

文章编号: 1007-4619 (2001) 01-0058-04

气候变化对中国陆地植被净第一性生产力影响的初步研究

孙睿, 朱启疆

(北京师范大学资源与环境科学系, 北京 100875)

摘要: 在假定气温平均升高 1.5°C , 降水平均增加 5% , 地表植被分布未发生变化的情况下, 利用改进的光能利用率模型和 1992 年 12 个月的 1 km AVHRR-NDVI 资料及地面气候资料对气候变化对中国陆地植被净第一性生产力 (NPP) 的影响进行了初步分析。结果表明, 除了华南沿海 NPP 略有下降外, 中国大部分地区 NPP 将有所增加, 平均增加 6.2% 。其中从相对增加量来说, 青藏高原 NPP 的增加幅度最大; 而从绝对增加量来说, 森林植被的增加量最大, 荒漠地区 NPP 的增加量最小。

关键词: 遥感; 植被; 净第一性生产力; 气候变化

中图分类号: TP79/P40 **文献标识码:** A

1 引言

近几十年来由于人类活动的影响, 致使 CO_2 等温室气体排放量急剧上升, 大气中的 CO_2 含量由工业革命前的 $275 \times 10^{-6}\text{ L/L}$ 增至目前的 $350 \times 10^{-6}\text{ L/L}$, 据预计, 到下个世纪中期 CO_2 浓度将比工业革命前增加 1 倍, 到下个世纪末将比目前增加 1 倍^[1]。由此引起的气候变化(如气温升高、降水分布改变等)将会对地表植被产生间接和直接的影响。

植被净第一性生产力(指绿色植物在单位时间、单位面积上由光合作用所产生的有机物质总量中扣除自养呼吸后的剩余部分, 下文简称 NPP) 是表征植被活动的关键变量, 全球变化对植被的影响将直接影响到 NPP 的大小, 同时, NPP 作为全球碳循环的重要组成部分, 其变化又必然会对全球变化起到反馈作用, 因此很有必要对全球变化对 NPP 的影响进行研究。

NOAA 气象卫星的 AVHRR 传感器, 观测范围广, 对地观测重复性好, 很适合于大面积地表植被监测。其中植被指数(即红光和近红外通道数据的组合)可以比较好地反映地表植被生长状况, 研究表

明, 用比值植被指数 VI ($VI = NIR / VIS$, 其中 NIR 表示近红外波段的反射率, VIS 表示可见光或红光波段的反射率) 和归一化差值植被指数 $NDVI$ ($NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$) 可以确定植被对入射光合有效辐射的吸收比例, 从而可用光能利用率模型估算净第一性生产力^[2-4]。本文的目的就是试图以 1992 年为例, 通过 $NDVI$ 资料和气候资料对气候变化对中国植被 NPP 的影响进行初步研究。

2 资料及方法

所采用的数据包括 1992 年 4 月—1993 年 3 月 1 km 分辨率的月 AVHRR-NDVI 数据以及由其进行分类得到的全国植被类型图、 $1:1400$ 万《中国土壤质地图》^[5]、全国 658 个气象站点的月气象资料。其中 $NDVI$ 资料来自美国地质调查局(USGS) 地球资料观测系统数据中心(EROS-EDC) 的全球 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 分辨率 NOAA-AVHRR $NDVI$ 数据集^[6], 投影为兰勃特等积方位投影。所采用的气象数据包括月降水量、月平均气温、风速、水汽压及日照百分率。在计算净第一性生产力之前, 通过地图的数字化及插值, 得到 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 分辨率的土壤质地和气象要素栅格图。

收稿日期: 1999-07-07; 修订日期: 2000-06-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49871055), 博士点基金项目(1999002713), 国家自然科学基金重大项目(39990490), 国家攀登计划(95-预-38)。

作者简介: 孙睿(1970—), 男, 博士, 1998 年毕业于北京师范大学, 现从事遥感在植被生产力及地表能量平衡的应用研究, 已发表论文 8 篇。

对于全球变化对中国地区气候的影响,最近,部分中国和英国科学家合作,比较了七个 GCM 的计算结果,对中国地区未来气候变化作了阐述。他们估计下世纪中期全球平均将增暖 1.2°C 左右;冬季中国大部分地区在下世纪中期增暖 $1-1.5^{\circ}\text{C}$,东北大部可能增暖 1.5°C ,夏季降水变化各地不一,在 $-5\%-10\%$ 之间,大部分地区有所增加,但增幅不大,在 5% 左右^[7]。为了研究全球变化对中国陆地植被净第一性生产力的影响,我们做以下假设:

