

# 基于 MOD17A3 的南岭山地森林区植被 NPP 时空分异分析

李恒凯, 欧 彬, 刘雨婷

(江西理工大学 建筑与测绘工程学院, 江西 赣州 341000)

**摘 要:**作为水源涵养型重点生态功能区,南岭山地森林区生态环境较为脆弱,面临生态功能退化问题。以 2001—2013 年 MOD17A3 的年均植被净初级生产力(NPP)数据和降水、气温资料为基础,通过遥感和 GIS 技术,对南岭山地森林区植被 NPP 时空分异特征进行定量分析。结果表明,2001—2013 年南岭山地森林区年均植被 NPP 变化范围为  $578.45 \sim 727.37 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,平均值为  $640.39 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,年均植被 NPP 在南岭分布东部高,中部和西部较低;南岭植被生长状况总体东部较好,中部和西部呈现不同程度的退化,植被 NPP 波动剧烈的地区和矿山开采等人为活动关系密切;南岭东部地区受气温影响较大,中部受降水影响较大,西部同时受降水和气温的影响,而植被 NPP 波动剧烈的地区受降水和气温的影响不大,可能受人为因素的影响。

**关键词:**南岭山地森林区;植被 NPP;时空分异;变异系数

**中图分类号:**S757.3      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2017)06-0197-06

## Temporal and Spatial Variation of Vegetation NPP in Nanling Based on MOD17A3

LI Heng-kai, OU Bin, LIU Yu-ting

(Faculty of Architectural and Surveying Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

**Abstract:** As a key ecological function zone of water conservation, the ecological environment of Nanling is fragile, ecological function trends to be degraded. By means of average annual net primary productivity (NPP) data of MOD17A3 dataset and the data of precipitation and temperature from 2001 to 2013 and by RS and GIS technology quantitative analysis, the temporal and spatial variation of vegetation NPP in Nanling were analyzed. The results indicated that the vegetation NPP in Nanling ranged from 578.45 to 727.37  $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , with an average of  $640.39 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ . The average annual NPP was higher in the eastern and lower in the middle and west regions of Nanling. The growth status of Nanling vegetation was good in east region, while in central and western region, it showed different degrees of degradation, the area of vegetation NPP volatility was closely related to mine exploitation and others activities of human being. NPP in the eastern part of Nanling was affected by the temperature, in the middle part however, it was affected by the precipitation, and in the west part, it was affected by precipitation and temperature, but the area of vegetation NPP volatility had little influence by the precipitation and temperature, which was probably influenced by human activities.

**Key words:** Nanling; vegetation NPP; temporal and spatial variation; variation coefficient

植被净初级生产力(net primary productivity, NPP)是指绿色植物在单位时间、单位面积内所累积的有机物数量,是植物光合作用所产生的有机质总

量减去自养呼吸后的剩余部分<sup>[1]</sup>。NPP 可反映植被对大气中二氧化碳固定的能力,是地表碳循环的重要组成部分,也能够反映群落生活地域环境和相

应的植被生态生理过程,是区域生态功能的重要量化因子<sup>[2-3]</sup>。MOD17A3 的 NPP 产品具有生理生态机制清楚、可以模拟和预测全球变化对 NPP 的影响、估算结果较精准等特点,在全球不同区域对植被生长状况、生物量的估算、环境监测和全球变化等研究中得到验证和广泛应用<sup>[4-5]</sup>。由于不同区域和不同气候的变化会导致各区域植被 NPP 空间分异的特殊性,一些学者采用 MOD17A3 数据,开展了区域植被 NPP 的研究<sup>[6-10]</sup>。区域植被 NPP 的时空变化特征,有助于特定区域植被 NPP 的理解与认识。南岭山地森林区主体在南岭山脉,属水源涵养型重点生态功能区,是湘江、赣江、东江、北江、西江等河流发源地,是江西、广东、湖南和广西四省的重要生态屏障。由于该区域人类活动及长期以来强调农业生产,造成原生型森林植被的破坏,该区域在《全国主体功能区规划》的生态脆弱性评价中,处于中度和轻度脆弱区,生态功能出现退化。因此,分析南岭山地森林区植被 NPP 的时空分异,对于该区域生态环境保护具有重要意义。本研究以 2001—2013 年 MOD17A3 植被 NPP 数据和降水、气温数据为基础,利用遥感和 GIS 技术对南岭山地丘陵区植被 NPP 进行时空分异分析,为该区域生态系统评价、生态保护与可持续发展规划提供科学依据。

