

## 基于 MOD17A3 的陕西省植被 NPP 变化特征\*

李登科\*\* 范建忠 王娟

(陕西省农业遥感信息中心, 西安 710014)

**摘要** 利用 2000—2006 年 MOD17A3 数据集的年均 NPP 数据和 GIS 技术定量分析了陕西省植被 NPP 的时空变化特征。结果表明: 陕西省年 NPP 变化范围为  $340 \sim 434 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 平均值为  $383 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 年均 NPP 分布全省呈现北低南高, 关中、陕南呈现西高东低的趋势。长城沿线风沙区年平均 NPP 在  $0 \sim 200 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 黄土高原丘陵沟壑区年平均 NPP 在  $200 \sim 300 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 中部林区年平均 NPP 在  $400 \sim 500 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 渭北旱作农业区年平均 NPP 在  $300 \sim 400 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 关中灌溉农作区年平均 NPP 大部在  $400 \sim 500 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 秦巴山地林区年平均 NPP  $>400 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。与 2000 年相比, 2006 年陕西省年 NPP 大部分地区是增加的, 年 NPP 增加的面积占国土面积的 90.5%。陕西省 NPP 线性变化趋势以增加为主, NPP 变化百分率增加 10% 以上的面积所占陕西省国土面积的比例为 50.6%; 植被 NPP 的变化百分率  $>10\%$  的植被主要分布在延安市以北地区, 说明通过实施退耕还林等生态建设工程, 这些地区植被状况得到较好的改善。

**关键词** 净初级生产力; MOD17A3; 陕西省

中图分类号 Q948 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2011)12-2776-07

**Variation characteristics of vegetation net primary productivity in Shaanxi Province based on MOD17A3.** LI Deng-ke\*\*, FAN Jian-zhong, WANG Juan (Shaanxi Remote Sensing Information Center for Agriculture, Xi'an 710014, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(12): 2776-2782.

**Abstract:** A quantitative analysis was made on the spatiotemporal characteristics of vegetation net primary productivity (NPP) in Shaanxi Province, based on the 2000-2006 average annual vegetation NPP data of MOD17A3 dataset and by using GIS technology. In the Province, the annual NPP ranged from 340 to 434  $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , with an average of  $383 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ . The average annual NPP was higher in the south and lower in the north part of the Province, and higher in the west and lower in the east part of central and south Shaanxi, being  $0-200 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  in the wind-eroded area along Great Wall,  $200-300 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  in the hilly and gully area of Loess Plateau,  $300-400 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  in the dry-farming area of Weiwei plateau,  $400-500 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  in the forest area of central part, and  $400-500 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  in the forest area of Qin-ba mountains region. As compared with that in 2000, the annual NPP in most part of the Province in 2006 had an increase, and the area with increased annual NPP accounted for 90.52% of the territory of the Province. The increase of the annual NPP in the Province was mainly in linear type, and the area with an increment of  $>10\%$  occupied 50.6% of the territory of the Province, mainly distributed in the north parts from Yan'an, which suggested that through the implementation of a series of ecological construction projects such as closing hill for forestation and restoring farmland into forestland, the vegetation in these parts was improved.

**Key words:** net primary productivity; MOD17A3; Shaanxi Province.

陆地植被净初级生产力 (net primary productivi-

ty, NPP) 是指植物在单位时间单位面积上由光合作用产生的有机物质总量中扣除自养呼吸后的剩余部分(龙慧灵等 2010)。NPP 作为地表碳循环的重要组成部分, 不仅直接反映了植被群落在自然环境

\* 陕西省科学技术研究发展计划项目(2011K17-02-04)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: ldk81711@sina.com

收稿日期: 2011-05-24 接受日期: 2011-07-07

下的生产能力,而且是判定生态系统碳积累和调节生态过程的主要因子,在全球变化及碳平衡中扮演着重要的作用(张杰等 2010)。开展区域尺度的生态系统 NPP 研究有着十分重要的意义,因为它与目前受到广泛关注的其他重大问题如碳循环与碳扰动、土地利用变化、气候变化和自然资源管理等研究有着密切联系,可以说是这些研究工作中的重要环节之一(李红梅等 2011;赵东升等 2011)。

