

黄土高原地区 NPP 的自然影响因素分析

徐 茜¹, 杨 忍¹, 任志远²

(1. 中山大学地理科学与规划学院/土地研究中心, 广东 广州 510275;

2. 陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘 要: 以 SPOT NDVI 和多种自然地理要素数据为基础, 利用改进光能利用率计量模型, 探究影响净第一性生产力(NPP)变化的自然因素差异及各地貌类型区 NPP 变化的主导影响因素。结果表明: ① 1998—2010 年黄土高原地区 NPP 物质质量平均值为 $9.884 \sim 50.790 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 明显低于全国平均水平 $342 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。② 影响 NPP 变化的自然因素差异显著。台塬区保水性好, 水土流失强度较低, NPP 物质质量增加显著, 风蚀地貌区 NPP 水平低, 降幅明显; 干湿条件是影响 NPP 变化的重要自然要素, 半湿润区 NPP 增幅量较大; 坡度对 NPP 变化的影响显著, 陡坡区林、草植被覆盖度增加, NPP 增幅明显; 微观尺度上水热空间分布与海拔高度相关, 研究区海拔 200~1 000 m 范围 NPP 增幅显著, 海拔高于 1 000 m 的区域 NPP 呈下降趋势。③ 影响 NPP 空间分布格局差异的主导因素为水热条件, 但决定黄土梁卯地貌类型区的 NPP 物质质量水平正相关的主导因素为高程因子, 0.01 置信水平下相关系数为 0.52; 太阳辐射对 NPP 物质质量表现为显著负相关关系, 尤其对气候干旱区域表现突出。

关键词: NPP; CASA 模型; 自然影响因素; 黄土高原

中图分类号: X171.4 **文献标志码:** A

Analysis on the natural factors affecting NPP in Loess Plateau

XU Qian¹, Yang Ren¹, REN Zhi-yuan²

(1. School of Geography and Planning / Center of Land Research, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510062, China;

2. College of Tourism & Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: This study explored differences of natural factors that affected NPP and the driving factors of NPP, which was based on a variety of data of natural geographical elements including the type of land-forms, and SPOT NDVI using a modified light use efficiency model. The study showed that from 1998 to 2010, the mean value of NPP substance changed from $9.884 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ to $50.790 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ in the Loess Plateau region. The value was lower than the national average level which was $342 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. In addition, natural factors that affected the changes of NPP showed significant differences. The loess platform had high water retention, low water loss and soil erosion intensity, such that NPP substance became increased significantly. NPP was maintained at a relatively low level and was dropped significantly in wind erosion landform areas. Dry and wet conditions were important natural elements which affected the changes of NPP. NPP increase amount was much bigger in semi-humid zone than others. Slope had significantly effects on NPP changes. With the increase of vegetation coverage in steep slope areas, NPP was obviously increased. Within micro scales, heat water spatial distribution was found to be related with the elevation. In the study areas, NPP was significantly increased at altitude from 200 m to 1 000 m. However, NPP was shown to become declined when altitude was over 1 000 m. Furthermore, the dominant factor which affected the differences of NPP special distribution was hydro-thermal condition. But the main effect factor of NPP substance based on loess ridge and loess hill was altitude. Its correlation coefficient was 0.52, under the 0.01 confidence level. There was a significant negative correlation between solar radiation and NPP, which was particularly apparent in arid region.

Keywords: NPP substance; CASA model; the natural influence factors; Loess Plateau

收稿日期: 2015-05-05
基金项目: 国家自然科学基金项目(41401190)
作者简介: 徐 茜(1984—), 女, 江苏沭阳人, 博士研究生, 主要从事土地资源开发利用与保护的研究。E-mail: xuqian19840613@163.com。
通信作者: 杨 忍(1984—), 男, 贵州毕节人, 博士, 讲师, 主要研究方向为土地资源配置及 GIS 应用研究、乡村空间重构及规划、城乡发展转型与区域规划。E-mail: yangren0514@163.com。

