

DOI: 10.5846/stxb201405100952

李燕丽, 潘贤章, 王昌昆, 刘娅, 赵其国. 2000—2011 年广西植被净初级生产力时空分布特征及其驱动因素. 生态学报, 2014, 34(18): 5220-5228.
Li Y L, Pan X Z, Wang C K, Liu Y, Zhao Q G. Changes of vegetation net primary productivity and its driving factors from 2000 to 2011 in Guangxi, China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(18): 5220-5228.

2000—2011 年广西植被净初级生产力 时空分布特征及其驱动因素

李燕丽^{1,2}, 潘贤章^{1,*}, 王昌昆^{1,2}, 刘 娅^{1,2}, 赵其国¹

(1. 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:受人类活动及自然环境的影响, 广西土壤酸化、水土流失及石漠化等问题比较严重, 生态环境面临巨大压力。NPP 能有效反映植物群落在自然环境中的生产能力, 是评价生态服务功能的重要指标。利用 2000—2011 年 MODIS 归一化植被指数 (NDVI) 数据, 基于光能利用率模型对广西植被净初级生产力 (NPP) 进行估算, 分析其时空变化规律, 探讨气象因子、植被类型、土壤类型、海拔高度及人类活动的影响。研究表明: 近 12 年广西全区 NPP 总体呈增加趋势, 在西南部地区上升较为明显, 而在桂林、柳州等地区呈缓慢下降趋势。广西 NPP 与降水呈显著正相关关系, 与温度相关性不显著; NPP 值随海拔高度升高而增加; NPP 时空变化特征随植被类型和土壤类型的不同而不同, 其中栽培植被 NPP 不断上升, 显示人类活动逐渐成为影响 NPP 变化的主要因素。

关键词: 广西; NPP; NDVI; 驱动因素

Changes of vegetation net primary productivity and its driving factors from 2000 to 2011 in Guangxi, China

LI Yanli^{1,2}, PAN Xianzhang^{1,*}, WANG Changkun^{1,2}, LIU Ya^{1,2}, ZHAO Qiguo¹

1 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Ecological safety has faced serious threats from soil acidification, erosion and rocky desertification caused by natural disasters and increasing human activities in Guangxi. NPP which can effectively reflect productivity of plant community in the environment is one of the key indices for assessing the function of ecosystem service. The vegetation net primary productivity (NPP) in Guangxi province from 2000 to 2011 was estimated using the light use efficiency model and the time-series NDVI of MODIS data. And the spatio-temporal variation of vegetation NPP was analyzed based on several affecting factors, such as climate, vegetation types, soil types, topography, and human activities. The results showed that the NPP had increased in Guangxi province on the whole, especially the southwestern area. However, it decreased gently around Guilin and Liuzhou in recent 12 years. There was a significant positive relationship between total NPP and annual precipitation, while no significant relationship between total NPP and annual average temperature. The spatio-temporal variation characteristics of NPP changed with different vegetation types and soil types. The NPP of cultivated vegetation had been increased constantly and the human activities had become the important role on the NPP variation gradually.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (U1033004)

收稿日期: 2014-05-09; 修订日期: 2014-08-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: panxz@issas.ac.cn

Key Words: Guangxi; NPP; NDVI; driving factors

植被净初级生产力 (Net Primary Production, NPP) 是指植被在单位时间、单位面积上所积累的有机物的数量。NPP 是植物自身与外界环境因子相互作用的结果,它不仅反映了植物群落在自然环境中的生产能力,也是物质、能量循环以及变化研究的基础。NPP 作为表征陆地生态系统循环过程的重要参数,是研究地表碳循环过程中不可或缺的部分。

从 1876 年 Ebermayer 最早开始对植被净初级生产力进行研究以来^[1],世界各国科学家提出各种计算和测量 NPP 的方法,并在模型模拟植被净初级生产力方面取得了一定进展。随着研究的深入以及遥感技术的发展,利用模型进行植被净初级生产力的估算和研究逐渐成为一种重要方法。目前国内外关于估算 NPP 的模型有 20 多种,Ruimy 等将其概括为三类:统计模型(气候相关模型)、参数模型(光能利用率模型)以及过程模型(又称机理模型),其中后两个模型又称为遥感模型^[2-3]。CASA (Carnegie Ames Stanford Approach) 模型是光能利用率模型的一种,利用光合有效辐射和光能利用率两个参数来估算 NPP,同时引入温度、水分等光合作用胁迫因子,比较适用于区域 NPP 动态监测。基于遥感的 CASA 模型建立在光合作用过程和光能利用率的基础上,因其能很好的监测大区域甚至全球尺度上 NPP 的时空动态变化而得到广泛应用^[4]。大区域尺度上的陆地生态系统 NPP 与气候因子的相互关系研究从十九世纪中期已经开始,且已经取得了较大进展^[5-6]。然而,在区域尺度上的研究中,不同的植被类型对气候、地形、土壤类型等环境因子变化的敏感性和响应特征差别较大^[6-11],因此,很难确定区域尺度上 NPP 时空变化的驱动机制。

广西地处中国华南沿海、云贵高原的东南边缘,属于亚热带季风气候区,全区地形复杂多变,喀斯特地貌突出,山多地少,且土层较薄、土壤质量差。近年来,随着广西社会经济的快速发展,人类活动加强,生态环境面临巨大压力;加之不合理的开发利用使土壤污染、土壤酸化、水土流失等问题突出,生态环境恶化,其潜在资源的生产能力得不到充分发挥,整个地区农业、经济持续发展受到严重影响^[12-13],而有关该区植被生产力状况的研究相对较少。因此,

