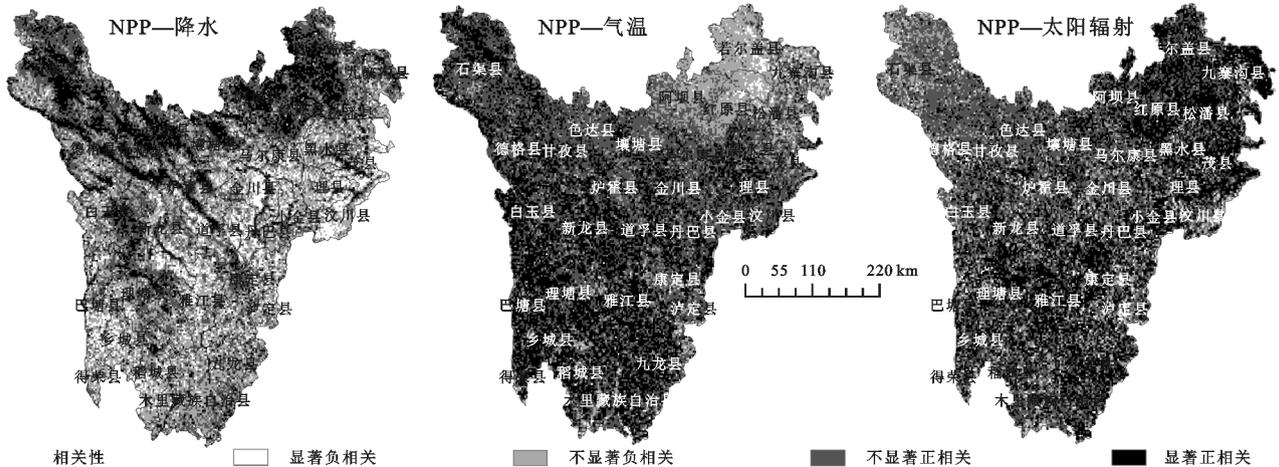


图 6 2000—2015 年川西年 NPP 与气象因子的相关关系

3.3.2 不同土地利用类型对 NPP 的影响 结合川西土地利用类型空间分布图,不同土地利用类型植被 NPP 差异明显(表 1),2000—2015 年期间,川西耕地、水体、其他 3 种地物植被 NPP 均呈增加趋势,在 2010 年的基础上,2015 年的林地、草地植被 NPP 均呈小幅度下降,下降范围为  $0 \sim 3 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ;各土地利用类型植被 NPP 平均值大小依次为林地 > 耕地 > 草地 > 其他 > 水体,这一结论与王钊在 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研究成果中一致<sup>[20]</sup>;根据 2000—2015 年川西

土地利用类型 NPP 变化速率结果显示,草地植被 NPP 增加速率大于林地和耕地,依次速率依次为 19.8%, 18.6%, 17.2%, 对各土地利用类型进行面积统计,耕地面积减少,建设用地面积增加,其土地利用类型分布影响研究区植被 NPP 空间格局变化。

表 1 不同土地利用的 NPP 变化  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

年份	耕地	林地	草地	水体	其他
2000	217.27	217.72	161.39	76.94	147.97
2005	243.14	245.23	178.58	89.01	175.99
2010	246.78	260.13	195.93	98.74	173.89
2015	254.65	258.22	193.36	105.32	181.34

3.3.3 不同植被类型对 NPP 的影响 利用川西植被空间覆盖类型图,分析不同类型植被 NPP 变化情况(表 2),研究区植被类型分为:针叶林、针阔叶混交林、阔叶林、灌丛、草原、草丛、草甸、沼泽、高山植被、栽培植被、其他 11 类植被,植被类型 NPP 平均值依次为针阔叶混交林>阔叶林>针叶林>草丛>沼泽>灌丛>栽培植被>草原>草甸>高山植被>其他,针阔叶混交林的植被 NPP 最高为 296.54  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,川西地区针阔叶混交林面积较少;根据各植被面积统计分析结果,川西地区以草甸、灌丛、针叶林、阔叶林、高山植被为主,草甸、灌丛、针叶林分别占川西总面积的 37%,35%,17%,植被 NPP 依次为 168.39  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,204.99  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,255.95  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