净第一性生产力(NPP)作为表征陆地生态过程的关键参数,它是植物光合作用有机物质的净创造,是理解地表碳循环过程不可缺少的部分,是一个估算地球支持能力和评价陆地生态系统可持续发展的重要指标^[1-2]。NPP 的时空变化受光、热、水、土及植被自身生理特性之间复杂的相互作用,并受人为活动影响极大^[3]。国际地圈-生物圈计划(IGBP)、全球变化与陆地生态系统(GCTE)及京都协定(Kyoto Protocol)等均把 NPP 的研究确定为研究的核心内容之一^[4-5]。综观国内外相关研究进展,国外学者主要侧重于对生态系统植被 NPP 的时空演替过程^[6]、异常洋流及大气作用对全球 NPP 的影响^[7]、构建快速 NPP 模型进行未来气候模拟^[8]、基于 GIS 及 RS 技术的 NPP 量值预测^[9]、利用 NPP 数据构建生态系统时空分析框架及模型^[10]等进行深入研究。国内学者主要开展了生态恢复工程对 NPP 的影响^[11]、气候变化及人类活动对生态脆弱区 NPP 的影响^[12]、干旱对陆地生态系统 NPP 影响^[13]的研究,并从地带属性(自然地带、海拔高程、经纬度)、流域、行政区域(县级)等方面对植被 NPP 时空格局与变化特征进行测评,揭示生态系统的健康状况^[14]。NPP 测算的研究方法主要包括样地实测法^[15]、模型模拟法^[16]以及遥感估算法^[17]。NPP 的主导影响因子为气候因子,同时其时空分布变化又对全球气候变化积极响应^[18-20]。对于 NPP 分布影响机制的研究大多是区域性的宏观性研究,而区域内部微观尺度的研究不足。

陆地生态系统净第一性生产力水平是由多种自然因子共同作用的结果,不同地域 NPP 的主导因素及限制因子也有所差异。同一地理位置由于地貌类型的差异,水热条件相应变化,使区域生态系统 NPP 产生差异。为深化微观尺度对 NPP 变化的影响,本文选取 1998—2010 年中国黄土高原地区 NDVI 影像数据及地貌、气候等自然因子数据,选用改进光能利用率模型(CASA 模型)进行 NPP 物质质量的测评。从宏观尺度揭示黄土高原地区净第一性生产力的时序变化特征,并从地貌类型、湿度条件、坡度因子、高程水平、土壤类型、植被类型 6 个微观尺度对 NPP 的空间分布格局特征及变化规律进行研究,并基于不同地貌类型对 NPP 变化影响因素的差异性进行研究,深化黄土高原地区生态环境物质生产能力的的影响因素研究。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

黄土高原地区位于我国中部偏北,地理位置为北纬 34°~40°,东经 103°~114°。包括太行山以西、青海省日月山以东,秦岭以北、长城以南的广大地区,面积约 40 万 km²,其按地形差别分为陇中高原、陕北高原、山西高原和豫西山等地。平均海拔为 1 000~1 500 m,除少数石质山地外,高原上覆盖着深厚的黄土层。黄土高原地区的黄土主要为风成黄土,粉粒占黄土总重量的 50%,结构疏松、孔隙度大、透水性强、遇水易崩解、抗冲抗蚀性弱。年均气温 6℃~14℃,年均降水量 200~700 mm。黄土高原地区为我国生态脆弱区,气候较干旱,降水集中,植被稀疏,水土流失严重。其地貌类型复杂多样,塬、梁、卯为其特有类型,多农牧交错带、农林交错带等土地利用类型过渡地带分布,风沙带、黄土沟壑区光热组合条件差。

1.2 数据资料

1.2.1 数据来源 本研究所采用 1998—2010 年 NDVI 影像来源于寒区旱区科学数据中心国家地球系统科学数据平台的 SPOT-VEGETATION NDVI 数据。该数据已经过大气校正、辐射校正、几何校正等预处理,空间分辨率为 1 km,时间分辨率为 10 日。月均温及年总降水量气象数据来源于国家气象中心气象站日实测数据,由覆盖黄土高原地区的 29 个台站实测数据经过空间差值后获得。太阳辐射总量数据及植被分布数据来源于中国科学院地球科学数据共享数据库,研究区地貌图来源于中国 1:400 万地貌图,土壤图来源于 1:100 万中国土壤数据库及国家第二次土壤普查提供的土壤有机质含量、全氮、全磷、全钾、孔隙度、颗粒物组成等数据,DEM 空间分辨率为 90 m。

1.2.2 自然因子划分依据

(1) 干湿水平划分。依据我国主要根据地区年降水量划分干湿区的标准,对研究区的干湿水平进行划分。研究区内的干湿水平共分 3 级(P :年降水总量):干旱($P < 200$ mm)、半干旱($200 \text{ mm} \leq P < 400$ mm)、半湿润($400 \text{ mm} \leq P < 800$ mm)。研究区内年降水总量最大值为 705.185 mm,年降水总量高值区位于研究区东南部,即山西省东南部及河南省范围,整个研究区内无湿润区分布。