从区域或大尺度水平估算陆地植被生产力的方法主要分为两大类:一类是通过大规模的实地调查,取得实测数据(王建国等 2011);二是利用已有的实地调查资料,建立环境因子(温度、降水等)或遥感参数为自变量、生产力为因变量的回归模型,在此基础上推算生产力或生物量,包括经验回归模型/半经验半理论模型(王莺等 2010;姚玉璧等 2010)、生态系统过程模型(Peng *et al.*, 2010;赵国帅等, 2011)和遥感模型(卫亚星等 2010)。其中,生态系统过程模型考虑生理生态和生物物理过程以及这些过程所确定的生产力空间、时间特性,如 CEVSA (Cao *et al.*, 1998)、BIOME-BGC (Running *et al.*, 1993)、TEM (Raich *et al.*, 1991)、CENTURY (Parton *et al.*, 1993)、CASA (裴志永等 2010;董丹等, 2011)等,这些模型能够揭示生产力及植被-环境之间相互作用的机理。

随着遥感技术以及数据处理能力的迅速发展和基于遥感观测的生理生态理论研究的进展,基于遥感观测的 NPP 已经开始应用于实时、连续的生态系统监测,年际波动和长期变化趋势的探测(王莺等, 2010a, 2010b)。美国 NASA 已于 1999 年发射了具有中分辨率成像光谱仪(MODIS)的 TERRA 极轨环境卫星,其传送回来的遥感数据已经广泛应用于地表覆盖变化、生物生产力和生态环境监测、气候预测和自然灾害监测。在 MODIS 对陆地监测产品中提供了 2000 年以来分辨率为 1 km 的年 NPP 产品(MOD17A3)。目前已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(何勇等 2005;郭晓寅等, 2006;Turner *et al.*, 2006;Rasmus *et al.*, 2006)。郭晓寅等(2006)分析了我国青藏高原腹地的江河源区陆地植被净初级生产力的特征,何勇等(2006)对我国南水北调东线地区陆地植被 NPP 变化特征进行分析,张晓浩等(2007)对广东省水稻生物质能进行估算,王宗明等(2009)对 2000—2005 年三江平

原土地利用/覆被变化对植被净初级生产力的影响研究,国志兴等(2008)、朱峰等(2010)分别对 2000—2006 年东北地区植被 NPP、农田 NPP 的时空特征及影响因素分析,而对陕西省区域植被净初级生产力的相关研究还未见报道。本文利用美国国家航空航天局(NASA)的 EOS/MODIS(地对地观测系统/中分辨率成像光谱仪)遥感数据(MOD17A3)对陕西省植被 NPP 的时空变化特征进行定量分析,为该区域植被生产能力评价、退耕还林等生态建设工程效益评估和管理政策的制定提供科学依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 自然概况

陕西省(31°42'N—39°35'N, 105°29'E—111°15'E)地处我国西北地区,北部跨黄土高原中部,总面积为  $2.1 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。研究区南北狭长,有山地、高原、盆地、沙漠,大小河流交错,从北至南依次为温带、暖温带、北亚热带气候,自然环境复杂,生态条件多样,植物资源种类繁多,植被分布具有明显的地带性。从北到南依次分布温带草原地带、森林草原地带、暖温带落叶阔叶林地带和北亚热带常绿阔叶林地带。陕西省是中国水土流失、沙化等环境问题最严峻的地区之一,水土流失面积占全省土地总面积的 66.9%,成为制约区域经济发展的重要因素。1999 年起,陕西省相继启动并实施了生态环境建设综合治理工程、天然林资源保护工程、退耕还林工程、重点防护林工程、水土保持工程和天然草场恢复与建设工程等一批重点生态建设工程,使陕西省特别是陕北地区植被状况有了明显好转,使陕北毛乌素沙漠南扩的势头得到抑制。截至 2009 年 10 月底,全省累计造林  $4.56 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,其中退耕还林  $2.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,位居全国第一。全省森林覆盖率由退耕还林前的 30.92% 提高到 37.26%,居全国第 12 位。全省累计治理水土流失面积  $9.42 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,输入黄河的年泥沙量减少  $1.3 \times 10^8 \text{ t}$ 。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 数据来源** 本文所用的遥感数据为来自美国 NASA EOS/MODIS 的 2000—2006 年的 MOD17A3 数据(<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome>)。空间分辨率为  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 。该数据利用参考 BIOME-BGC 模型与光能利用率模型建立的 NPP 估算模型模拟得到陆地生态系统年 NPP,该数据已在全球和区域 NPP 与碳循环研究中得到

广泛应用。与传统的回归模型相比,以 BIOME-BGC、CASA 等为代表的过程模型使用了更多的参数和更精密的估算方法,提高了净第一生产力的估算精度。

为了便于计算,利用 MRT( Modis Reprojection Tool) 软件将 NPP 1 km 数据转换成分辨率为  $0.01^\circ \times 0.01^\circ$  经纬度网格数据。

