

Vegetation NPP Changes in Horqin Sandy Land During 2000-2013

Yinshan^{1,2}, Suriguga Bao^{1,*}, Yuhai Bao^{1,2}

¹. Inner Mongolia Normal University, School of Geographical Sciences, Hohhot 010022, China;

². Inner Mongolia Normal University, Key Laboratory of Remote Sensing and Geographic Information, Hohhot 010022, China

2000-2013 年科尔沁沙地植被 NPP 时空变化研究

银山^{1,2}, 包苏日古嘎^{1,*}, 包玉海^{1,2}

¹ 内蒙古师范大学 地理科学学院, 内蒙古呼和浩特 010022;

² 内蒙古师范大学 内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室, 内蒙古呼和浩特 010022;

Abstract

Using remote sensing data and ground meteorological station data, we estimated NPP of vegetation during the growing season from 2000 to 2013 in Horqin sandy land under the support of remote sensing and GIS Technology. We analyzed the relations between the annual NPP with climate factors and human activities. The results showed that the vegetation NPP was increased fluctuations during growing season in Horqin sandy land from 2000 to 2013, the average increase rate is 6.338/a. And the fluctuation is bigger, increased from 291.32gC/m²/yr in 2000 to 431.75gC/m²/yr in 2013. In spatial pattern, overall showing a decreasing trend from southeast to Northwest, and the area of high NPP increased while that of low NPP decreased., the NPP in southern fringe regions of the study area showed increasing trend, and eastern, western and northern fringe regions of the study area showed reducing trend

or no obvious trends were observed.. Climate features and human activities were the main causes inducing the increase of vegetation NPP, and precipitation was the dominant driving force of NPP of Horqin sandy land.

Key words: NPP; CASA; climate; Horqin sandy land

摘要

在遥感及 GIS 技术的支持下, 利用卫星遥感及地面气象观测资料, 估算了 2000-2013 年内蒙古科尔沁沙地生长季 (4-10 月) 的植被 NPP, 并探讨了该时段植被 NPP 对气候变化和人类活动的响应机制。结果显示: 14 年间科尔沁沙地 NPP 呈波动式增长趋势, 增长速率为 6.338/a。且波动较大, 从 2000 年的 291.32 gC/m²/yr 增加到 2013 年的 431.75 gC/m²/yr。在空间分布上, 总体呈现出从东南向西北方向递减。且 NPP 高的地区面积在增加, NPP 低的地区面积在减少。研究区南部地区植被 NPP 增加趋势较明显, 而东部、西部及北部地区呈减少或无明显的趋势性变化。科尔沁沙地植被 NPP 的增加是气候及人类活动综合作用的结果, 其中降水量是影响科尔沁沙地植被净初级生产力的主要气候因素。

关键词: 植被 NPP; CASA 模型; 气候变化; 科尔沁沙地

***通讯作者:** 包苏日古嘎(1991-), 女, 内蒙古兴安盟人, 硕士研究生, 研究方向为灾害监测与防治 E-mail:350858195@qq.co m

植被净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)是植被在单位时间和单位面积上由光合作用所固定的有机质总量中扣除植物自养呼吸的消耗量后的剩余部分,它会随着环境的改变而发生变化,因此它能直接反映绿色植被群落在自然环境条件下的生产能力^[1-2]。植被净初级生产力与气候变化、土地荒漠化的密切关系,为研究全球性或区域性生态环境问题提供了重要数据^[3]。位于内蒙古自治区东部的科尔沁沙地是我国四大沙漠化地区之一,地处于半干旱草原地带,土壤基质不稳定、植被盖度较低,生态系统脆弱。同时,该地区是京津地区北方生态屏障的重要部分,更是影响京津地区沙尘暴的必经之地和沙尘源区之一。因此其生态系统状况关系到内地广大区域的生态环境和社会经济的可持续发展。有关研究显示,气温的上升及降水的增多会导致植被NPP增加,而人类活动干扰会使植被NPP降低^[4-5]。因此,在气候变化和人类活动的前提下,探究科尔沁沙地陆地植被NPP时空变化,开展区域尺度植被NPP研究,对深入了解该地区生态系统生物生产力对全球或区域变化的响应有着重要意义^[6-7]。