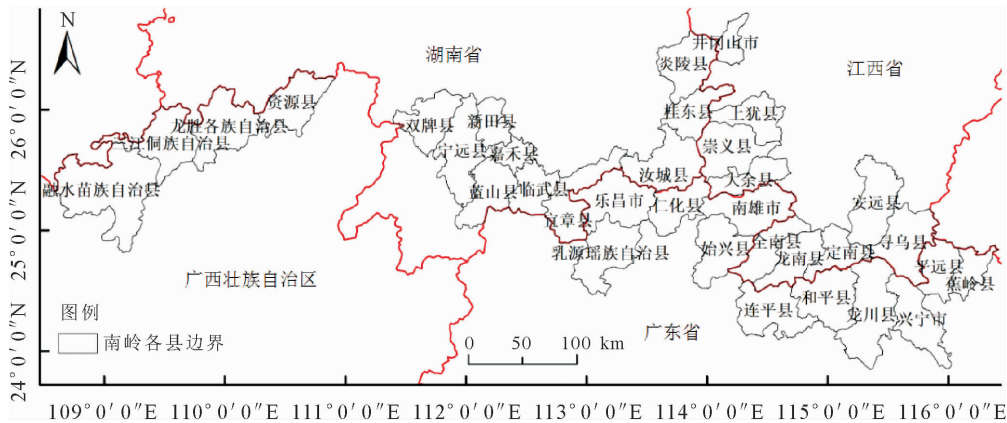


图 1 南岭山地森林区位置

Fig. 1 Location map of Nanling

## 2 材料与方法

### 2.1 数据来源及处理

所用的遥感数据为来自美国 NASA EOS/MODIS 的 2001—2013 年 MOD17A3 数据,空间分辨率为 1 km。该数据运用生物地球化学模型 BIOME-BGC 估算出全球陆地植被年 NPP,已在全球和区域 NPP 研究中广泛应用。气象资料来自中国气象数据网,包括 9 个气象站点的 2001—2013 年的年均降水和气温数据,数据都经过初步的质量控制。

## 1 研究区概况

南岭山地森林区位于湘桂、湘粤、赣粤交界处,行政区划包括江西、湖南、广东和广西等 4 省(区)34 县(图 1),总面积 66 772 km<sup>2</sup>(24°00′—26°30′N, 109°—116°E),总人口 1 280.4 万人。其区域主体在南岭山脉,西起广西壮族自治区西北部,经湖南省南部、江西省南部至广东省北部,东西绵延 1 400 km。本区属亚热带季风气候,区内降水丰富,年降水量达 1 500~2 000 mm。作为水源涵养型重点生态功能区,为江西、广东、湖南和广西四省重要的水源涵养区,亚热带常绿阔叶林集中分布区和生物多样性保护保存重点区域,是珠江和长江水系的重要源头,为四省的重要生态屏障。地带性土壤为红壤,地带性植被为亚热带常绿阔叶林,林地占总面积 80.3%,但主要以残次林、低质低效林为主,森林资源的质量不高,林地生产力低,森林生态系统整体功能较为脆弱,生态功能未得到充分发挥。另外,由于红壤本底及区域人类活动,近年来,该区域水土流失严重,石漠化和沙化加剧,自然灾害频发,矿区开采对地表和植被破坏加剧,生物多样性减少,生态保护和建设处于关键时期。