(1) 假定全国的气温升高 1.5°C ,降水平均增加 5% 。

(2) 由于暂时还无法用现有遥感资料来模拟全球变化后植被的变化情况,因此假定在大气 CO_2 浓度增加、气候变暖的情况下,中国地表植被的分布、植被指数没有发生变化,仍保持现状。

计算 NPP 时采用改进的光能利用率模型^[8]。模型形式如下:

$$NPP = \epsilon_g^* \times f_1(T) \times f_2(\beta) \times PAR \times FPAR - R \quad (1)$$

式中 NPP , R 分别表示净第一性生产力和呼吸消耗碳元素量 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{月}$), ϵ_g^* 表示最大光能利用率, $f_1(T)$ 和 $f_2(\beta)$ 分别表示温度和土壤水分对 ϵ_g^* 的影响, PAR 表示到达地表的光合有效辐射,由气候学方法确定, $FPAR$ 表示植被所吸收的光合有效辐射比例,由植被指数确定^[9]:

$$FPAR = \frac{(VI - VI_{i, \min})(FPAR_{\max} - FPAR_{\min})}{(VI_{i, \max} - VI_{i, \min})} + FPAR_{\min} \quad (2)$$

式中 VI 表示比值植被指数, $VI = (1 + NDVI) / (1 - NDVI)$, $VI_{i, \max}$ 和 $VI_{i, \min}$ 表示 i 植被类型 $FPAR$ 达到最大值和最小值时的比值植被指数, $FPAR_{\max} = 0.950$, $FPAR_{\min} = 0.001$ 。

在以上假定的基础上,分别模拟计算目前和气温升高 1.5°C ,降水增加 5% 情况下中国植被净第一性生产力的变化情况。

3 结果分析

3.1 气候变化后中国植被净第一性生产力的变化

由计算结果得知,全球变化后中国植被 NPP 将有所增加。 NPP 年总量由目前的 $2.645 \times 10^9 \text{t}$ 增加到 $2.809 \times 10^9 \text{t}$,平均增加 6.2% 。全国各地 NPP 的变化情况见图版 I 图 1,其中图版 I 图 1(a) 为 NPP

的相对变化百分率分布图,图版 I 图 1(b) 为 NPP 绝对变化量分布图,需说明的是,由于在塔里木盆地、柴达木盆地等地的当前 NPP 为 0,无法计算相对变化量,图版 I 图 1(a) 中以 0 代替。

从图版 I 图 1(a) 可以看出, NPP 的相对增加量是北方比南方大,西部比东部大。这是由于在南方,气温比较高,水分条件基本上已能满足植被生长的需要,降水量的增加对 NPP 的影响比较小,另外温度升高也能导致呼吸作用的增加,因此 NPP 相对增加量比较小甚至出现负值。在北方,植被净第一性生产力受水分及温度的限制比较厉害,温度升高、降水增加都会减小这两个因素的限制作用,因此 NPP 的相对增加幅度比较大。青藏高原的相对增加量最大,在 $20\%-40\%$ 之间,这是由于在青藏高原,植被的生长主要受温度条件的限制,随着温度的增加, NPP 的增加幅度比较大。东北地区除了大兴安岭北部,由于受温度条件的限制,在气候变暖的情况下, NPP 增加幅度比较大,相对增加量在 $10\%-15\%$ 之间外,其余地区 NPP 都增加 $5\%-10\%$ 。内蒙古高原大部,新疆天山、阿尔泰山及塔城地区的 NPP 将增加 $10\%-15\%$ 。西南地区 NPP 增加 $5\%-15\%$ 。中国东部大部分地区, NPP 的相对增加量在 5% 以下,其中亚热带地区,由于当前的水热条件能够满足植物的生长,因此气候变化对 NPP 的影响比较小甚至有负影响。例如,华南地区沿海及亚热带东部的平原地区 NPP 的相对增加量在 3% 以下,海南省、雷州半岛及部分平原地区的 NPP 将下降 $1\%-3\%$ 。

NPP 的绝对变化量(图版 I 图 1(b)) 是由目前 NPP 与相对增加量所共同决定的,分布特点更接近 NPP 分布。西北大部分地区的 NPP 增加量小于 $5 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,在部分极端干旱地区 NPP 稍有下降。海南省、雷州半岛的 NPP 将下降 $10-50 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,华南沿海的 NPP 下降 $1-10 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。亚热带地区的农业植被增加量都小于 $10 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,部分地区的 NPP 下降 $1-10 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。中国东部其它地区除了部分森林植被的增加量在 $50-80 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间外, NPP 增加 $10-50 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。云南西南部地区的 NPP 增加量最大,增加 $80 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上。