### 1.3 NPP 数据处理方法

本文采用简单差值法和一元线性回归分析 2 种方法对比分析陕西省不同地区 2000—2006 年 7 年植被 NPP 的变化特征。简单差值法,是对相同地区不同时相的图像进行相减,利用图像之间的差值来衡量变化的大小:

$$D_{ij} = NPP_{ij}^{t_1} - NPP_{ij}^{t_2} \quad (1)$$

式中:  $D_{ij}$  为第  $i$  行  $j$  列像素的差值;  $NPP_{ij}^{t_1}$  为时相  $t_1$  第  $i$  行  $j$  列像素的 NPP 值;  $t_1, t_2$  为时相;  $i, j$  为第  $i$  行  $j$  列像素的位置。

利用线性倾向估计进行 NPP 时间趋势分析。随时间变化, NPP 常表现为序列整体的上升或下降趋势、空间分布格局变化以及在某时刻出现的转折或突变。这些变量可以看作是时间的一元线性回归,线性倾向值用最小二乘法估计:

$$B = \frac{\sum_{j=1}^n NPP_j t_j - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n NPP_j \sum_{j=1}^n t_j}{\sum_{j=1}^n t_j^2 - \frac{1}{n} (\sum_{j=1}^n t_j)^2} \quad (2)$$

式中:  $B$  为线性倾向值  $t$  为年份  $n=7$ 。当  $B>0$  时,随时间  $t$  的增加, NPP 呈上升趋势;当  $B<0$  时,随时间  $t$  的增加, NPP 呈下降趋势。 $B$  值大小反映了 NPP 上升或下降的速率,即表示上升或下降的倾向程度。

$$NPP \text{ 变化率}(\%) = B/\text{均值} \times 7 \times 100\% \quad (3)$$

式中,均值为 7 年的平均 NPP。

## 2 结果与分析

### 2.1 植被年平均 NPP 变化的基本特征和空间分布状况

由表 1 可以看出,2000—2006 年陕西省年 NPP 变化范围为  $340 \sim 434 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,平均值为  $383 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,比全国同期植被平均年 NPP ( $361 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 国志兴等 2008) 高 6.39%。其中 2003 年陕西省植被的年 NPP 最大,为  $434 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,其次为 2006 年,其值为  $411 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,2001 年

表 1 2000—2006 年陕西省年年均植被 NPP ( $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )

Table 1 Annual NPP in Shaanxi Province from 2000 to 2006

地区	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	平均
榆林市	128	125	176	171	174	135	168	154
延安市	276	234	335	314	311	258	318	292
铜川市	383	326	421	374	389	355	406	379
宝鸡市	511	437	578	494	509	477	531	505
咸阳市	360	327	398	354	384	361	410	371
西安市	447	388	515	449	458	419	493	453
渭南市	339	298	378	348	361	328	383	348
汉中市	579	549	687	584	587	547	614	592
安康市	498	534	603	526	560	490	589	543
商洛市	457	441	554	478	505	442	528	486
陕西省	364	340	434	385	396	350	411	383
中国(国志兴等, 2008)	340	352	367	363	373	360	372	361

植被年均 NPP 最小,仅  $340 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。各市年均 NPP 分布全省呈现北低南高、关中陕南呈现西高东低的趋势。年均  $NPP < 200 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  的市为榆林市,  $200 \sim 400 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  的市有延安市、铜川市、咸阳市和渭南市等 4 个市,  $400 \sim 600 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  的市有宝鸡市、西安市、汉中市、安康市和商洛市等 5 个市;榆林市最低为  $154 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,汉中市最高为  $592 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

陕西省 2000—2006 年 7 年植被年均 NPP 分布(图 1)显示,由于受纬度地带性、经度地带性等植被、气候、地形因素的综合影响,总体呈现从南到北递减的趋势。榆林市位于长城沿线风沙区和风沙区与黄土高原丘陵沟壑区过渡地带,年平均 NPP 是陕西省 NPP 最低的地区,大部在  $100 \sim 200 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,局部  $NPP < 100 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。延安市北部位位于黄土高原丘陵沟壑区,年平均 NPP 大部在  $200 \sim 300 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,局部  $100 \sim 200 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ;延安市南部、铜川市西北部和宝鸡市北部的桥山林区、黄龙山林区和关山林区,年平均 NPP 在  $400 \sim 500 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ;延安市中南部、铜川市南部、咸阳市南部和渭南市中、北部为旱作农业区,年平均 NPP 在  $300 \sim 400 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ;渭南市北部局部盐碱滩地,年平均 NPP 在  $200 \sim 300 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。宝鸡市中部、咸阳市南部、西安市北部为灌溉农作区,年平均 NPP 大部在  $400 \sim 500 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ;大城市 NPP 较低,如西安市城区  $NPP < 100 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。宝鸡市南部、西安市南部、渭南市南部、汉中市、安康市和商洛市位于秦巴山地林区,年平均 NPP