由于南岭山地森林区横跨广东、江西、湖南和广西四省,范围较大,MOD17A3 数据是以分幅的形式保存,因此,选用 h27v06 和 h28v06 两幅共 13 a 的数据。首先利用 MODIS Reprojection Tool(MRT)对 MOD17A3 数据进行拼接,然后对 MOD17A3 数据进行投影转换,最后利用 ENVI 软件以南岭山地森林区矢量边界为基础进行裁剪,提取研究区的 NPP 数据。为与遥感数据进行匹配,在 ARCGIS 软件中将降水和气温数据插值成空间分辨率为 1 km 的地理投影栅格数据<sup>[11]</sup>。

2.2 研究方法

从两个方面对南岭山地森林区植被 NPP 进行时空分异分析:①采用一元线性回归法<sup>[7,12]</sup>与变异系数法<sup>[13]</sup>对比分析 2001—2013 年 13 a 植被 NPP 的总体变化趋势及波动变化特征。②采用 Pearson 系数法<sup>[14-15]</sup>分析南岭植被 NPP 与降水和气温的关系。

一元线性回归法能够反映 2 个变量之间的线性关系。采用一元线性回归法对 13 a 每个像元的年均 NPP 与年份进行回归分析,获得 13 a NPP 的趋势线斜率,从而分析植被 NPP 的总体变化趋势<sup>[12]</sup>。

$$\beta = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times NPP_i - \sum_{i=1}^n i \times \sum_{i=1}^n NPP_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中,β 为趋势线斜率,n 为年份,n=13,NPP<sub>i</sub> 为第 i 年的 NPP 值。β 值的正负表示 NPP 年际变化的上升或下降的速率,β 为正表示 NPP 上升,反之表示下降。再利用 β 值来求出 NPP 的变化百分率,计算公式为<sup>[7]</sup>

$$NPP_b = \beta / NPP_{avg} \times 13 \times 100\% \quad (2)$$

$$NPP_{avg} = \sum_{i=1}^n NPP_i / 13 \quad (3)$$

式中,NPP<sub>b</sub> 为 NPP 变化百分率(%),NPP<sub>avg</sub> 为 2001—2013 年 NPP 平均值。

变异系数(coefficient of variation,简称 CV)是衡量序列中各观测值变异程度的一个统计量,采用变异系数法分析南岭植被 NPP 的在 13 a 的空间波动特征<sup>[13]</sup>。

$$CV = \frac{\sigma}{NPP_{avg}} \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (NPP_i - NPP_{avg})^2} \quad (5)$$

式中,CV 为 NPP 变异系数,σ 为 NPP 标准差。

皮尔逊(Pearson)相关系数是一种度量两个变量间相关程度的方法。采用 Pearson 系数法分析南岭植被 NPP 与降水和气温的关系<sup>[14-15]</sup>。

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (NPP_i - NPP_{avg})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (NPP_i - NPP_{avg})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6)$$

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / 13 \quad (7)$$

式中,r<sub>xy</sub> 为 NPP 与降水或气温的相关系数,y<sub>i</sub> 为第 i 年的降水或气温, $\bar{y}$  为 2001—2013 年平均降水量或者平均气温。主要考虑对 r<sub>xy</sub> 进行 P<0.1 和 P<0.05 的置信度水平检验。

3 结果与分析

3.1 南岭植被 NPP 时间变化特征

3.1.1 植被 NPP 年际变化 通过对 MOD17A3 数

据逐年进行研究区矢量边界掩膜处理,统计得到植被 NPP 年际变化曲线(图 2)。2001—2013 年南岭年均植被 NPP 变化范围为 578.45~727.37 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,平均值为 640.39 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>。其中,峰值出现在 2004 年,2006 年和 2010 年,分别为 727.37 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,651.69 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>和 621.19 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,最高点出现在 2004 年。谷值出现在 2003 年,2005 年和 2011 年,分别为 641.32 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,610.23 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>和 578.45 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,最低点出现在 2011 年。南岭植被 NPP 在 13 a 间呈现先增加后减小再增加。