3.2 气候变化对中国不同类型植被 NPP 的影响

在 NPP 计算的基础上,利用植被类型图统计不同类型植被 NPP 的变化情况(表 1)。从表 1 可知,在气温升高 1.5°C ,降水增加 5% 的情况下,不同植

被 *NPP* 的增加幅度不同, 平均增加 1.67%—17.9%。荒漠的相对增加量最大, 平均增加 17.9%; 草甸和草原的增加量平均为 13.1%和 15.93%; 森林植被 *NPP* 将增加 5.90%—11.01%, 其中落叶针叶林的增加量最大, 平均增加 11.01%, 常绿阔叶林的 *NPP* 相对增加量在森林植被中最小, 平均增加

5.90%; 落叶灌丛相对增加 8.16%, 常绿灌丛的增加量比较小, 平均增加 3.42%; 农业植被的相对增加量最小, 增加 1.67%—7.36%, 其中一年一熟作物的增加量比较大, 平均增加 7.36%, 双季稻连作喜温作物的增加量最小, 仅增加 1.67%。

表 1 气温升高 1.5℃, 降水增加 5% 时中国不同植被 *NPP* 的变化

Table 1 The change of *NPP* of C for different vegetation if temperature increase 1.5℃ and precipitation increase 5%

植被类型	目前 <i>NPP</i> /g·m ⁻² ·a ⁻¹	气候变化后		
		<i>NPP</i> /g·m ⁻² ·a ⁻¹	绝对增加量/g·m ⁻² ·a ⁻¹	相对增加量/%
落叶针叶林	419.86	466.08	46.22	11.01
针阔叶混交林	402.89	437.44	34.55	8.58
落叶阔叶林	459.70	494.21	34.51	7.51
常绿针叶林	529.40	566.62	37.22	7.03
常绿阔叶林	971.90	1029.28	57.38	5.90
落叶灌丛	290.17	313.85	23.68	8.16
常绿灌丛	555.42	574.44	19.02	3.42
草原	116.03	131.23	15.20	13.10
草甸	191.41	221.90	30.49	15.93
一年一熟作物	313.31	336.37	23.06	7.36
一年两熟或两年三熟作物	396.36	410.77	14.41	3.64
单(双)季稻连作喜凉作物	496.87	509.27	12.40	2.50
双季稻连作喜温作物	574.56	584.15	9.59	1.67
荒漠	15.74	18.56	2.82	17.90

从表 1 也可发现, 各种植被类型 *NPP* 的绝对增加量与相对增加量不同, 森林植被的绝对增加量最大, 碳元素平均增加 34.51—57.38 g·m⁻²·a⁻¹, 其次为灌丛、农业植被和草地, 荒漠地区的绝对增加量最小, 平均仅增加 2.82 g·m⁻²·a⁻¹。这是由于各类型植被的冠层的大小及覆盖度不同, 高大茂密的植被, 原来的 *NPP* 就很大, 使得净第一性生产力的绝对增加量最大, 而处于北方干旱、半干旱地区的植被, 植被矮小稀疏, 即使 *NPP* 的相对增加量很大, 由于原来的 *NPP* 很小, 所以绝对增加最仍很小。

4 结论及讨论

从以上研究结果可以得出如下初步结论: 在中国气温平均升高 1.5℃, 降水平均增加 5%, 并且地表植被分布及植被指数未发生变化的情况下, 除了华南沿海净第一性生产力略有下降外, 大部分地区的净第一性生产力将有所增加, *NPP* 年碳元素总量由目前的 2.645×10⁹t 增加到 2.809×10⁶t, 平均增加

6.2%; 其中青藏高原净第一性生产力相对增加量的增加幅度最大。而从绝对增加量来说, 森林植被的增加量最大, 荒漠地区 *NPP* 的增加量最小。

以上只是假定在气候变化后现有植被分布及植被指数不发生变化的情况下对中国植被净第一性生产力的变化进行了模拟。实际上, 由于气温的升高, 会导致植被类型的分布发生变化, 如植被气候带可能北移; 同时, 由于气温的升高, 降水的增加幅度很小, 会导致干旱、半干旱地区荒漠化更为严重, 地表植被覆盖度将会降低; 对于农作物来说, 温度升高, 将会缩短生育期, 导致 *NPP* 的降低。总之, 气候变化对中国植被净第一性生产力的影响很复杂, 本文的研究只是初步探索, 还有待于继续深化研究。

参考文献 (References)

- [1] Wang Xiulan, Xu Shihua. CO₂, Climate Change and Agriculture [M]. Beijing: Meteorology Press, 1996. [王修兰, 徐师华. 二氧化碳、气候变化与农业[M]. 北京: 气象出版社, 1996.]
- [2] Potter C S, J T, Randerson *et al.* Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data [J].

- Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7(4): 811—841.
- [3] Ruimy A, B Saugier. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data [J]. *J. Geophys. Res.*, 1994, 99(D3): 5263—5283.
- [4] Prince S D, Goward S N. Global primary production: a remote sensing approach [J]. *Journal of Biogeography*. 1995, 22: 815—835.
- [5] Deng Shiqin. Map of Soil Texture of China [A]. Institute of Soil Science, Academia Sinica. The Soil Atlas of China [C]. Beijing: Cartographic Publishing House, 1986, 23—24. [邓时琴. 中国土壤质地地图 [A]. 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤图集 [C]. 北京: 地图出版社, 1986, 23—24.]
- [6] Eidsenshink J C, Faundeen J L. The 1 km AVHRR global land dataset: first stages in implementation [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15: 3443—3462.
- [7] Wen Gang, Yan Zhongwei, Ye Duzheng. Global Environment Change. Forecast and Research on the Trend of Environment Change in Future 20 to 50 Years in China [M]. Changsha: Hunan Science and Technology Press, 1997. [温刚, 严中伟, 叶笃正. 全球环境变化——我国未来(20—50年)生存环境变化趋势的预测及研究 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1997.]
- [8] Sun Rui, Zhu Qijiang. A Remote Sensing Based Net Primary Production Model and the Distribution of Net Primary Production in China [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 1998, 34(Sup): 132—137. [孙睿, 朱启疆. 植被净第一性生产力模型及中国净第一性生产力的分析 [J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 1998, 34(增刊): 132—137.]
- [9] Sellers P J, Tucker C J, Collatz G J. *et al.* A Global 1° by 1° NDVI Data Set for Climate Studies Part 2: the Generation of Global Fields of Terrestrial Biophysical Parameters from the NDVI. [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1994, 15(17): 3519—3545.

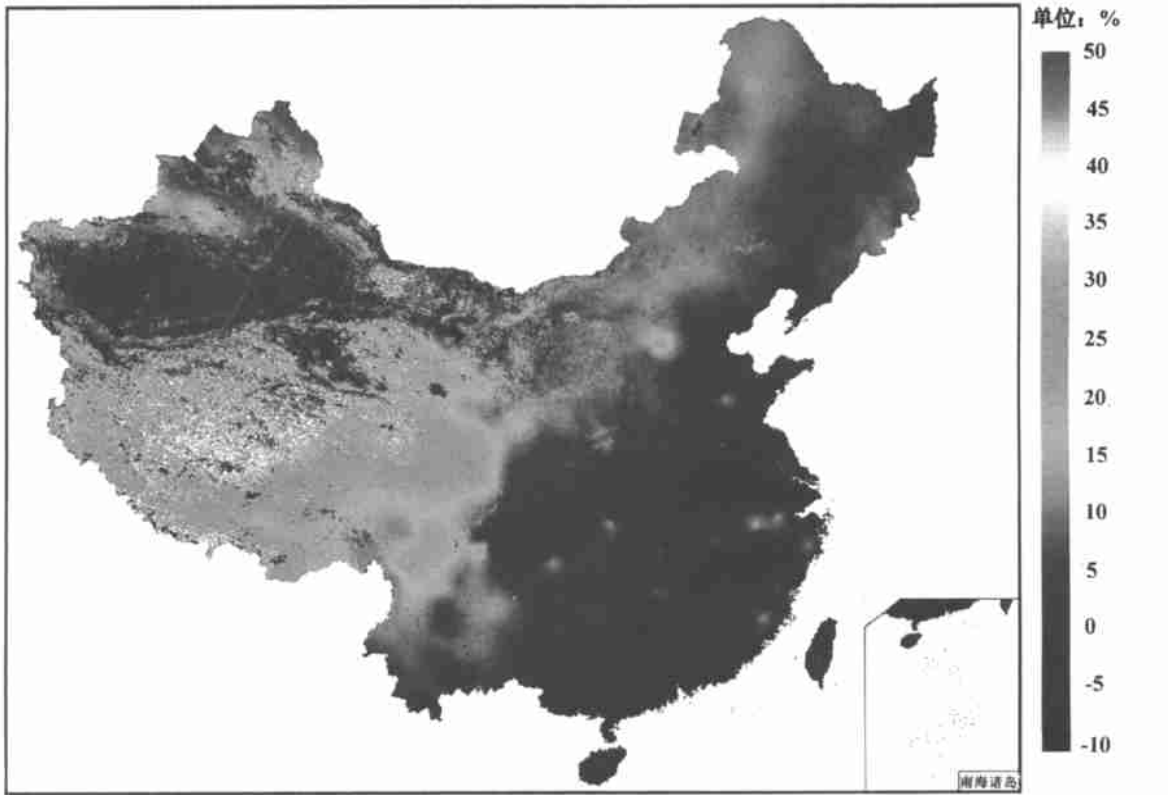
Effect of Climate Change of Terrestrial Net Primary Productivity in China