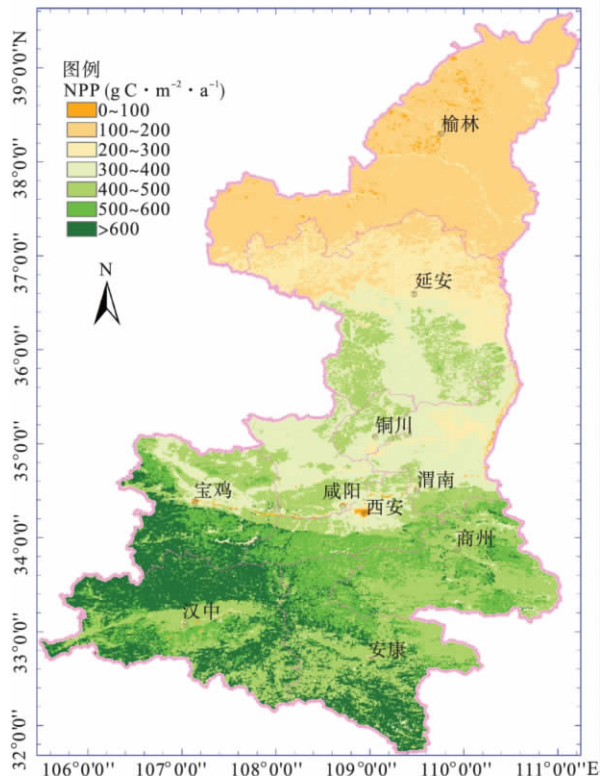


图1 2000—2006年陕西省年平均植被NPP的分布示意图  
Fig.1 Distribution of the average annual vegetation NPP from 2000 to 2006 in Shaanxi Province

是陕西最高的区域,年平均 NPP > 400 g C · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>; 尤其是宝鸡市南部、汉中市北部和南部、安康市南部年平均在 600 g C · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> 以上。

从表 2 可以看出,2000—2006 年陕西省植被年 NPP 主要集中在 300 ~ 600 g C · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> 区间,占陕西省总面积的百分比在 49.3% ~ 56.8%,平均占 51.8%;其次为 NPP 在 < 300 g C · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> 的区间,所占百分比在 31.9% ~ 40.6%,平均占 34.0%;再次为 NPP > 600 g C · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> 区间,占百分比在 6.5% ~ 22.9%,平均占 14.2%。

从图 2 可见,2000—2006 年陕西省植被年 NPP 在 300 ~ 600 g C · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> 和 > 600 g C · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> 两个区间所占百分比有微弱的上升趋势,在 < 300 g C ·

表 2 2000—2006 年陕西省年均 NPP 组成特征(面积百分比(%))

Table 2 Component of average annual NPP in Shaanxi Province from 2000 to 2006

等级	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	平均
<300	35.2	40.6	31.9	33.8	32.5	36.7	32.2	34.0
300~600	53.6	51.5	45.2	50.5	52.4	56.8	49.3	51.8
>600	11.2	7.9	22.9	15.6	15.1	6.5	18.5	14.2

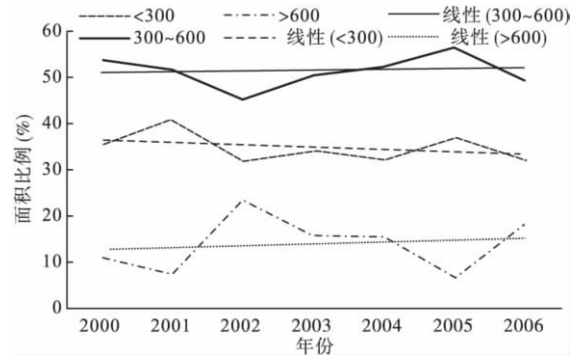


图 2 2000—2006 年陕西省各等级植被 NPP 的所占面积比例  
Fig.2 Area percentage of different vegetation NPP levels in Shaanxi Province (2000—2006)

m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> 的区间所占百分比有微弱的下降趋势。

## 2.2 陕西省植被 NPP 的变化特征

使用简单差值法和一元线性回归分析法对比分析陕西省 7 年植被 NPP 的变化特征,以了解 7 年陕西省植被 NPP 不同地带的变化规律。

2.2.1 简单差值法 简单差值法将本文研究时段始末端点时间 2000 年和 2006 年年 NPP 图像代入式(4)计算,生成 7 年陕西省植被 NPP 变化特征的空间分布图(图 3)。由图 3 可以看出,2000 与 2006