1. 研究区概况

科尔沁沙地地处东北平原和内蒙古高原的过度带,地势呈西高东低,海拔约为88-1259 m。地理坐标大致为东经117.69°-124.07E°、北纬41.82°-45.71°N,总面积约为7.18万 km²。行政区共涉12个旗县(市)(如图1)。科尔沁沙地地处半干旱大陆性季风气候区,年均降水量为300-450 mm,年平均气温在4-7℃之间,年蒸发量为1700-2400 mm。

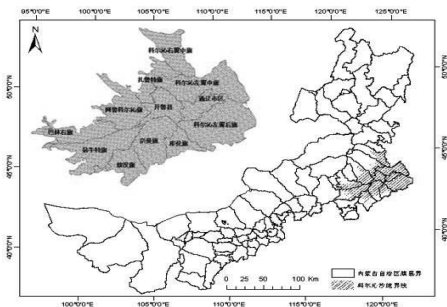


图1. 研究区示意图

2. 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

遥感数据:2000-2013年MODIS NDVI产品数据MODIS13Q1,从美国宇航局NASA网站直接下载。MODIS数据为16天合成影像,空间分辨率为250m。由于考虑到冬季积雪的影响,只采用每年97-305d间数据(即4-10月份)。在进行拼接、投影转换及剪裁等预处理的基础上,采用最大值合成法(Maximum value Composites, MVC^[8])获得每月NDVI值,经过计算,用于分析植被NPP时空变化特征。将每年生长季内NPP进行求和,用来表示该年植被NPP。

气象数据:中国气象数据共享服务网提供的2000-2013年科尔沁沙地及周边地区气象观测站点的月平均气温(℃)及月降水量(mm)数据。根据气温、降水数据的经纬度信息,采用Kriging方法对其进行插值,生成与NDVI数据具有相同投影和分辨率(250m)的栅格数据。

土地利用数据:2000、2013年夏季(8月份)分辨率为30m的Landsat TM影像为数据源,参考刘纪远^[9]提出的分类系统,将研究区土地利用类型划分为六类,即耕地、林地、草地、水域、建设用地及未利用土地。

2.2 CASA 估算模型

CASA模型是由植被吸收的光合有效辐射APAR(x,t)与实际光能利用率ε(x,t)两个变量来确定。计算公式为:

$$NPP(x,t) = APAR(x,t) \times \epsilon(x,t) \quad (1)$$

式中APAR(x,t)为像元x在t月吸收的光合有效辐射(MJ/m²);ε(x,t)为像元x在t月的实际光能利用率(gC/MJ);t表示时间,x表示空间位置。其中植被吸收的光合有效辐射取决于太阳总辐射和植被吸收的光和有效辐射的比例,计算公式为:

$$APAR(x,t) = SOL(x,t) \times FPAR(x,t) \times 0.5 \quad (2)$$

式中FPAR(x,t)为植被对入射光和有效辐射PAR的吸收比例;SOL(x,t)为t月份在x象元处的太阳总辐射量(MJ/m²);常数0.5表示

植被所能利用的太阳有效辐射占太阳总辐射的比例。FPAR(x,t)是植被对光合有效辐射的吸收比例，其取决于植被覆盖和植被类型。在一定范围内 FPAR(x,t)与 NDVI、SR 存在较好的线性关系，因而可以通过 MOD13Q1 产品提取 NDVI 对 FPAR(x,t)进行估算。其中 NDVI、SR 的最大值和最小值根据荒漠植被类型直接采用朱文泉^[10]确定的值。

光能利用率是指植被把所吸收的光和有效辐射 APAR 转化为有机碳的效率。植被光能利用率受到温度和水分的影响。其计算公式为：

$$\varepsilon(x,t) = \varepsilon_{max} \times T_i(x,t) \times W_i(x,t) \quad (3)$$