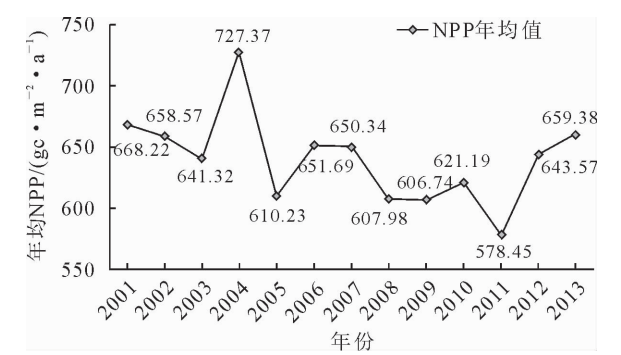


图 2 2001—2013 年南岭植被 NPP 年际变化

Fig. 2 Annual variation of NPP in Nanling during 2001~2013

3.1.2 年均植被 NPP 分布特征 根据式(3)计算出 2001—2013 年 13 a 的南岭年均植被 NPP 值(图 3)。由于受经纬度地带性植被、气候等因素的影响,南岭年均植被 NPP 总体呈现东部高,中部和西部较低,其中广东省东北部,江西省南部地区年均植被 NPP 普遍超过 800 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,整体 NPP 较中部和西部高。湖南省南部地区年均植被 NPP 分布在 400~800 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>之间,其中与广东省接壤的地区,如汝城县、宜章县,其植被 NPP 值较高,达到 600~800 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>之间。广西各县年均植被 NPP 分布在 400~1 000 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,融水县南部地区植被 NPP 值能达到 800 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>以上,整体西部 NPP 较中部高。

3.2 南岭植被 NPP 空间变化特征

根据一元线性回归公式(1)和变化百分率公式(2)计算 13 a 南岭植被 NPP 变化百分率(图 4)可以看出,南岭植被生长状况的总体变化东西部差异明显,小于-10%代表植被生长状况总体呈退化趋势,-10%~10%代表植被生长状况较为稳定,>10%代表植被生长状况得以改善。南岭植被 NPP 的变化幅度大于 10%的区域零星分布在东部地区,面积仅占南岭的 1.79%;植被 NPP 的变化幅度在-10%~10%的区域多分布在广东省东北部、江西省南部和湖南省的宁远县、新田县、嘉禾县和蓝山县北

部等地,面积占南岭的 53.95%;植被 NPP 变化幅度 $<-10\%$ 的区域主要分布在广西大部分地区,湖南省双牌县、蓝山县南部、临武县、汝城县、桂东县和炎陵县等地,还有江西省井冈山、上犹县、崇义县和

大余县等地,面积占南岭的44.26%。通过分析可以得出在 2001—2013 年间植被 NPP 总体变化趋势东部较小,中部和西部变化程度较大且植被总体呈现退化趋势。

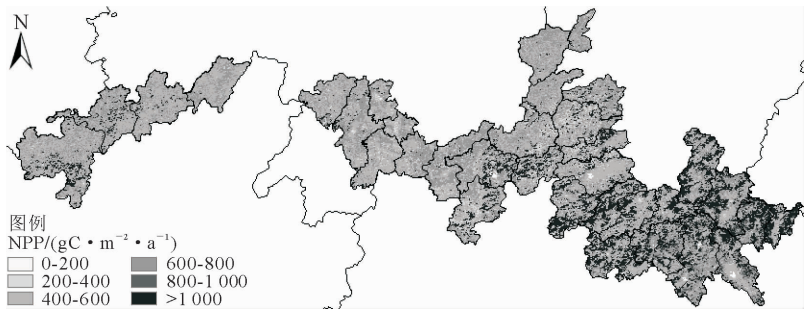


图 3 2001—2013 年南岭年均植被 NPP 分布

Fig. 3 Distribution of the average annual vegetation NPP in Nanling during 2001~2013



图 4 2001—2013 年南岭植被 NPP 变化百分率

Fig. 4 Changing percentages of vegetation NPP in Nanling during 2001~2013

根据式(4)计算得出 2001—2013 年南岭植被 NPP 变异系数的空间分布(图 5)。湖南省的双牌县、蓝山县南部、临武县南部等地,江西省的上犹县、崇义县和大余县等地变异系数较大,说明该地区植被 NPP 的波动较为剧烈。南岭东部和西部等大部分地区变异系数相对较小,说明该地区植被 NPP 的