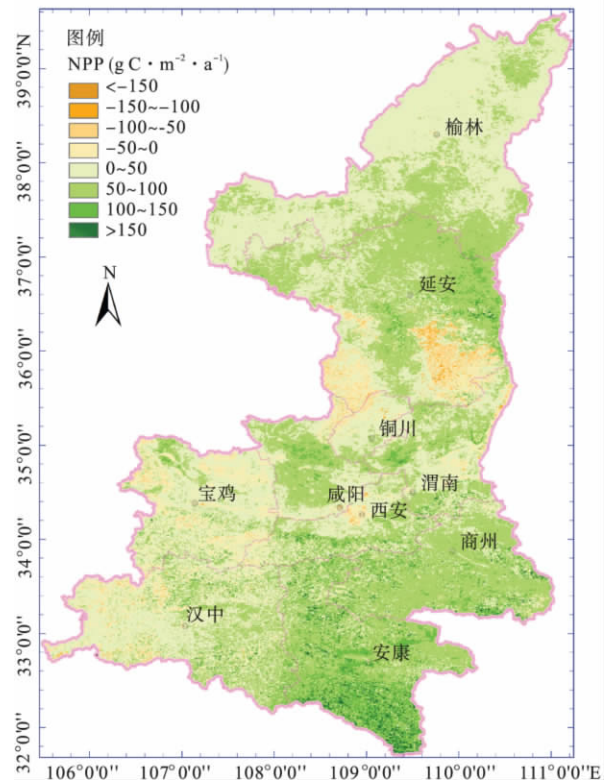


图 3 陕西省 2006 年与 2000 年植被 NPP 差值图像示意图  
Fig.3 Difference of NPP between 2000 and 2006 in Shaanxi Province

表3 2000—2006年陕西省NPP变化面积百分比(%)

Table 3 Area changing percentages of NPP in Shaanxi Province from 2000 to 2006

NPP变化 ( $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )	榆林市	延安市	铜川市	宝鸡市	咸阳市	西安市	渭南市	汉中市	安康市	商洛市	陕西省
<-150	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
-100~-50	0.0	1.0	0.7	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.0	0.0	0.3
-50~0	0.0	6.1	2.7	2.3	1.1	1.5	1.2	2.1	0.1	0.1	1.9
0~50	0.9	8.4	12.1	23.3	7.4	7.6	7.6	14.1	1.0	2.1	7.3
50~100	70.7	31.4	66.9	56.6	36.1	45.7	44.5	49.2	10.5	17.0	43.1
100~150	28.2	48.6	17.5	15.9	51.2	37.7	41.4	29.5	51.7	68.2	39.6
>150	0.3	4.2	0.0	1.6	4.1	6.5	4.7	4.4	29.5	10.9	6.7
<0	0.9	15.6	15.6	25.7	8.6	9.4	9.1	16.5	1.1	2.2	9.5
>0	99.1	84.4	84.5	74.3	91.4	90.6	90.9	83.5	98.9	97.8	90.5

年年 NPP 相比,大部分地区是增加的,只有少部分地区是减少的。增加幅度在  $0 \sim 50 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  的地区有榆林市、铜川市大部,增加幅度在  $50 \sim 100 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  的地区有延安市北部、咸阳市中部和北部、渭南市北部和南部、商洛市大部、汉中市,增加幅度  $>100 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  的主要出现安康市;年 NPP 降低的区域主要分布在延安市南部的桥山林区和黄龙林区、宝鸡市、渭南市中部、汉中市西部和西安咸阳城区。

从表3可知,陕西省年 NPP 增加的面积占省总土地面积的 90.5%,其中增加  $0 \sim 50$ 、 $50 \sim 100$ 、 $100 \sim 150$  和  $>150 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  的面积分别占 43.1%、39.6%、6.7% 和 1.2%;年 NPP 减少的面积占 9.5%,其中减少  $50 \sim 0 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  的面积占到 7.3%,减少  $<50 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  的面积仅占 2.2%。