式中 ε_{max} 是理想条件下的植被最大光能利用率 (gC/MJ)； $T_i(x,t)$ 为温度胁迫影响系数； $W_i(x,t)$ 为水分胁迫影响系数，这反映了气温与水分条件的影响。本研究利用朱文泉^[16]等模拟得到中国典型植被最大光能利用率介于 CASA 模型和 BIOME- BGC（生理生态过程模型）模型的模拟结果作为输入参数，其中将模拟结果 0.542g/MJ 作为荒漠草地的最大光能利用率。 $T_i(x,t)$ 和 $W_i(x,t)$ 计算方法见文献^[10-12]。

2.3 NPP 处理方法

本研究主要采用一元线性回归分析法对 2000-2013 年科尔沁沙地植被 NPP 整体变化趋势进行了分析。单个象元多元回归方程中的趋势线斜率即为年际变化率。利用植被 NPP 的序列和时间序列的相关性来判断 NPP 年际变化的显著性，斜率为正值表示植被净初级生产力上升，反之则表示植被净初级生产力下降^[5]。根据检验结果将变化趋势分为如下五个等级：无显著减少、显著减少、无显著增加、显著增加和极显著增加^[14]。

$$\alpha = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times NPP_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n NPP_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2} \quad (4)$$

式中：i 表示第某年，n 为研究时段的年数；α 为趋势斜率，表示植被生产力变化趋势及大小；NPP_i 为第 i 年的 NPP 平均值。

3. 结果与分析

3.1 科尔沁沙地植被 NPP 空间格局与年际变化

科尔沁沙地植被 NPP 的分布由于受经纬度地带性的植被、气候、地形因素等的综合影响，总体呈现出从东南向西北方向递减（如图 2）。位于研究区东南部的通辽地区 NPP 普遍较高，尤其在科尔沁左翼后旗南部、科尔沁左翼中旗东南部地区，NPP 值高于 500gC/m²/yr；而位于研究区西北部的翁牛特旗东部、巴林右旗南部地区 NPP 相对较低，尤其在翁牛特旗东部部分地区，NPP 值低于 100gC/m²/yr。

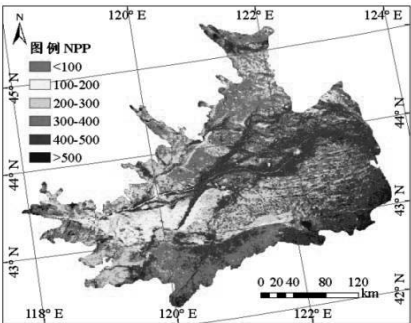


图 2. 科尔沁沙地 14 年平均 NPP 空间分布

图 3 显示，2000-2013 年科尔沁沙地 NPP 年际变化总体上呈波动式增长趋势，增长速率为 6.338/a。且变化幅度较大，从 2000 年的 291.32 gC/m²/yr 增加到 2013 年的 431.75 gC/m²/yr。2000-2010 年间，NPP 变化波动较为平缓；2010 年后 NPP 急剧增加，至 2013 年达到最高值。这说明研究期间科尔沁沙地的植被状况得到了明显改善。