本研究利用 2000—2011 年 250m MODIS NDVI 时间序列数据、植被类型数据、气象数据等,基于朱文泉等改进的光能利用率模型^[14],对广西地区植被净初级生产力进行估算,旨在揭示广西植被 NPP 空间分布格局及其时空变异特征,探讨 NPP 的时空变异对气候变化的响应特征,以及不同环境因素影响下(区域、植被类型、土壤类型、海拔)NPP 对气候变化响应特征的差异,以期为该区植被保护和合理利用提供科学依据。

1 研究区概况

广西位于中国南部,介于东经 104°26′—112°04′、北纬 20°54′—26°20′ 之间,总面积 23.6 多万 km²,山多地少,地形复杂,喀斯特地貌突出,地势由西北向东南倾斜,四周山地环绕,呈盆地状,中部和南部多为平地,高程范围为 0—2014m,坡度范围为 0—73.41°。全区位于亚热带季风气候区,受地形影响,桂西、桂北山地气候明显,小气候生态环境多样,而桂南具有温湿的海洋气候特色。就全区而言,气候温和,雨量丰富,年均温 16—23℃,年均降雨量 1000—2800 mm,光、水同季,全年夏长冬短,北部夏季长达 4—5 个月,冬季仅两个月左右;南部从 5—10 月均为夏季,冬季不到两个月,沿海地区几乎没有冬季^[15]。主要农作物为甘蔗、玉米、木薯、花生等,土壤类型按土纲划分主要以铁铝土、初育土和人为土为主,三者分别占总土壤面积的 60.01%、25.97%、10.22%。

2 数据与方法

2.1 数据源

本研究中数据包括 2000—2011 年 MODIS NDVI 时间序列遥感数据、气象台站数据(月均气温、月降雨量、月太阳总辐射等)以及广西 1:100 万植被类型图(图 1)、广西 1:100 万土壤类型图、90m DEM 数据、广西分县行政图、广西土地利用图、广西统计年鉴等数据。其中,MODIS NDVI 时间序列数据,为每 16d 最大化合成的 NDVI 数据,空间分辨率为 250 m×250 m,数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据服务平台。气象数据来源于中国气象局国家

气象中心,气象数据包括近 12 年广西及其周边共 40 个气象站点和 7 个辐射站点的月值数据集。

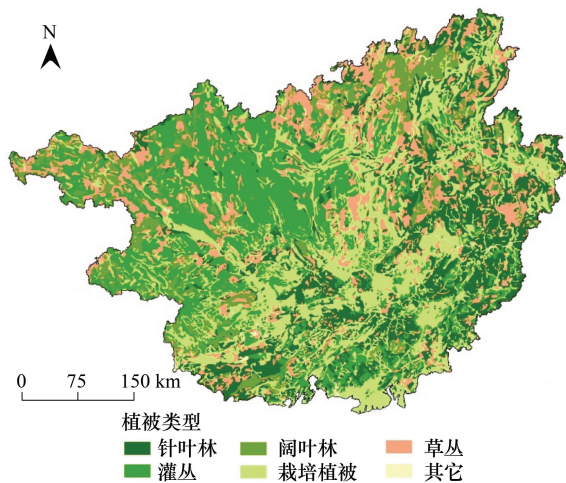


图 1 广西区植被类型图
Fig.1 The vegetation cover type of Guangxi

所有数据的分辨率均转换为 250m 分辨率。为避免各种空间数据地理坐标和投影坐标不一致,将所有空间数据转换成统一的坐标系。地理坐标系与投影坐标系参数如下:

地理坐标系 GCS_WGS_1984
Datum:D_WGS_1984
投影坐标系 WGS_1984_UTM_Zone_48N
Projection:Transverse Mercator

False Easting:0.00000000
False Northing:0.00000000
Central Meridian:105.00000000
Scale Factor:0.99960000
Latitude Of Origin:0.00000000
Linear Unit:Meter

2.2 数据预处理

根据各气象站点的经纬度坐标信息,利用 ArcGIS 软件地统计模块(Geostatistical Analyst)的克里格插值方法对气象数据进行插值,其投影信息和象元大小与 NDVI 数据保持一致。运用 ENVI 软件的 IDL 模块对 MODIS NDVI 数据进行影像拼接、重投影等数据批处理,采用最大合成法(MVC)提取月 NDVI 最大值,用于对研究区植被净初级生产力的估算。利用广西行政图对所有遥感数据以及气象栅格数据进行批量裁剪。

2.3 NPP 值估算

采用朱文泉等改进的基于光能利用率的 NPP 遥感估算模型^[14]对广西区植被净初级生产力进行估算(表 1)。该模型在综合已有的光能利用率模型(CASA 模型)的基础上进行诸多改进:引入植被覆盖分类,并考虑其对 NPP 估算的影响;以误差最小为原则,利用中国 NPP 实测数据,模拟出各植被类型的最大光能利用率,使之更符合中国的实际情况;

表 1 基于光能利用率模型的植被净初级生产力计算

Table 1 Calculation of the vegetation net primary production based on the light use efficiency model