波动较小,生态系统较为稳定。结合图 4 可以看出,南岭植被 NPP 变化趋势较小的东部其变异系数值较小,南岭中部和西部植被呈现退化趋势的地区其变异系数较大,可见南岭植被 NPP 在 2001—2013 年间波动程度大小跟植被的生长状况密切相关,直接或间接地影响了生态系统的稳定。

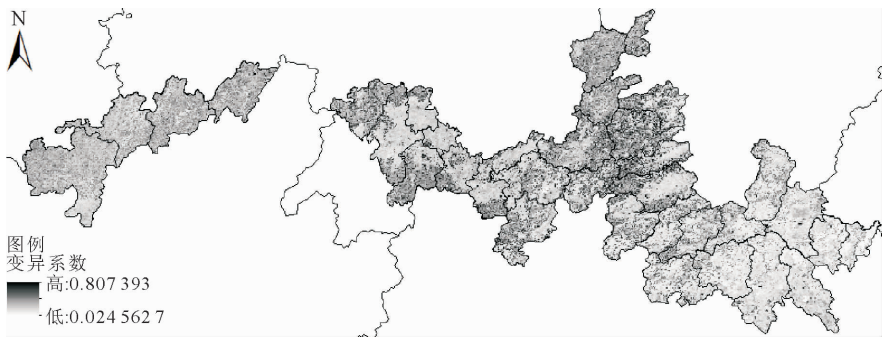


图 5 2001—2013 年南岭植被 NPP 变异系数空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of vegetation coefficient of NPP in Nanling during 2001~2013

3.3 南岭植被 NPP 与气候的关系

根据式(6)逐像元计算 2001—2013 年间植被 NPP 与总降水量和年平均气温之间的相关系数(图 6)结果表明,降水和气温与植被 NPP 的相关性有正

负相关性共存并具有一定的地域差异性。其中占南岭总面积 63.51%的植被 NPP 和降水呈正相关,有 50.27%和 43.93%的面积通过  $P<0.1$  和  $P<0.05$  检验,主要集中在南岭中部和西部地区,由于海拔较



高(1 500~1 700 m)区域分布有高山草甸和亚高山草甸以及高山沼泽湿地等因素的影响,受人为干扰较小,对降水的响应更强;与降水呈负相关的区域仅有 3.69%和 1.59%的面积通过  $P<0.1$  和  $P<0.05$  检验,说明该区域大部分的植被 NPP 与降水达不到置信水平。同样地,占南岭总面积 67.98%的植被 NPP 和年均气温呈正相关,有 64.65%和 60.01%的面积通过  $P<0.1$  和  $P<0.05$  检验,主要集中在南岭东部和西部地区,由于该区域范围拥有大面积的森林,河流、湖泊和库塘湿地众多,水资源极为丰富,对气温的响应更强;与年均气温呈负相关的区域仅

有 0.49%和 0.22%的面积通过  $P<0.1$  和  $P<0.05$  检验,说明该区域大部分的植被 NPP 与气温达不到置信水平。

南岭地区无论是降水还是气温,与植被 NPP 的相关系数均表现出正相关性远大于负相关性。结合图 5 和图 6 可以看出,变异系数较大的区域,植被 NPP 与降水和气温的相关性都不明显,即波动剧烈的地区受降水和气温的影响不大。波动剧烈的地区其植被 NPP 可能受经济发展水平、耕作方式、施肥灌溉等人为因素的影响。