(2) 坡度因子划分。黄土高原地区是严重的水土流失地区,水土保持综合治理规划通则^[21]中规定了 6 级坡度分级标准,分级数目较多,依据研究区内

坡度水平的差异,在水土保持综合治理规划通则的基础上将研究区内坡度因子缩减为 4 级:平坡(0° , 6°]、缓坡(6° , 15°]、斜坡(15° , 25°]、陡坡(25° , 90°)。

1.3 改进光能利用率模型

CASA 模型是一个充分考虑环境条件和植被本身特征的光能利用率模型,1993 年由 Potter 等^[22]提出,模型通过植被吸收的光合有效辐射(APAR)和光能利用率(ϵ)来计算植被 NPP。该模型将遥感数据、植被生理因子及光、热、水等自然环境因子相结合,以实现植被覆盖 NPP 的时空动态模拟。CASA 模型的优点在于模型参数随时间及空间而变化,受水分及温度胁迫因子的调控,能够比较客观地评价不同时空尺度下的区域 NPP 物质质量。但其缺陷为 Potter 等^[22]认为全球植被的最大光能转化率($\epsilon_{\max}$)为 $0.389\text{ g C}\cdot\text{MJ}^{-1}$,在现实情况中这并不合理, $\epsilon_{\max}$ 并非定量,而是由植被类型、植被覆盖度和生物群系的共同影响所决定。本文参考朱文泉等^[23-25]的研究方法,根据黄土高原地区植被覆盖类型及区域自然环境特征,确定 $\epsilon_{\max}$,改进 CASA 模型,以科学地测评黄土高原地区 NPP 物质质量。

2 结果与分析

2.1 黄土高原 NPP 物质质量时序动态变化特征

基于 ArcGIS10.2 软件平台,依据改进 CASA 模

型,对数据资料进行运算及处理,得到 1998—2010 年黄土高原地区单位面积 NPP 物质质量(见图 1)。1998—2010 年黄土高原地区单位面积 NPP 物质质量平均值为 $94.884\sim 50.790\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,明显低于全国平均水平 $342\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ^[15]。本模型测算结果与谢宝妮等^[26]基于 MOD17A3 数据测算的黄土高原地区 NPP 变化趋势一致,认为 2000—2010 年黄土高原地区净第一性生产力呈整体上升趋势,其中 2001 年为最低值,全年植被总 NPP 由 2000 年的 119 TgC 增加至 2010 年的 144 TgC。本文测算结果 NPP 物质质量为整体上升趋势,并分为三个阶段波动变化,呈现以下几个特点:① 1998—2001 年 NPP 物质质量平均值明显下降,由 $92.611\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 下降至 $75.081\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,年均减少 $4.739\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$;② 2001—2006 年 NPP 物质质量平均值波动下降,降至 $50.7904\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,为 1998—2010 年 NPP 物质质量最低水平,这与 2005 年气候干旱相关;③ 2006—2010 年, NPP 物质质量平均值明显逐年上升,增加至 $134.646\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

2.2 NPP 变化的自然影响因素差异分析

NPP 的空间分布及时序变化受自然及人文多种因素的综合影响,黄土高原地区面积广阔,自然因素复杂多变,影响 NPP 的时空演变格局。文中主要选取 6 类自然因子,探究 1998—2010 年影响 NPP 增幅变化的自然因素差异(图 2)。