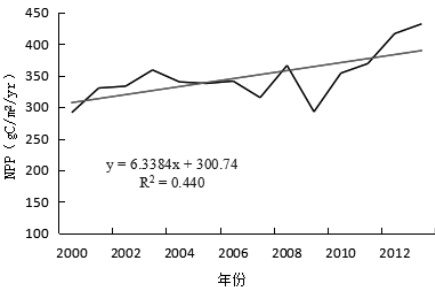
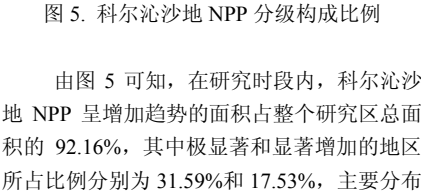
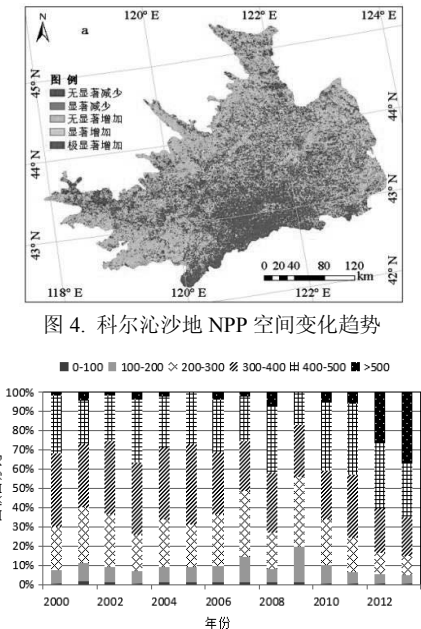


图 3. 2000-2013 年 NPP 年际变化

3.2 科尔沁沙地植被 NPP 空间变化趋势

2000-2013 年科尔沁沙地不同等级 NPP 构成比例显示 (如图 4), NPP 介于 300-400gC/m²/yr 间的地区所占百分比在 35-45% 之间, 居首位; 其次是 NPP 介于 400-500gC/m²/yr 间的地区, 所占百分比在 25-35% 之间。从植被状况来看, 这两个区间的植被处于较好水平; NPP 值低于 100gC/m²/yr 的地区所占比例最小, 一般不到 1%, 其植被处于较差水平。而不同等级 NPP 构成比例年际变化显示, NPP 值高于 600gC/m²/yr 的地区面积变化波动最强, NPP 值介于 200-300gC/m²/yr 间和低于 200gC/m²/yr 的地区面积变化波动次之。且 NPP 高的地区面积在增加, NPP 低的地区面积在减少, 说明在研究时段内, 科尔沁沙地植被生产力有所提升, 生态环境有所改善, 植被覆盖在朝恢复的方向发展。



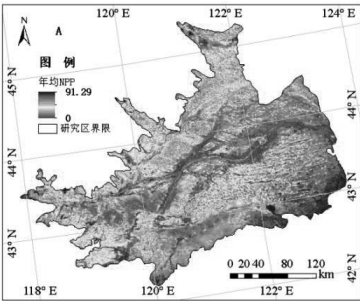
由图 5 可知, 在研究时段内, 科尔沁沙地 NPP 呈增加趋势的面积占整个研究区总面积的 92.16%, 其中极显著和显著增加的地区所占比例分别为 31.59%和 17.53%, 主要分布

在奈曼旗、库伦旗大部分地区、敖汉旗南部、翁牛特旗东北部、科尔沁左翼中旗部分地区和科尔沁左翼后旗西南部地区; NPP 呈减少趋势的地区面积非常少, 所占比例仅为 7.84%。其中巴林右旗、科尔沁右翼中旗 NPP 呈显著减少趋势。总体上, 科尔沁沙地 NPP 空间变化以增加趋势为主, 说明 2000-2013 年该地区植被覆盖及其生态系统的能量输入水平总体上有所提高。

4. 讨论

4.1 模型验证

在区域植被 NPP 的研究中, 模型的精度验证一直是一个非常重要的问题, 也是一个难点。目前对模型的精度评价大体可分为两种: 一是与野外实测数据进行对比, 二是与不同模型的估算结果进行比较^[5]。本文采用间接方法对本文估算的 NPP 结果进行精度验证。MOD17A3 NPP 产品是利用参考 BIOME-BGC 模型 (Biome Biogeochemical Model) 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 NPP, 该产品是由美国蒙大拿大学 Numerical Terradynamic Simulation Group (NTSG) 制作^[14], 已经在全球范围尺度上得到了广泛认可与应用。而且已有研究证明 MOD17A3 在中国东北区域具有一定的精度, 国志兴^[14]利用 128 个森林实测数据与 2000-2006 年的 MOD17A3 NPP 平均值进行对比, 发现二者之间存在密切的相关关系。因此本文从空间分布特征、统计特征方面将本文 NPP 与 MOD17A3 产品进行相对比较^[14], 在一定程度上说明本文 NPP 作为 NPP 趋势变化分析的数据源是可靠的。