从各市来说,年 NPP 增加的面积占 90% 以上的有榆林市、安康市、商洛市、咸阳市、渭南市和西安市,其中榆林市高达 99.1%;延安市、铜川市、宝鸡市、汉中市年 NPP 增加的面积占 90% 以下,宝鸡市最低为 74.3%。

**2.2.2 线性回归分析方法** 简单差值法能够直接反映 7 年间陕西省不同地区植被 NPP 的变化趋势,但由于其计算研究时段端点时间图像之间的差异,得到的结果往往很容易受到端点年份极端气候的影响。一元线性回归分析方法,在一定程度上可以消除特定年份极端气候的影响,更能真实地反映植被 NPP 在 7 年内演变过程。因此,利用一元线性回归分析方法具体分析陕西省不同地区植被年均 NPP 在 7 年的变化趋势。

由图 4 可以看出,植被 NPP 的变化百分率  $>$

10% 的植被主要分布在延安市以北地区,咸阳和渭南市以北也有分布,说明这些地区植被生长状况得到较好的改善;植被 NPP 的变化百分率  $<-10\%$  的植被主要分布西安市城区、延安市南部、汉中市和宝鸡局部地区,说明这些地区植被生长状况有所退化。

按 NPP 变化百分率的变化范围,统计各区间的面积所占比例(表 4)。从整体看,陕西省 NPP 变化以增加为主,NPP 变化百分率增加 10% 以上的面积

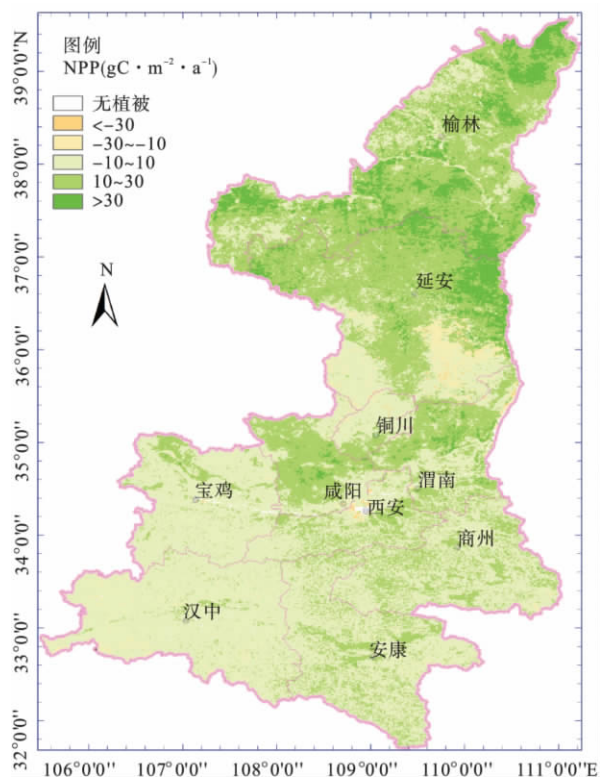


图 4 2000—2006 年陕西省植被 NPP 变化百分率示意图  
Fig. 4 Changing percentages of vegetation NPP in Shaanxi Province from 2000 to 2006

表 4 2000—2006 年陕西省植被 NPP 不同变化率所占面积百分比 (%)

Table 4 Area percentage of different changing range of vegetation NPP in Shaanxi Province (2000–2006)

变化幅度 (%)	榆林市	延安市	铜川市	宝鸡市	咸阳市	西安市	渭南市	汉中市	安康市	商洛市	陕西省
<-30	0.5	0.0	0.1	0.1	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
-30~-10	0.2	6.1	0.9	1.0	1.4	2.0	1.8	4.3	1.1	0.9	2.4
-10~10	15.5	23.0	56.2	81.3	30.2	55.3	34.1	88.7	64.0	56.2	46.1
10~30	59.6	54.1	42.6	16.8	63.2	39.8	55.7	6.8	34.8	42.6	42.1
30~50	22.9	15.7	0.2	0.2	4.4	0.3	5.8	0.0	0.1	0.2	8.5
>10	82.6	69.8	42.8	16.9	67.6	40.1	61.5	6.8	34.9	42.8	50.6
<-10	0.3	6.6	1.0	1.1	1.6	2.8	2.3	4.3	1.1	1.0	2.6