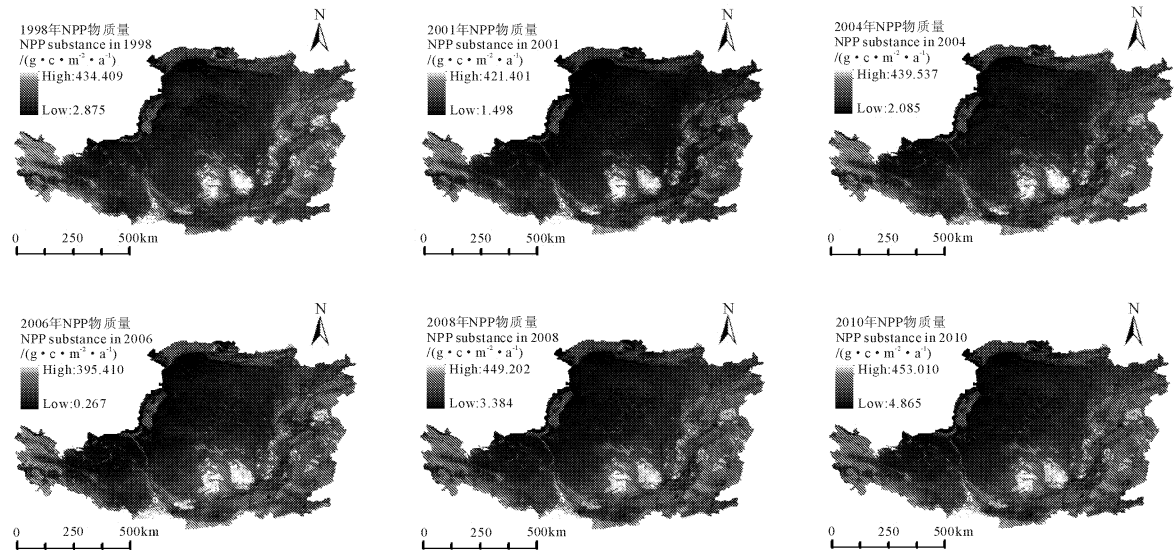
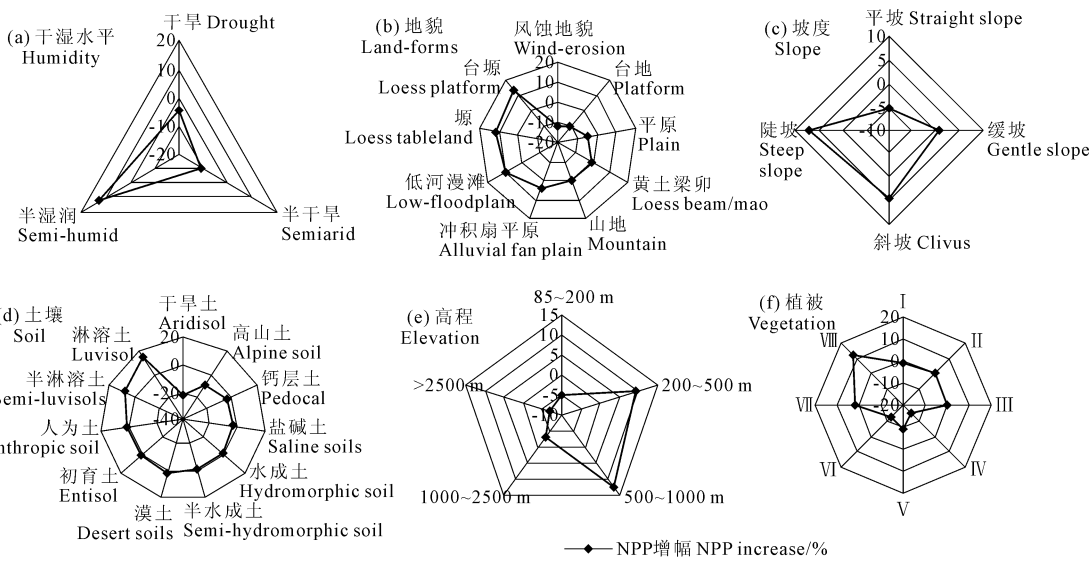


图 1 1998—2010 年黄土高原地区单位面积 NPP 物质质量空间分布

Fig. 1 The spatial distribution of NPP substance per unit area in Loess Plateau from 1998 to 2010

1998—2010 年,各自然因子对 NPP 变化的影响为:从干湿条件看,半湿润区 NPP 增幅显著,为 12.42%;半干旱区 NPP 物质质量减少明显,共减少 10.55%,多为农牧交错区;干旱区植被覆盖水平差、

生产力水平低, NPP 物质质量为减少趋势;半干旱区 NPP 降幅最为明显。从地貌类型看,台塬区和塬区 NPP 物质质量增加显著,分别增加了 13.84%、10.83%,分布于黄土高原南部,陕西、甘肃及河南省



注 Note: I—针叶林 Coniferous forest; II—阔叶林 Broadleaf forest; III—灌丛和萌生矮林 Shrub and coppice; IV—荒漠 Desert; V—草原和稀树灌木草原 Grassland and dilute tree – shrub grassland; VI—草甸和草本沼泽 Meadow and herbaceous swamp; VII——一年一熟粮作和耐寒经济作物 One crop or cold – tolerant economic crop a year; VIII——一年两熟或两年三熟旱作(局部水稻)和暖温带落叶果树园、经济林 A year two cooked or three dry farming (local rice) and warm temperate deciduous orchard, economic forest.