编号 Number	公式 Formula	备注 Notes
1	$NPP(x,t) = APAR(x,t) \times \varepsilon(x,t)$	t 表示时间, x 表示空间位置; $APAR(x,t)$ 表示像元吸收的光合有效辐射; $\varepsilon(x,t)$ 表示像元的实际光能利用率
2	$APAR(x,t) = SOL(x,t) \times FPAR(x,t) \times 0.5$	$SOL(x,t)$ 是 t 月份在像元 x 处的太阳总辐射量
3	$FPAR(x,t) = \min \left[\frac{SR(x,t) - SR_{\min}}{SR_{\max} - SR_{\min}}, 0.95 \right]$	$FPAR(x,t)$ 为植被层对入射光合有效辐射的吸收比例
4	$SR(x,t) = \frac{[1 + NDVI(x,t)]}{[1 - NDVI(x,t)]}$	SR 为简单比值植被指数, $SR_{\max}$ 取值为 4.14–6.17, $SR_{\min}$ 取值为 1.05
5	$\varepsilon(x,t) = T_{e1}(x,t) \times T_{e2}(x,t) \times W_e(x,t) \times \varepsilon^*$	T_{e1} 和 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; ε^* 表示在理想条件下的最大光能利用率
6	$T_{e1}(x) = 0.8 + 0.02 \times Top_t(x) - 0.0005 \times [Top_t(x)]^2$	$TOP(x)$ 表示某一区域一年内 NDVI 值达到最高时月份的平均气温
7	$T_{e2}(x,t) = 1.1814 / \{ 1 + \exp[0.2 \times TOP(x) - 10 - T(x,t)] \} / \{ 1 + \exp[0.3 \times (-TOP(x) - 10 + T(x,t))] \}$	当某一月平均温度 $T(x,t)$ 比最适温度 $TOP(x)$ 高 10℃ 或低 13℃ 时,该月 $T_{e2}(x,t)$ 值为最适温度时的一半
8	$W_e(x,t) = 0.5 + 0.5 \times EET(x,t) / PET(x,t)$	$EET(x,t)$ 为区域实际蒸散量(mm); $PET(x,t)$ 为区域潜在蒸散量(mm)

基于区域蒸散模型并利用气象数据(温度、降雨、太阳辐射)来模拟水分胁迫因子,简化了有关参数,使其可操作性得到提高^[14, 16]。因此,该模型适合于广西区 NPP 的估算。

最大光能利用率的取值因植被类型的不同而不同,由于最大光能利用率的取值对 NPP 估算结果影响较大,对它的大小一直存在争议^[7, 17]。本文最大光能利用率采用 Running 等人基于生态生理过程模型对 6 种植被类型模拟的结果(表 2)^[18]。

表 2 植被类型及其最大光能利用率^[18]

Table 2 Vegetation type and its maximum utilization of light energy^[18]

植被类型 Vegetation types	最大光能利用率(ε*) Maximum light use efficiency
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	1.259
落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	1.004
常绿针叶林 Evergreen coniferous forest	1.008
草原 Prairie	0.608
灌林 Shrubbery	0.774
农业植被 Agricultural vegetation	0.604
其它 Others	0.389
无植被区 No vegetation	0

2.4 NPP 变化趋势分析

2.4.1 NPP 年际变化率的计算

采用一元线性回归分析方法分析 2000—2011 年研究区每个象元的植被 NPP 的时间序列变化趋势,回归直线斜率(trend)采用最小二乘法求得。计算公式为:

$$\theta_{\text{trend}} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times X_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n X_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i\right)^2}$$

式中,变量 i 为年序号, n 取值为 12, X 为时间序列遥感数据; θ_{trend} 表示遥感数据变化趋势线的斜率。 $\theta_{\text{trend}} > 0$ 说明其变化趋势是增加的,反之则是减少的。

2.4.2 NPP 与气候因子相关性计算

基于象元的植被 NPP 与气候因子的相关系数计算公式为:

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

式中,变量 i 为年序号, n 取值为 12, X_i 为第 i 年的 NPP 数据, Y_i 为第 i 年的气候因子, $\bar{X}$ 、 $\bar{Y}$ 分别为变量 X 、 Y 的均值, R_{xy} 为 NPP 与气候因子的相关系数。根据相关系数表可知,当 $n = 12$ 时, $R_{xy} > 0.612$ 时为极显著正相关, R_{xy} 在 0.532—0.612 之间时为显著正相关, R_{xy} 在 -0.612—0.532 之间时为显著负相关, $R_{xy} < -0.612$ 时为极显著负相关。计算基于象元的年总 NPP 与年均降水、年均气温之间的相关关系,分析 NPP 与气候因子的相关性。

3 NPP 的时空分布特征

3.1 NPP 空间分布特征

由基于 MODIS NDVI 数据估算出的 2000—2011 年年总 NPP 平均值的分级图(图 2)可以看出,大部分区域 NPP 值在 550—850 g C m⁻² a⁻¹ 之间;植被类型为针叶林、阔叶林地区的 NPP 值较高,其范围在 850—1760 g C m⁻² a⁻¹ 之间,占 19.08%;而在城镇及其周边地区 NPP 值相对较低,一般在 550 g C m⁻² a⁻¹ 以下,如北海、柳州、桂林的 NPP 均值分别为 409 g C m⁻² a⁻¹、471 g C m⁻² a⁻¹、482 g C m⁻² a⁻¹,这一方面是由于该区域城镇建设用地面积比例较大,平均植被覆盖度较低,另一方面是由于其周边多为农业植被,光能利用率相对较低引起的。本研究估算出的 NPP 值及其范围与朱文泉、董丹等基于 AVHRR NDVI、SPOT NDVI 数据的 NPP 估算结果基本一致^[14, 17]。