表 2 不同植被类型的 NPP 变化  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

植被类型	NPP 均值	植被类型	NPP 均值
针叶林	255.95	草甸	168.39
针阔叶混交林	296.54	沼泽	210.93
阔叶林	269.09	高山植被	69.57
灌丛	204.99	栽培植被	195.21
草原	190.98	其他	24.74
草丛	236.43		

3.3.4 地形因素对 NPP 的影响 地形因素在不同过程中控制其降水、温度、土壤等因子,影响其他环节变量,对区域植被空间格局产生重要影响<sup>[21]</sup>,川西地形复杂,海拔为 798~6 692 m,其西部海拔多达 4 000 m 以上,同时以若尔盖、红原、松潘、阿坝为典型的川西东北区域,海拔高度为 3 000~4 000 m;根据不同海拔等级的植被 NPP 分析结果显示,NPP 随着海拔变化差异明显,相关性非常显著( $R^2 = 0.896$ ,  $p < 0.001$ ),将海拔划分为 6 段:在 798~2 142 m,植被 NPP 较高,其 NPP 均值为 250.94  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,NPP 随海拔的增加而增加;在 2 142~3 112 m,海拔为 2 520 m 时 NPP 达到峰值;川西区域海拔主要在 3 112~4 082 m 和 4 082~5 052 m 这两个范围,其对应面积分别占川西总面积的 51%和 42%,对应 NPP 值为 242.95  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,152.84  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,海拔范围为 3 760~4 424 m NPP 随海拔的升高急速下降,在 4 424~4 907 m 存在一个峰值,NPP 随海拔有上升的趋势;海拔范围为 5 052~6 022 m 和 6 022~6 992 m,植被 NPP 非常低,其均值为 17.01  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 和 1  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ;在 3 000~6 992 m,NPP 随着海拔的增加而减少。坡度为  $0^\circ \sim 20^\circ$ , $20^\circ \sim 40^\circ$  的区域,植被 NPP 随坡度呈增加趋势,红原、若尔盖、石渠其坡度在  $20^\circ \sim 40^\circ$ ;结合坡向分析植被 NPP 变化情况,以平、北、东、北、东、东南、南、西南、西、西北、北 10 个坡向进行 NPP 面积统计,数据表明 NPP 随

坡向变化不明显,其各坡向对应的 NPP 均值为 177~203  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,NPP 值差异不大(图 7)。