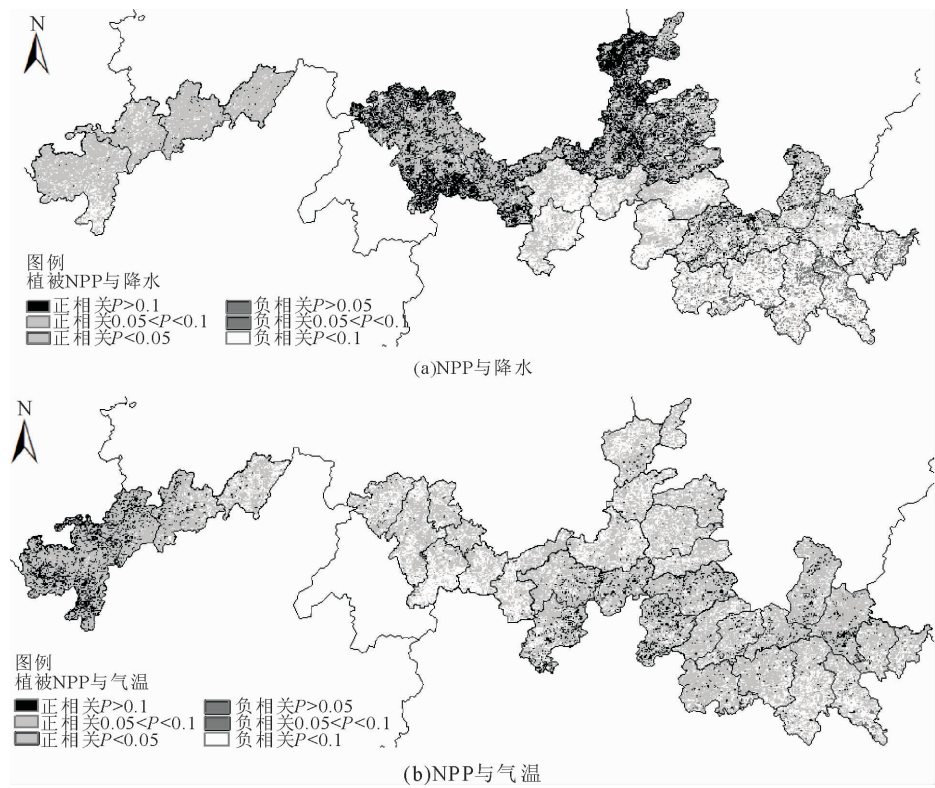


图 6 2001—2013 年南岭植被 NPP 与气候因子的相关性置信度水平

Fig. 6 Relevant confidence level of vegetation NPP and climatic factors in Nanling during 2001~2013

4 结论与讨论

利用 2001—2013 年 MOD17A3 的年均植被 NPP 数据,通过遥感和 GIS 技术,对南岭山地森林区植被 NPP 时空分异特征进行定量分析。

1)2001—2013 年南岭年均植被 NPP 呈波动性变化。年均植被 NPP 总体呈现出东部高,中部和西部较低,空间分布不均衡。南岭植被生长状况的总体变化东西部差异明显,其中东部变化程度较小,中部和西部变化程度较大且植被总体呈现退化趋势,采矿活动是导致地表植被急剧变化的主要原因。

2)南岭的东部受气温影响较大,中部受降水影响较大,西部同时受降水和气温的影响。植被 NPP

波动剧烈的地区受降水和气温的影响不大,主要受人为因素的影响。

对南岭植被 NPP 扰动较大地区有针对地治理,为区域森林及生物多样性生态功能区生态保护与建设规划提供依据。

参考文献:

[1] 龙慧灵,李晓兵,王宏,等. 内蒙古草原区植被净初级生产力及其与气候的关系[J]. 生态学报,2010,30(5):1367-1378.  
LONG H L,LI X B,WANG H,et al. Net primary productivity (NPP) of grassland ecosystem and its relationship with climate in Inner Mongolia[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30 (5): 1367-1378. (in Chinese)  
[2] FIEID C B,BEHRNFELD M J,RANDERSON J T et al. Pri-

mary production of the biosphere; Integrating terrestrial and oceanic components [J]. *Science*, 1998, 281(5374): 237-240.

[3] FIEID C B, RANDERSON J T, MALMSTROM C M. 1995. Global net primary production: combining ecology and remote sensing[J]. *Remote Sensing Environment*, 1995, 51(1): 74-97.