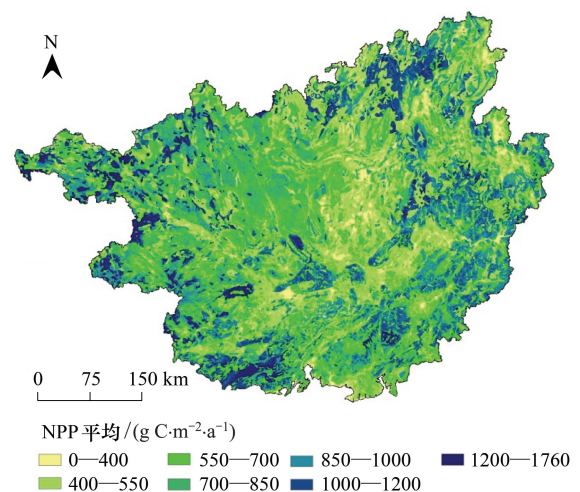


图 2 2000—2011 年年总 NPP 平均值空间分布图

Fig.2 Spatial distribution of the average annual NPP from 2000 to 2011

3.2 NPP 时空变化特征

对全区范围内年总 NPP 的平均值进行统计分析(图 3),从 2000—2011 年 NPP 值的变化可以看出,近 12 年广西 NPP 变化大致经历了两个阶段:(1)2000—2004 年,植被 NPP 缓慢上升;(2)2005—2011 年 NPP 由急剧下降到缓慢上升。这主要是由于相较于 2004 年,2005 年该区年降雨量减少了 273.78mm(图 5),年均温度基本没有变化,从而导致 NPP 出现较大幅度的下降。进入 21 世纪以来广西区年总 NPP 呈上下波动状态,年总 NPP 位于 680—746 $\text{g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$ 之间,其变化整体呈缓慢上升趋势。

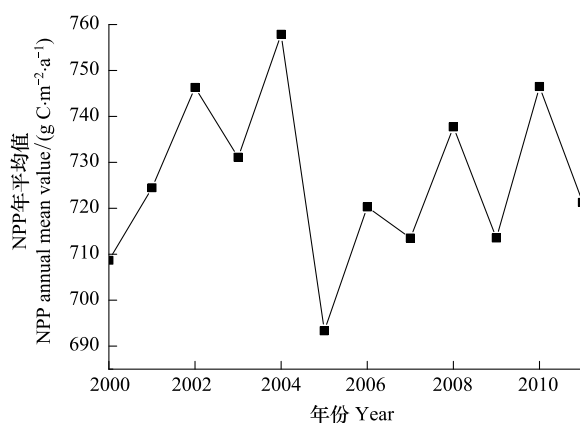


图 3 2000—2011 年全区平均 NPP 变化

Fig.3 The trend of annual NPP from 2000—2011 in Guangxi Province

对研究区 2000—2011 年年总 NPP 进行逐象元的趋势分析(图 4),全区 NPP 平均值变化趋势线斜率为 0.001。由图 4 可以看出,大部分地区 NPP 变化趋势在 $-0.02—0.02$ 之间;在广西西南部以及全州、乐县、隆林、百色等地区 NPP 变化明显呈上升趋势,部分地区上升趋势在 0.05 以上;而在东北部的桂林、柳州等地区 NPP 呈缓慢下降趋势,甚至部分地区下降趋势小于 -0.05 。

4 NPP 变化的驱动因素分析

4.1 不同气候因子对 NPP 变化的影响

植被生长和气候变化关系密切,二者之间的相互关系研究一直是国内外全球变化研究的主要内容^[5, 19-23]。植被 NPP 对气候因子的响应表现出显著的空间差异,不同的植被类型对气候因子的响应不同,草地、栽培植被以及灌丛具有较其它植被类型对气候因子变化更为明显的响应特点^[11]。

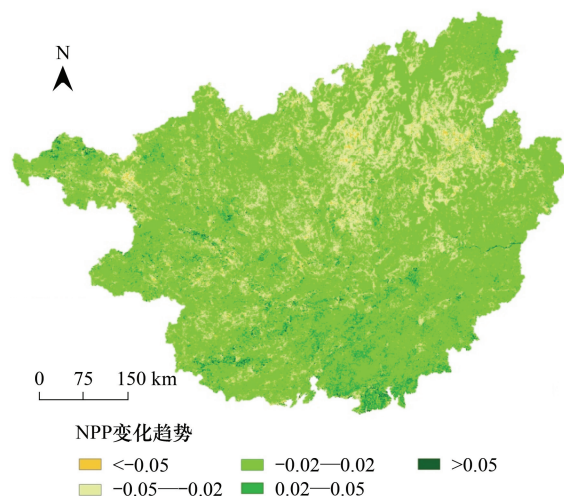


图 4 2000—2011 年广西 NPP 变化趋势图

Fig.4 The map of NPP trend from 2000 to 2011 in Guangxi Province

4.1.1 降水对 NPP 变化的影响

线性回归分析表明,NPP 值与年降水具有显著正相关关系(图 5),相关系数为 0.344,表明植被 NPP 随着降水的减少而下降。逐象元的计算 2000—2011 年年 NPP 和年降水量之间的相关系数如从图 6 所示,由图可见,NPP 与降水的正相关性与负相关性并存,但整体呈现正相关关系。统计结果表明,二者呈正相关性的占 90.36%,其中极显著正相关的占 9.9%,显著正相关的 9.38%,主要分布在河池、柳州、百色以及玉林等区域,主要原因可能是该区海拔相对较高,针叶林、灌丛、草丛等植被较多,降水的多少对 NPP 的变化影响较大引起的。二者呈