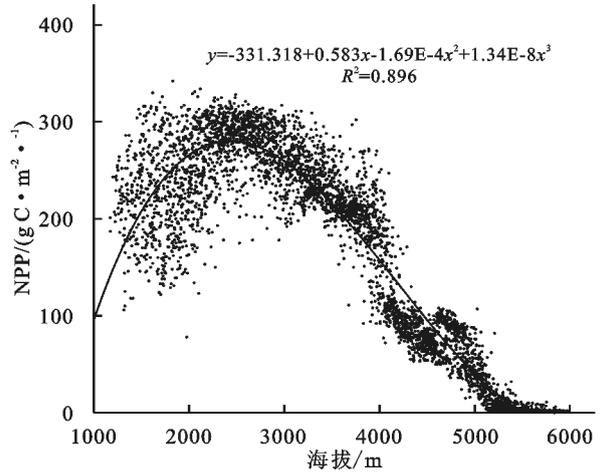


图 7 NPP 与海拔的相关关系

3.3.5 人类活动对 NPP 的影响 川西植被净初级生产力变化主要影响因素为自然因素,包括地形地貌、气候变化等,人类活动也是研究区 NPP 变化的重要驱动因素<sup>[22-23]</sup>。用残差分析法计算人类活动对 NPP 的影响,本文考虑气温、太阳辐射、海拔、坡度 4 个自然因素与 NPP 建立多元线性回归模型来计算。人类活动对川西植被净初级生产力的影响分为两个方面:人类活动对植被净初级生产力起到促进作用为人类活动正干扰,正干扰影响下其面积占研究区的 51.2%,马尔康、金川、小金、丹巴、道孚、雅江、九龙、木里、乡城人类活动对其正干扰明显;另一方面为人类负干扰,即人类活动对研究区植被净初级生产力起抑制作用,在九寨沟、松潘、黑水、茂县、理县、汶川、泸定、九龙、康定人类活动对其负干扰明显,负干扰明显的区域面积占研究区 15.3%,景区建设、道路修建、城市扩展等第二产业增加导致其植被减少或退化,结合川西植被 NPP 变化趋势空间分布来看,汶川、泸定、康定其 NPP 呈现明显的下降趋势,人类活动加剧是其 NPP 下降主要原因。对于植被 NPP 减少的区域应提出合理的保护措施,尽可能降低因人类活动对植被生长的干扰程度,同时认识到草原荒漠化的不利后果,合理放牧,为草地植被提供有利生长条件,对于土地沙漠化地区应及时治理,防止沙漠化继续恶化,平衡好人类与生态环境之间的关系(图 8)。

## 4 结论

通过改进过的 CASA 模型对川西 2000—2015 年植被净初级生产力(NPP)进行估算,分析研究区 NPP 在时间序列及空间格局变化得出:川西地区平均植被 NPP 总量为 199  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,范围为 177.44~213.83  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,NPP 在时间序列呈小幅上升趋势;川西地

域差异明显,植被 NPP 空间分布差异显著,NPP 空间差异与地形地貌关系密切,汶川、泸定其植被 NPP 下降较明显,地震、泥石流等自然灾害是汶川植被 NPP 下降的主要因素之一,同时灾后重建、社会经济活动等一系列人类干扰造成该地区植被恢复缓慢。

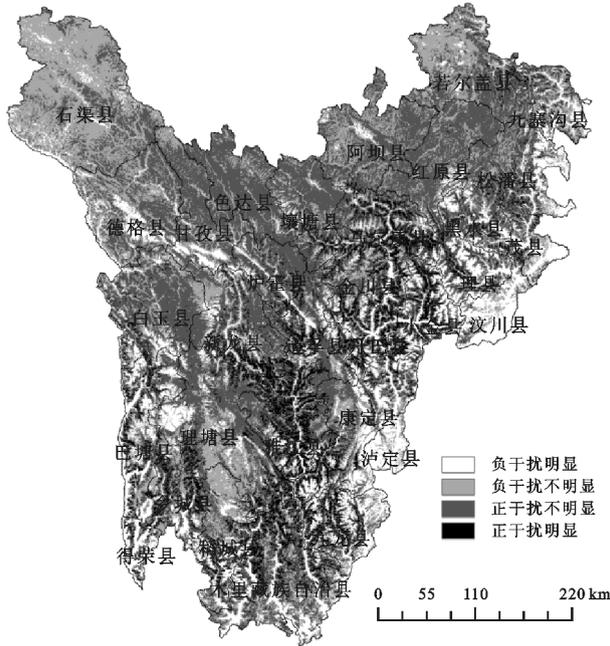


图 8 NPP 与人类活动的关系

研究期间内,气象因子对川西植被 NPP 空间格局变化产生一定影响,降水、气温、太阳辐射的空间布局是影响植被 NPP 分布的重要控制因素;同时各土地利用类型其植被 NPP 依次为林地>耕地>草地>其他>水体,其中草地 NPP 增长速率最快;对于不同植被类型,针阔叶混交林 NPP 值最高为  $296.54 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,研究区主要以草甸、灌丛、针叶林 3 种植被类型为主,针叶林 NPP 高于灌丛和草甸,土地利用变化通过改变植被类型对 NPP 时空格局存在重要影响;研究区海拔与其植被 NPP 的相关性非常显著 ( $R^2=0.896, p<0.001$ ),NPP 空间分布格局与海拔变化一致,地形地貌对研究区植被 NPP 空间分布格局起决定性因素。

#### 参考文献:

[1] 黄从德,张健,杨万勤,等.四川森林植被碳储量的时空变化[J].应用生态学报,2007,18(12):2687-2692.