所占陕西省国土面积的比例为 67.0%; 基本不变 (NPP 变化百分率在  $-10\% \sim 10\%$ ) 的面积占 42.1%; NPP 变化百分率降低 10% 以下的面积仅占 2.2%。从地市分布来看, NPP 变化以增加为主的地市有榆林、延安、咸阳、西安、渭南、安康和商洛等 7 个市, 其中榆林、安康和商洛 NPP 增加更为显著, NPP 增加 10% 以上的面积所占比例在 82% 以上; 铜川、宝鸡和汉中市以基本不变为主。

### 3 结论与讨论

利用 2000—2006 年 MOD17A3 数据集的年均 NPP 数据, 通过 GIS 技术定量分析了陕西省植被 NPP 的时空变化特征, 结果表明:

(1) 2000—2006 年陕西省年 NPP 变化范围为  $340 \sim 434 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 平均值为  $383 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。陕西省植被年 NPP 主要集中在  $300 \sim 600 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  区间, 占陕西省总面积的百分比为 51.8%; 其次为  $\text{NPP} < 300 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  的区间, 占 34.0%; 再次为  $\text{NPP} > 600 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  区间, 占 14.2%。

(2) 陕西省年均 NPP 分布全省呈现北低南高、关中陕南呈现西高东低的趋势。长城沿线风沙区和风沙区与黄土高原丘陵沟壑区过渡地带, 年平均 NPP 是陕西省 NPP 最低的地区, 大部在  $100 \sim 200 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 局部  $\text{NPP} < 100 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。黄土高原丘陵沟壑区年平均 NPP 大部在  $200 \sim 300 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 桥山林区、黄龙山林区、华关山林区, 年平均 NPP 在  $400 \sim 500 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 渭北塬区为旱作农业区, 年平均 NPP 在  $300 \sim 400 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。关中灌溉农作区, 年平均 NPP 大部在  $400 \sim 500 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。秦巴山地林区, 年平均 NPP 是陕西最高的区域, 年平均  $\text{NPP} > 400 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 尤其是秦巴山地西部年平均在  $600 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  以上。

(3) 与 2000 年相比, 2006 年陕西省年 NPP 大部

分地区是增加的, 只有部分地区是减少的。陕西省年 NPP 增加的面积占国土面积的 90.5%, 年 NPP 减少的面积占 9.5%。年 NPP 增加  $0 \sim 50$ 、 $50 \sim 100$ 、 $100 \sim 150$  和  $> 150 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  的面积分别占 43.1%、39.6%、6.7% 和 1.2%; 减少  $50 \sim 0 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  的面积占到 7.3%, 减少  $< 50 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  的面积仅占 2.2%。

(4) 陕西省 NPP 线性变化趋势以增加为主, NPP 变化百分率增加 10% 以上的面积所占陕西省国土面积的比例为 50.6%; 基本不变 (NPP 变化百分率在  $-10\% \sim 10\%$ ) 的面积占 46.1%; NPP 变化百分率降低 10% 以下的面积仅占 2.6%。植被 NPP 的变化百分率  $> 10\%$  的植被主要分布在延安市以北地区, 说明这些地区植被生长状况得到较好的改善; 植被 NPP 的变化百分率  $< -10\%$  的植被主要分布西安市城区、延安市南部、汉中市和宝鸡局部地区, 说明这些地区植被生长状况有所退化。相关研究证明 (李登科等, 2010), 延安市以北地区植被状况改善的原因因为生态建设工程效果的显现, 西安市城区植被退化是城市扩张的结果, 延安市南部、汉中市和宝鸡局部地区植被状况退化的原因有待进一步研究。

(5) 遥感被认为是综合了所有自然条件和人为因素共同作用于植被生长的客观真实反映, 但是以往应用较多的 NOAA/AVHRR 数据及其相关模拟结果空间分辨率较低 (一般为 8 km), 由于土地覆被的空间异质性使得混合像元会在一定程度上影响植被生产力估算结果的精度。由于 MODIS 卫星分辨率较高, 因此可以通过对其资料的分析, 探讨一个较小范围的区域的植被生长的特征。但到目前为止, MODIS 资料的时间尺度还较短, 因此, 对于植被生产力影响因素 (如气候变化、人类活动等) 的分析还需要更长时间的资料积累才能说明问题。