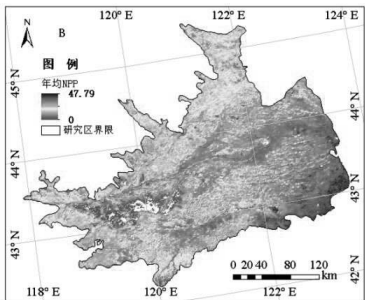


图 6(B). 2000-2013 年 MOD17A3 估算 NPP 平均值空间分布

图 7 为 2000~2013 年间 MOD17A3 NPP 与本文估算 NPP 的平均值, 从图 A 与 B 的比较可以看出, 本文估算 NPP 与 MOD17A3 NPP 在地域空间分布特征上高度一致, 均呈现出从东南向西北方向递减趋势。

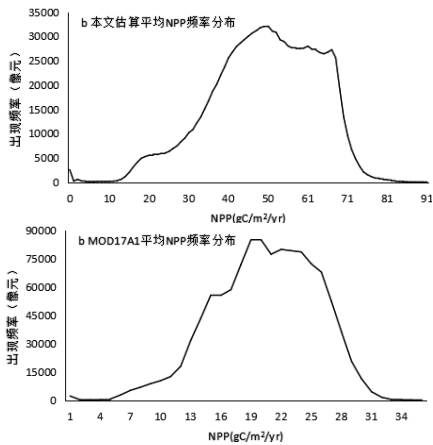


图 7. 本文估算 NPP(a)及 MOD17A3 估算 NPP(b)频度分布

图 7 为 MOD17A3 与本文 14 年平均 NPP 的频度分布, 本文估算 NPP 主要分布范围在 40~70 gC/m²/yr 之间, MOD17A3 的 NPP 主要分布范围介于 13~28 gC/m²/yr 之间。对比两张图可以发现, 两者频度分布极为相似, 然而本文估算的 NPP 值较高于 MOD17A3 的 NPP 值。这种估算之间的差异可能与两者研究分析的时间段有所不同有关 (本文只选取了 4~10 月份的数据进行研究分析, MOD17A3 产品为整年数据)。

4.2 科尔沁沙地气候波动及其对植被 NPP 的影响

近 14 年来, 科尔沁沙地总降水量总体呈波动增加趋势, 且波动性较大, 波动范围在 263.24-458.16 mm 之间; 气温变化的总趋势是下降的, 但下降趋势并不明显。由图 8 可见, 气温及降水与植被 NPP 在变化规律上基本吻合。将研究时段内, 科尔沁沙地植被 NPP 与气候因子进行相关分析后发现, 该地区植被 NPP 与降水呈显著的正相关关系 ($R=0.822$, $P<0.001$), 与气温呈负相关关系 ($R=-0.642$, $P<0.05$) (见表 1), 表明, 在全球气候变暖的背景下, 科尔沁沙地降水量的增加及气温的下降都对该地区植被生长有着明显的促进作用, 也对物种多样性的保护、风沙治理和生态恢复有深远影响^[15]。

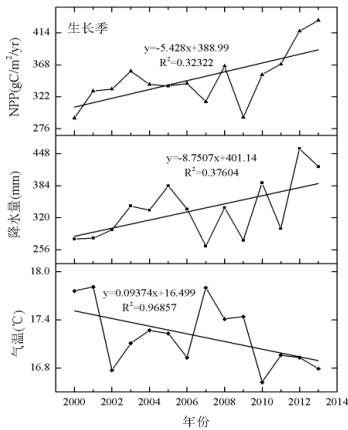


图 8. 2000-2013 年 NPP 与气候变化

表 1. NPP 与气候因子的相关系数

	NPP	
	R	P
降水量	0.82	0.0001
气温	-0.64	0.013

5. 结论

1)在研究时段内,科尔沁沙地植被 NPP 变化的年际波动较大,总体上呈增长趋势,表明近 14 年间该地区生态呈明显好转的态势,同时也说明,自 2000 年来中国开始实施的退耕还林还草等生态保护和环境改善工程取得了明显效果。