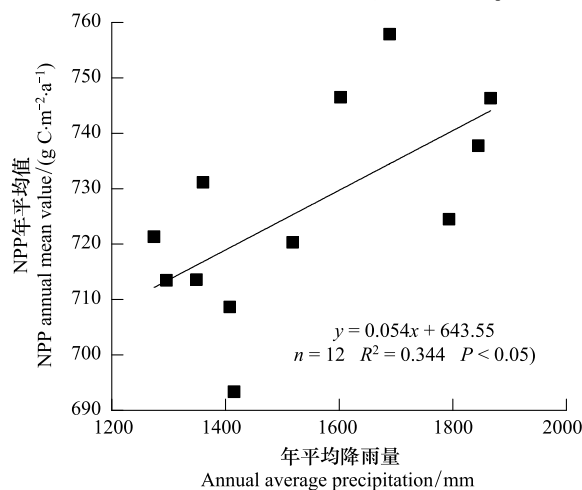


图 5 全区近 12 年年均降水与 NPP 变化的相关关系

Fig.5 The relationship between annual rainfall and NPP from 2000 to 2011 in Guangxi province

负相关关系的只占 9.63%,其中关系达到显著的只有 0.1%。

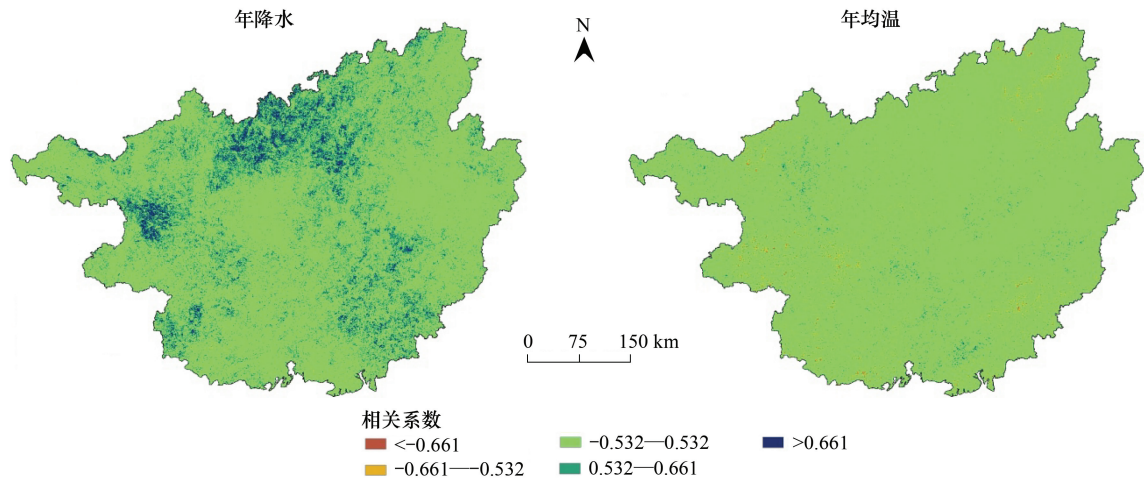


图 6 2000—2011 年广西区年 NPP 与气候因子的相关关系

Fig.6 Correlation relationship between annual NPP and climate factors in Guangxi during 2000—2011

4.1.2 温度对 NPP 变化的影响

NPP 与年均温呈负相关关系,表明随着温度的升高,植被 NPP 在减少,但二者的相关性不显著。图 6 显示了广西 NPP 与年均温相关系数的空间分布图,从图中可以看出全区大部分地区 NPP 与年均温相关性不明显,占全区总面积的 96.65%。全区 2.27%的地区 NPP 与年均温呈现显著负相关关系,主要分布在桂林市的中北部、百色市南部以及玉林市中部等地区。NPP 与年均温呈现显著正相关的区域约占 1.08%,在全区范围内零散分布。由以上分析可以看出,全区植被净初级生产力变化受降雨影响较大,受温度影响不明显。

4.2 不同植被类型对 NPP 变化的影响

根据 1:100 万植被类型图对 NPP 变化趋势及其与气候因子的相关性进行划分,由表 3 可以看出,除植被类型为针叶林、灌丛、草丛出现下降趋势以外,其它的都呈缓慢上升趋势。其中,植被类型为栽培植被的上升趋势最高,而植被类型为草地的下降趋势最大。

表 3 不同植被类型的 NPP 变化

Table 3 NPP trend with different vegetation types

植被大类 IVegetation types	NPP_trend
针叶林 Coniferous forests	-0.011
灌丛 Shrub	-0.015
阔叶林 Broadleaf forests	0.010
栽培植被 Cultural vegetation	0.014
草地 Grassland	-0.021
其它 Others	0.003

NPP_trend 表示 NPP 变化趋势

4.3 不同土壤类型对 NPP 变化的影响

不同土壤类型的土壤肥力也不同,而土壤肥力的高低直接影响植被生长状况,因此本文根据土壤类型的不同来分析 NPP 变化。根据 1:100 万土壤类型图进行划分,除城区以外全区土类共有 19 种,其中红壤、赤红壤以及石灰(岩)土分布最多,分别占全区的 29.76%、23.23%和 16.39%。由广西主要土壤类型区的 NPP 变化可以看出,近 12 年来红壤区增加最快,而石灰土地区 NPP 呈现下降趋势(表 4)。