## 参考文献

- 董丹,倪健. 2011. 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*, **31**(7): 1855-1866.
- 郭晓寅,何勇,沈永平等. 2006. 基于 MODIS 资料的 2000—2004 年江河源区陆地植被净初级生产力分析. *冰川冻土*, **28**(4): 512-518.
- 国志兴,王宗明,张柏等. 2008. 2000—2006 年东北地区植被 NPP 的时空特征及影响因素分析. *资源科学*, **30**(8): 1226-1235.
- 何勇,董文杰,郭晓寅等. 2006. 我国南水北调东线地区陆地 NPP 变化特征. *气候变化研究进展*, **2**(5): 246-249.
- 何勇,董文杰,季劲均等. 2005. 基于 AVIM 的中国陆地生态系统净初级生产力模拟. *地球科学进展*, **20**(3): 345-349.
- 李登科,范建忠,王娟. 2010. 陕西省植被覆盖度变化特征及其成因. *应用生态学报*, **21**(11): 2896-2903.
- 李红梅,周秉荣,李林等. 2011. 青海高原植被净初级生产力变化规律及其未来变化趋势. *生态学杂志*, **30**(2): 215-220.
- 龙慧灵,李晓兵,王宏等. 2010. 内蒙古草原区植被净初级生产力及其与气候的关系. *生态学报*, **30**(5): 1367-1378.
- 裴志永,周才平,欧阳华等. 2010. 青藏高原高寒草原区域碳估测. *地理研究*, **29**(1): 102-110.
- 王建国,樊军,王全九等. 2011. 黄土高原水蚀风蚀交错区植被地上生物量及其影响因素. *应用生态学报*, **22**(3): 556-564.
- 王莺,夏文韬,梁天刚等. 2010a. 基于 MODIS 植被指数的甘南草地净初级生产力时空变化研究. *草业学报*, **19**(1): 201-210.
- 王莺,夏文韬,梁天刚. 2010b. 陆地生态系统净初级生产力的时空动态模拟研究进展. *草业科学*, **27**(2): 77-88.
- 王宗明,国志兴,宋开山等. 2009. 2000—2005 年三江平原土地利用/覆被变化对植被净初级生产力的影响研究. *自然资源学报*, **24**(1): 136-146.
- 卫亚星,王莉雯. 2010. 应用遥感技术模拟净初级生产力的尺度效应研究进展. *地理科学*, **29**(4): 471-477.
- 姚玉璧,杨金虎,王润元等. 2010. 50 年长江源区域植被净初级生产力及其影响因素变化特征. *生态环境学报*, **19**(11): 2521-2528.
- 张杰,潘晓玲. 2010. 天山北麓山地-绿洲-荒漠生态系统净初级生产力空间分布格局及其季节变化. *干旱区地理*, **33**(1): 78-86.
- 张晓浩,黎夏,施迅等. 2007. 广东省水稻生物质能的估算. *遥感信息*, (1): 26-29.
- 赵东升,吴绍洪,尹云鹤. 2011. 气候变化情景下中国自然植被净初级生产力分布. *应用生态学*, **22**(4): 897-904.
- 赵国帅,王军邦,范文义等. 2011. 2000—2008 年中国东北地区植被净初级生产力的模拟及季节变化. *应用生态学报*, **22**(3): 621-630.
- 朱锋,刘志明,王宗明等. 2010. 东北地区农田净初级生产力时空特征及其影响因素分析. *资源科学*, **32**(11): 2079-2084.
- Cao MK, Woodward FI. 1998. Dynamic responses of terrestrial ecosystem carbon cycling to global climate change. *Nature*, **393**: 249-252.
- Parton WJ, Scurlock JMO, Ojima DS. 1993. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. *Global Biogeochemical Cycles*, **7**: 785-809.
- Peng DL, Huang JF, HUETE AR, et al. 2010. Spatial and seasonal characterization of net primary productivity and climate variables in southeastern China using MODIS data. *Journal of Zhejiang University-Science B (Biomedicine & Biotechnology)*, **11**: 275-285.
- Raich JW, Rastetter EB. 1991. Potential net primary production in South America. *Ecological Applications*, **1**: 399-429.
- Rasmus F, Inge S, Michael SR, et al. 2006. Evaluation of satellite based primary production modeling in the semi-arid Sahel. *Remote Sensing of Environment*, **105**: 173-188.
- Running SW, Hunt ERJ. 1993. Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, BIOME-BGC, and an application for global-scale models. *Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe*. New York: Academic Press: 141-158.
- Turner DP, Ritts WD, Cohen WB, et al. 2006. Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes. *Remote Sensing of Environment*, **102**: 282-292.

---

作者简介 李登科,男,1963 年出生,主要从事农业遥感业务和科研工作. E-mail: ldk81711@sina.com  
责任编辑 王伟

---