[4] TURNER D P, RITTS W D, COHEN W B, *et al.* Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 102(3/4): 282-292.

[5] FENSHOLT R, SANDHOLT I, RASMUSSEN M S, *et al.* Evaluation of satellite based primary production modelling in the semi-arid Sahel[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 105(3): 173-188.

[6] 崔林丽, 杜华强, 史军, 等. 中国东南部植被 NPP 的时空格局变化及其与气候的关系研究[J]. *地理科学*, 2016, 36(5): 787-793.  
CUI L L, DU H Q, SHI J, *et al.* Spatial and temporal pattern of vegetation NPP and its relationship with climate in the south-eastern China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(5): 787-793. (in Chinese)

[7] 李登科, 范建忠, 王娟, 等. 基于 MOD17A3 的陕西省植被 NPP 变化特征[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(12): 2776-2782.  
LI D K, FAN J Z, WANG Juan, *et al.* Variation characteristics of vegetation net primary productivity in Shaanxi Province based on MO17A3[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(12): 2776-2782. (in Chinese)

[8] 谢宝妮, 秦占飞, 王洋, 等. 黄土高原植被净初级生产力时空变化及其影响因素[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(11): 244-253.  
XIE B N, QIN Z F, WANG Y, *et al.* Spatial and temporal variation in terrestrial net primary productivity on Chinese Loess Plateau and its influential factors [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 30(12): 2776-2782. (in Chinese)

[9] 刘琳, 李月臣, 朱翠霞, 等. 2001—2010 年重庆地区植被 NPP 时空变化特征及其与气候因子的关系[J]. *遥感信息*, 2013, 28(5): 99-108.  
LIU L, LI Y C, ZHU C X, *et al.* The spatio-temporal variation characteristics of vegetation NPP in Chongqing and its relation with climatic factors from 2001 to 2010 [J]. *Remote Sensing Information*, 2013, 28(5): 99-108. (in Chinese)

[10] 李传华, 赵军. 2000—2010 年石羊河流域 NPP 时空变化及驱动因子[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(3): 712-718.  
LI C H, ZHAO Jun. Spatiotemporal variations of vegetation NPP and related driving factors in Shiyang River basin of northwest China in 2000-2010[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(3): 712-718. (in Chinese)

[11] 王娟, 卓静, 何慧娟, 等. 2000-2013 年秦岭林区植被净初级生产力时空分布特征及其驱动因素[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(5): 238-245.  
WANG J, ZHUO J, HE H J, *et al.* Changes of vegetation net primary productivity and its driving factors from 2000 to 2013 in Qinling Mountainous area [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(5): 238-245. (in Chinese)

[12] 田永生, 郭阳耀, 张培栋, 等. 区域净初级生产力动态及其与气象因子的关系[J]. *草业科学*, 2010, 27(2): 8-17.  
TIAN Y S, GUO Y Y, ZHANG P D, *et al.* Relationship of regional net primary productivity and related meteorological factors [J]. *Pratacultural Science*, 2010, 27(2): 8-17. (in Chinese)

[13] 李传华, 赵军, 师银芳, 等. 基于变异系数的植被 NPP 人为影响定量研究—以石羊河流域为例[J]. *生态学报*, 2016, 36(13): 1-10.  
LI C H, ZHAO J, SHI Y F, *et al.* The impact of human activities on net primary productivity based on the coefficient of variation; a case study of the Shiyang River basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(13): 1-10. (in Chinese)

[14] 罗玲, 王宗明, 宋开山, 等. 吉林省西部草地 NPP 时空特征与影响因素[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(11): 2319-2325.  
LUO L, WANG Z M, SONG K S, *et al.* Spatiotemporal characteristics and related affecting factors of grassland net primary productivity in western Jilin Province [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(11): 2319-2325. (in Chinese)

[15] YANG N, JI D G, LI S J. The application of Pearson correlational analysis method in air quality analysis of Beijing- Tianjin-Hebei region [J]. *Agricultural Science & Technology*, 2015, 16(3): 590-592.