表 4 不同土壤类型的 NPP 变化趋势

Table 4 The NPP trend with different soil type

土类 Soil types	NPP_trend
砖红壤 Latosol	0.001
赤红壤 Latosolic red earth	0.008
红壤 Red earth	0.018
黄壤 Yellow earths	0.014
水稻土 Paddy soils	0.012
石灰土 Limestone soils	-0.019

4.4 不同海拔高度对 NPP 的影响

地形因素是环境以及植被异质性格局的重要影响因素之一,它一般通过不同的过程控制其水热条件和土壤条件,影响其它环境变量进而对区域植被格局产生重要影响^[24-28]。广西全区地形复杂,喀斯特地貌突出,因此,分析不同海拔高度对 NPP 变化影响具有重要意义。

本文将全区按照海拔高度的不同每隔 100m 划

分一个等级,共 21 个等级^[29-30],并对不同等级的 NPP 值进行统计分析(图 7)。由图 7 中可以看出,NPP 随着海拔高度的不同变化比较明显,总体变化趋势随着海拔的增高而逐渐增高,其变化可分为四段:海拔 0—500m,NPP 平均值随海拔的升高而陡然上升;在海拔 500—1300m 之间,NPP 上升较为缓慢,并出现轻微的上下波动,但 NPP 值基本保持在 770—840 $\text{g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$ 之间;而海拔 1300—1800m 时,NPP 下降到 735 $\text{g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$;NPP 在海拔 1800m 以上又快速上升至 958 $\text{g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$ 。出现这种现象的主要原因是由于一方面在海拔 500m 以下,人类活动较强,该区 NPP 变化的主要因素表现为人类活动。另一方面是由于广西地形复杂,喀斯特地貌突出,植被类型分布受到海拔高度的影响较大,在 1300—1800m 处,由于这一范围大部分地区位于云贵高原的过渡区域,植被 NPP 相对较低,而在海拔 1800m 以上植被类型基本以灌木林为主,植被 NPP 普遍较高,因此出现了 NPP 随海拔高度的升高而出现如图 7 所示的现象。

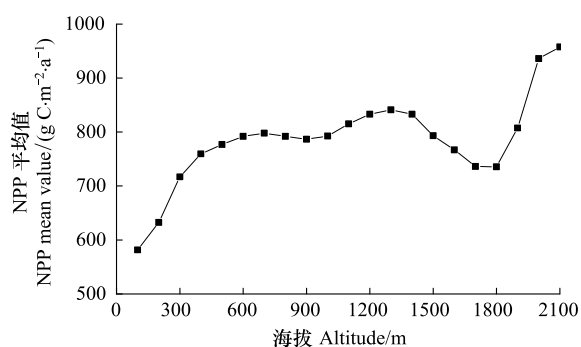


图 7 海拔高度对 NPP 的影响

Fig.7 Effects of altitude on the NPP

4.5 人类活动对 NPP 变化的影响

虽然气候环境变化是广西植被 NPP 时空变化的重要影响因素,但近年来人类活动的不断增强对植被生产力水平的影响也越来越大。农业生产和经济水平的提高,使植被覆盖及其生产力水平发生了很大变化^[28,31]。由于很难定量化的研究人类活动,本文主要从农业生产和土地利用类型方面来研究人类对该区植被 NPP 变化产生的影响。

根据广西土地利用类型图提取农作物耕作区 NPP 值,近 12 年来农业耕作区 NPP 值逐渐增长,平均增长斜率为 0.011,同期统计数据表明农作物单位

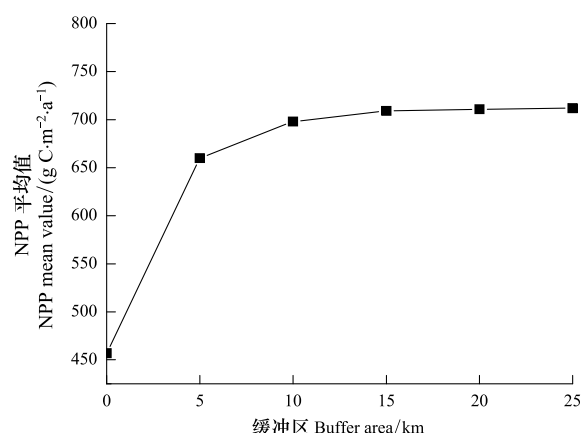


图 8 城镇缓冲区对 NPP 的影响

Fig.8 Effects of different buffer area of the town on NPP in Guangxi province

面积产量呈缓慢上升趋势,其增长斜率为 0.022^[32]。对提取城镇(人类主要活动区)NPP 值,同时提取城镇周边缓冲区为 1、5、10、15、20km 的 NPP 值。由图 8 可以看出,在城镇周边 5km 以内,NPP 值增加较快,从 457 $\text{g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$ 增加到 660 $\text{g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$,城市周边 5km 以上变化较小,在 10km 以外的区域 NPP 几乎没有变化。