2)从植被 NPP 变化的空间分布上看,科尔沁沙地植被 NPP 总体呈现出从东南向西北方向递减趋势,且 NPP 值高的植被面积在增加,低 NPP 值的植被面积在减少。研究区 92.16%的地区植被 NPP 呈增加趋势,其中有 49.12%的面积出现显著响应,主要分布在研究区南部地区;而研究区东部及西北部的部分地区(7.84%)的 NPP 出现减少的情况。

3)由于科尔沁沙地地处半干旱大陆性季风气候区,在年际尺度上其植被净初级生产力受降水量的影响极为明显,植被 NPP 与降水呈显著的正相关关系,与温度呈负相关关系。因此,降水量是导致植被 NPP 发生变化的最直接原因。

Acknowledgements

This study was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 2013ZD08) Inner Mongolia Normal University major project to cultivate special project (No.2013ZDPY04) and National: "Twelfth Five-Year" Plan Project for Science and Technology Support (No.2013BAK05B01) and In the pastoral areas of Inner Mongolia the great drought disaster risk assessment and response technology research(No.20130430).

致谢

本研究得到了资助项目:内蒙古自然科学基金(2013ZD08)、内蒙古师范大学科研基金重大培育项目(2013ZDPY04)、国家“十二五”科技支撑计划项目(2013BAK05B01)和内蒙古科技计划项目(20130430)共同资助。

参考文献

[1] 方精云,柯金虎,唐志尧.生物生产力的“4P”概念、估算及其相互关系.植物生态学

报,2001,25(4):414-419.
[2] 蒋蕊竹,李秀启,朱永安等.基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征.生态学
报,2011,31(22):6708-6716.
[3] 徐雨晴,陆佩玲,于强等.气候变化对植物物候影响的研究进展.资源科学,2004,26(1):129-136.
[4] 刘军会,高吉喜.气候和土地利用变化对北方农牧交错带植被 NPP 变化的影响.资源科学,2009,31(3):493-500.
[5] 包刚.基于 MODIS 数据的内蒙古陆地植被净第一性生产力遥感估算研究.内蒙古师范大学,硕士学位论文,2009.
[6] 彭少麟,郭志华,王伯荪.RS 和 GIS 在植被生态学中的应用及其前景.生态学杂志,1999,18(5):52-64.
[7] 朴世龙,方精云,郭庆华等.利用 CASA 模型估算我国植被净第一性生产力.2001,25(5):603-608.
[8] 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.地理科学,2012..
[9] 刘纪远,张增祥,徐新良等.21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析.地理学报,2009,64(12):1411-1420.
[10] 元志辉,包刚,银山等.2000-2014 年浑善达克沙地植被覆盖变化研究.草业学报,2016,25(1):33-46.
[11] 朱文泉,潘耀忠,何浩等.中国典型植被最大光利用率模拟.科学通报,2006,51(6):700-706.
[12] 朱文泉,陈云浩,潘耀忠等.基于 GIS 和 RS 的中国植被光利用率估算.武汉大学学报:信息科学版,2004,29(8):694-698.
[13] 朱文泉,潘耀忠,龙中华等.基于 GIS 和 RS 的区域陆地植被 NPP 估算—以中国内蒙古为例.遥感学报,2004,9(3):528-531.
[14] 国志兴,王宗明,张柏等.2000 年-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,2008,30(8):1226-1235.
[15] Y. He. Assessment research of Bijie drought risk based on cloud model. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2013, 3(4): 192-200.