SUN Rui, ZHU Qi-jiang

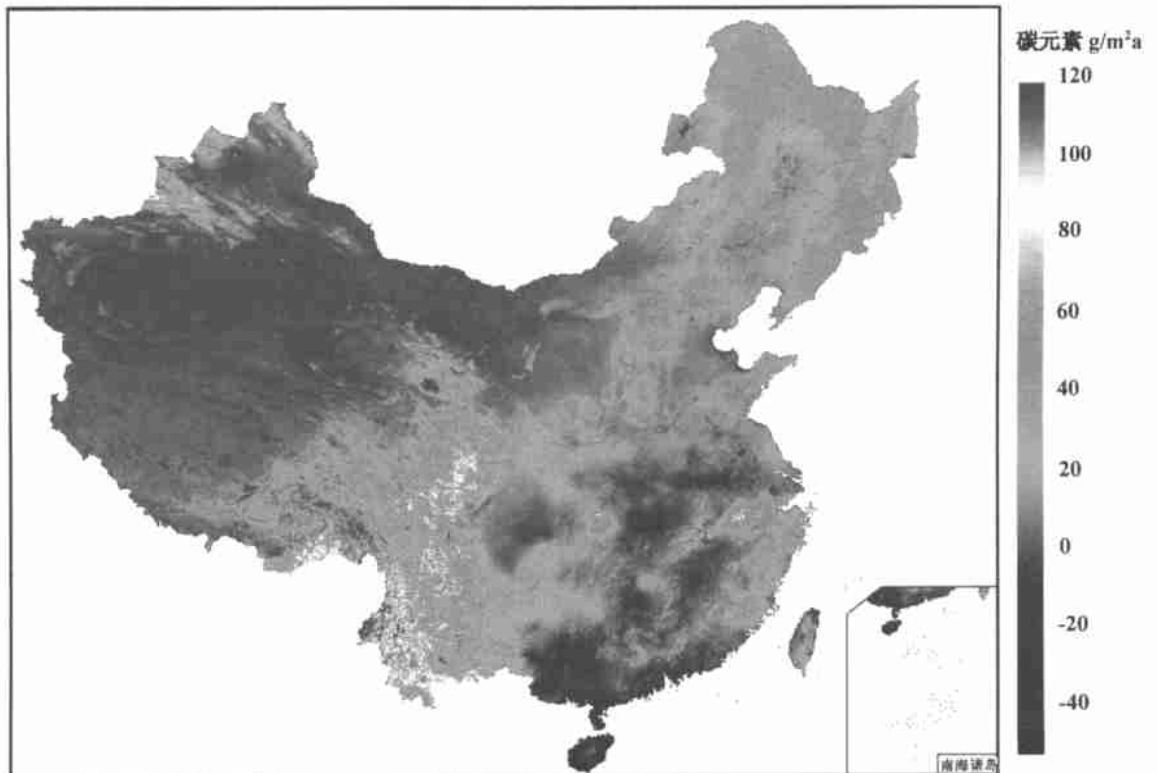
(Department of Resource and Environmental Sciences, Beijing Normal University, 100875, China)

Abstract: On the assumption that the air temperature will increase 1.5 °C, precipitation will increase 5% and the distribution of vegetation won't change, an improved energy use efficiency model and 1 km AVHRR-NDVI data are used to estimate the effect of climate change on terrestrial net primary productivity in China. The results show that net primary productivity will increase in most of China, but in south China it will decrease slightly. The *NPP* average increases 6.2% in China totally. The distribution of increased value and relative increased percentage is different. The maximum increased percentage of *NPP* appears in Tibet Plateau, but the maximum absolute value of *NPP* lies in the forest and the minimum lies in desert region.

Key words: remote sensing; vegetation; net primary productivity; climate change



(a) 相对变化百分率分布图



(b) NPP 绝对变化量分布图

图 1 气候变化对中国 NPP 的影响