5 结论和讨论

近 12 年来广西植被 NPP 整体呈缓慢上升趋势,变化不显著。其中广西西南部地区 NPP 上升较为明显;而东北部的桂林、柳州等地区呈减少趋势,部分地区下降趋势小于 -0.05。植被 NPP 变化的影响因素很多,降水量的多少是影响 NPP 变化最主要的气候因子,气温对 NPP 变化的影响较小。不同的植被类型中,栽培植被的 NPP 上升趋势较为明显,受气候因素的影响较大,与降水量具有显著正相关关系,但与气温相关性不明显;针叶林和阔叶林受气候因素的影响相对较小。对农业植被而言,由于人类活动的频繁干预大大降低了气候环境对 NPP 变化的影响程度,而化肥农药的大量使用以及农业耕作水平的不断提高,致使农业耕作区 NPP 变化在很大程度上体现为人类活动的影响,而对气候因子的依赖性逐渐降低。

不同土壤类型中,土壤类型为红壤地区的 NPP 增长较为明显,石灰土地区的 NPP 下降较为明显,主要原因是由于该土壤类型大多分布在山前交接洼地、岗丘间洼地或是边缘山丘地区,农业基本建设

差、生态条件不良,对气候自然条件的依赖性相对较高,致使该区域的植被 NPP 会随着降水的减少而降低。海拔高度主要通过控制土壤、水热条件,影响其它环境变量进而对植被分布格局产生一定的影响。研究表明全区 NPP 平均值与海拔高度具有显著正相关关系,且 NPP 对降水的响应随海拔的升高而出现有规律的波动。

以上研究表明 2000—2011 年广西全区 NPP 有所改善,在西南部地区 NPP 上升较为明显,而桂林、柳州等地区 NPP 呈缓慢下降趋势;植被 NPP 变化是气候、环境变化和人为影响因素综合作用的结果,降水和海拔对 NPP 值及其变化的影响相对较大;NPP 时空变化特征随植被类型和土壤类型的不同而不同,但在农业生产和生态建设等人类活动的影响下,人类活动逐渐成为影响 NPP 变化的主导因素。

References:

- [1] Ebermeyr E. Die Gesamte Lehre Der Waldstreu Mit Rücksicht Auf Die Chemische Statik Des Waldbaues. Berlin: Julius Springer, 1876: 116-116.
- [2] Ruimy A, Saugier B, Dedieu G. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984—2012), 1994, 99(D3): 5263-5283.
- [3] Schuur E A G. Productivity and global climate revisited: the sensitivity of tropical forest growth to precipitation. *Ecology*, 2003, 84(5): 1165-1170.
- [4] Mu S J, Li J L, Yang H F, Gang C C, Chen Y Z. Spatio-temporal variation analysis of grassland net primary productivity and its relationship with climate over the past 10 years in Inner Mongolia. *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, 22(3): 6-15.
- [5] Mu S J, Li J L, Zhou W, Yang H F, Zhang C B, Ju W M. Spatial-temporal distribution of net primary productivity and its relationship with climate factors in Inner Mongolia from 2001 to 2010. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(12): 3752-3764.
- [6] Cao M K, Woodward F I. Dynamic responses of terrestrial ecosystem carbon cycling to global climate change. *Nature*, 1998, 393(6682): 249-252.
- [7] McGuire A D, Melillo J M, Joyce L A, Kicklighter D W, Grace A L, Moore III G B, Vorosmarty C J. Interactions between carbon and nitrogen dynamics in estimating net primary productivity for potential vegetation in North America. *Global Biogeochemical Cycles*, 1992, 6(2): 101-124.
- [8] Cramer W, Kicklighter D W, Bondeau A, Iii B M, Churkina G, Nemry B, Ruimy A, Schloss A L, Intercomparison ThE P OF ThE P NpP M. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results. *Global Change Biology*, 1999, 5(S1): 1-15.
- [9] Huston M A. Precipitation, soils, NPP, and biodiversity: resurrection of Albrecht's curve. *Ecological Monographs*, 2012, 82(3): 277-296.
- [10] Zhang Y J, Zhou G S. Exploring the effects of water on vegetation change and net primary productivity along the IGBP Northeast China Transect. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 62(7): 1481-1490.
- [11] Pan T, Wu S H, He D M, Dai E F, Liu Y J. Effects of longitudinal range-gorge terrain on the eco-geographical pattern in Southwest China. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(5): 825-842.
- [12] Li Y L, Pan X Z, Zhou R, Wang C K, Liu Y, Shi R J, Chen D F, Zhao Q G. Long-term changes of soil fertility factors and their relationships with NDVI. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(3): 536-541.
- [13] Zhao Q G, Huang G Q, Ma Y Q. The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(24): 7615-7622.
- [14] Zhu W Q, Pan Y Z, Zhang J S. Estimation of net primary productivity of Chinese terrestrial vegetation based on remote sensing. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(3): 413-424.
- [15] Kuang X Y, Su Z, Tu F X. Climate regionalization of Guangxi. *Guangxi Sciences*, 2007, 14(3): 278-283.
- [16] Zhu W Q, Pan Y Z, He H, Yu D Y, Hu H B. Simulation of maximum light use efficiency for some typical vegetation types in China. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(4): 457-463.
- [17] Dong D, Ni J. Modeling changes of net primary productivity of karst vegetation in southwestern China using the CASA model. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(7): 1855-1866.
- [18] Running S W, Thornton P E, Nemani R, Glassy J M. Global terrestrial gross and net primary productivity from the earth observing system // *Methods in Ecosystem Science*. New York: Springer, 2000: 44-57.
- [19] Nemani R R, Keeling C D, Hashimoto H, Jolly W M, Piper S C, Tucker C J, Myneni R B, Running S W. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science*, 2003, 300(5625): 1560-1563.
- [20] Mohamed M A A, Babiker I S, Chen Z M, Ikeda K, Ohta K, Kato K. The role of climate variability in the inter-annual variation of terrestrial net primary production (NPP). *Science of Total Environment*, 2004, 332(1/3): 123-137.
- [21] Xu H M, Gao Q Z, Huang Y M, Jia H K. Simulated the impact of climate change on net primary production in hilly area of Loess Plateau, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 2938-2947.
- [22] Zhao J F, Yan X D, Jia G S. Simulating the responses of forest net primary productivity and carbon budget to climate change in

- Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 92-102.
- [23] Shi Y F, Shen Y P, Hu R J. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China. *Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(3): 219-226.
- [24] Garcia-Aguirre M C, Ortiz M A, Zamorano J J, Reyes Y. Vegetation and landform relationships at Ajusco volcano Mexico, using a geographic information system (GIS). *Forest Ecology and Management*, 2007, 239(1/3): 1-12.
- [25] García-Romero A, Aceves-Quesada J F, Arredondo-León C. Landform instability and land-use dynamics in tropical high mountains, Central Mexico. *Journal of Mountain Science*, 2012, 9(3): 414-430.
- [26] Wu D Q, Liu J, Wang W, Ding W J, Wang R Q. Mutiscale analysis of vegetation index and topographic variables in the Yellow River delta of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(2): 237-245.
- [27] Bian J H, Li A N, Deng W. Estimation and analysis of net primary Productivity of Ruogai wetland in China for the recent 10 years based on remote sensing. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, 2: 288-301.
- [28] Yang G H, Bao A M, Chen X, Liu H L, Huang Y, Dai S Y. Study of the vegetation cover change and its driving factors over Xinjiang during 1998—2007. *Glaciology and Geocryology*, 2009, 31(3): 436-445.
- [29] Liu X, Xu J B, Hu Y M, Xi R B, Li H X. Correlation analysis on soil total phosphorus contents and terrain indices of lateritic red soil in Guangdong province based on DEM. *Soils*, 2009, 41(6): 1014-1017.
- [30] Yang X, Tang G A, Liu X J, Li F Y, Zhu S J. Digital terrain analysis: theory, method and application. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(9): 1058-1070.
- [31] Vicente-Serrano S M, Lasanta T, Romo A. Analysis of spatial and temporal evolution of vegetation cover in the Spanish central Pyrenees: role of human management. *Environmental Management*, 2005, 34(6): 802-818.
- [32] Qiu Z Q. *Guangxi Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2011.
- 参考文献:**
- [4] 穆少杰, 李建龙, 杨红飞, 刚成诚, 陈奕兆. 内蒙古草地生态系统近 10 年 NPP 时空变化及其与气候的关系. *草业学报*, 2013, 22(3): 6-15.
- [5] 穆少杰, 李建龙, 周伟, 杨红飞, 章超斌, 居为民. 2001-2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系. *生态学报*, 2013, 33(12): 3752-3764.
- [12] 李燕丽, 潘贤章, 周睿, 王昌昆, 刘娅, 石荣杰, 陈冬峰, 赵其国. 长期土壤肥力因子变化及其与植被指数耦合关系. *生态学杂志*, 2013, 32(3): 536-541.
- [13] 赵其国, 黄国勤, 马艳芹. 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策. *生态学报*, 2013, 33(24): 7615-7622.
- [14] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算. *植物生态学报*, 2007, 31(3): 413-424.
- [15] 况雪源, 苏志, 涂方旭. 广西气候区划. *广西科学*, 2007, 14(3): 278-283.
- [16] 朱文泉, 潘耀忠, 何浩, 于德永, 扈海波. 中国典型植被最大光利用率模拟. *科学通报*, 2006, 51(6): 700-706.
- [17] 董丹, 倪健. 利用 CASA 模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力. *生态学报*, 2011, 31(7): 1855-1866.
- [21] 许红梅, 高清竹, 黄永梅, 贾海坤. 气候变化对黄土丘陵沟壑区植被净第一性生产力的影响模拟. *生态学报*, 2006, 26(9): 2938-2947.
- [22] 赵俊芳, 延晓冬, 贾根锁. 东北森林净第一性生产力与碳收支对气候变化的响应. *生态学报*, 2008, 28(1): 92-102.
- [23] 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨. *冰川冻土*, 2002, 24(3): 219-226.
- [26] 吴大千, 刘建, 王炜, 丁文娟, 王仁卿. 黄河三角洲植被指数与地形要素的多尺度分析. *植物生态学报*, 2009, 33(2): 237-245.
- [28] 杨光华, 包安明, 陈曦, 刘海隆, 黄莹, 代述勇. 1998-2007 年新疆植被覆盖变化及驱动因素分析. *冰川冻土*, 2009, 31(3): 436-445.
- [29] 刘序, 徐剑波, 胡月明, 席荣宾, 李华兴. 基于 DEM 的广东省赤红壤全磷与地形因子相关分析. *土壤*, 2009, 41(6): 1014-1017.
- [30] 杨昕, 汤国安, 刘学军, 李发源, 祝士杰. 数字地形分析的理论、方法与应用. *地理学报*, 2009, 64(9): 1058-1070.
- [32] 邱祖强. *广西统计年鉴*. 北京: 中国统计出版社, 2011.