[2] Cramer W, Kicklighter D W, Bondeau A, et al. Comparing global models of terrestrial Net primary productivity (NPP): Overview and key results [J]. Global Change Biology, 1995,5(S1):1-15.

[3] 张峰,周广胜.中国东北样带植被净初级生产力时空动态遥感模拟[J].植物生态学报,2008,32(4):798-809.

[4] 毛德华,王宗明,韩信兴,等.1982—2010 年中国东北地

区植被 NPP 时空格局及驱动因子分析[J].地理科学,2012,32(9):1106-1111.

[5] 胥晓.四川植被净第一性生产力(NPP)对全球气候变化的响应[J].生态学杂志,2004,23(6):19-24.

[6] 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.

[7] 李世华,牛铮,李壁成.植被净第一性生产力遥感过程模型研究[J].水土保持研究,2005,12(3):126-128.

[8] 李肖,袁金国,孟丹.河北省 2005—2014 年植被 NPP 时空演及其与气候因子的关系[J].水土保持研究,2018,25(6):109-114.

[9] 杨健吾.四川藏区贫困问题的现状和成因[J].西藏研究,2005(4):55-65.

[10] 韦玉臻.自然要素对四川藏区河谷型城镇空间结构影响研究[D].成都:西南交通大学,2017.

[11] 卢远,鄢燕,刘淑珍.藏北高原植被净初级生产力的遥感估算[J].安徽农业科学,2010,38(16):8559-8562.

[12] 朱文泉,潘耀忠,何浩.中国典型植被最大光能利用率模拟[J].科学通报,2006,51(6):700-706.

[13] 谷晓平,黄玫,季劲钧,等.近 20 年气候变化对西南地区植被净生产力的影响[J].自然资源学报,2007,22(2):251-259.

[14] 刘旻霞,赵瑞东,邵鹏,等.近 15 a 黄土高原植被覆盖时空变化及驱动力分析[J].干旱区地理,2018,41(1):99-108.

[15] 刘思瑶,卢涛,唐斌,等.基于 CASA 模型的四川植被净初级生产力及其时空格局分析[J].四川农业大学学报,2013,31(3):269-276.

[16] 熊俊楠,张昊,彭超,等.汶川地震灾区植被覆盖度变化与地形因子的关系[J].水土保持通报,2018,38(3):24-31,37.

[17] 沈毅,露丹.泸定县泥石流灾害特征及降水因子分析[J].高原山地气象,2014,34(2):81-85.

[18] 邓辉.基于遥感和 GIS 的泸定县生态地质环境质量评价[D].成都:成都理工大学,2011.

[19] 王长科,王跃思,张安定,等.若尔盖高原湿地资源及其保护对策[J].水土保持通报,2001,21(5):20-22.

[20] 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[J].应用生态学报,2018,29(6):1876-1884.

[21] 张岚彪,张岚晶,冯一帆.基于 3S 技术的巴林左旗植被覆盖度与地形影响因素分析[J].现代农业,2018(2):88-92.

[22] 李晓光,刘华民,王立新,等.鄂尔多斯高原植被覆盖变化及其与气候和人类活动的关系[J].中国农业气象,2014,35(4):470-476.

[23] 黄靖,第宝锋,边静虹,等.凉山州山地灾害空间分布特征及人为驱动力分析[J].水土保持研究,2014,21(6):278-283.