图 2 NPP 变化的自然影响因素差异

Fig.2 The differences of natural factors affecting the changes of NPP

境内。低河漫滩水分条件较好,NPP 增加明显。山地及黄土梁卯区 NPP 物质质量变化不大,而风蚀地貌区、台地、平原区 NPP 均为减少区,且风蚀地貌区 NPP 物质质量减少尤其显著,共减少 11.53%。从坡度差异看,研究区坡度 > 25°的陡坡区域 NPP 物质质量增幅明显,共增加了 6.85%;斜坡区域 NPP 物质质量也有明显增幅;缓坡区域 NPP 增幅水平变化不大;平坡区域 NPP 显著减少。从土壤类型看,干旱土及高山土的肥力水平差、土壤含水量低,NPP 物质质量明显降低,降幅分别高达 21.84%、10.00%;淋溶土及半淋溶土土壤水分条件较好,肥力水平高,多分布于水热条件较好的冲积平原,NPP 物质质量明显增加。从高程因子看,研究区 200 ~ 1 000 m 高程值范围区域 NPP 增加显著,尤其 500 ~ 1 000 m 区域,NPP 增幅高达 12.36%;高程值大于 1 000 m 区域 NPP 呈下降趋势,尤其高程大于 2 500 m 的高山区水热组合条件差,NPP 水平下降明显;高程值小于 200 m 的平原区面积较小,NPP 下降明显。从植被类型看,研究区经济林的 NPP 水平明显增加,NPP 总增幅为 11.82%;荒漠、草甸及草原植被退化严重,NPP 水平大幅下降,植被覆盖度下降,分别下降了 15.48%、13.00%、9.39%,生态水平降低。

文中选取 6 类自然因子从不同角度反映对自然生态系统植被生产力水平的影响。以不同自然因子为侧重点,分析区域 NPP 变化的差异性。在不同的

自然条件下,水热条件具有不同程度的差异,植被生产力水平也因此具有差异。如 200、400 mm 等降水量线分别是荒漠带与草原带、草原带与森林带分界线,说明降水及干湿条件差异直接影响地表覆盖。同时干湿条件影响区域土壤的水分空间分布,而不同的土壤类型其保水性及对降雨的下渗能力又有很大不同,发育不同的植被类型,因而研究区内的干旱区及半干旱区、干旱土及高山土 NPP 水平较低,半湿润区、淋溶土及半淋溶土为 NPP 水平的高值区。不同的地貌类型,其高程值及坡度水平差异明显,水热条件也明显不同,如迎风坡与背风坡、山顶与谷底的降水量与太阳辐射的差异。因而研究区风蚀地貌区、高程值大于 1 000 m、尤其高程大于 2 500 m 的高山区植被覆盖差,NPP 水平低;台塬、低河漫滩、高程值较低区域的 NPP 水平高。研究区坡度 > 25°的陡坡区 NPP 增幅明显主要为人为活动的影响,黄土高原地区是国家“退耕还林、还草”政策的重点实施区域。植被类型的差异使其叶面积指数、垂直植被指数、郁闭度等差异明显,因而直接影响 NPP 水平的大小。

2.3 不同地貌类型区的 NPP 影响因素分析

本文以探究 NPP 空间格局形成机理及不同地貌类型对植被覆盖的影响因素为目的,基于 ArcGIS10.2 软件平台,采用 Sample 工具,进行随机采样,共采得 63 936 个样本,按照 8 类地貌类型对采样

点进行归并。选取 4 个一级影响因子(地形、土壤、植被、气候),17 个二级影响因子(坡向、高程、坡长、坡度、粗砂、粉砂、粘粒、有机质、全氮、全磷、全钾、归一化植被指数、植被类型、光能利用率、太阳辐射、气温、降水),建立影响因子栅格数据库,以 1998—2010 年 NPP 物质质量平均值作为因变量,栅格数据转为点

数据,运行 Sample 运算后,每个因变量点均对应 17 个自变量点,将 63 936 个样本提取出自变量与因变量数值,在 SPSS 软件中进行空间双变量相关分析,并在 0.01 和 0.05 的相关系数临界值水平下进行双边显著性检验,计算结果见表 1。

表 1 黄土高原地貌类型区 NPP 与自然因素相关系数

影响因素 Influence factors		地貌类型 Land-forms types							
一级 Primary	二级 Secondary	山地 Mountain	黄土梁卯 Loess beam/mao	台塬 Loess platform	塬 loess tableland	风蚀地貌 Wind-erosion landform	台地 Platform	平原 Plain	低河漫滩 Low- floodplain
自由度	Degree of freedom	22570	11537	667	4075	8132	1377	15506	72
地形 Terrain	坡向 Aspect	- 0.011	- 0.002	- 0.057	0.001	- 0.009	- 0.019	0.0001	0.032
	高程 Elevation	0.117 * *	0.520 * *	- 0.679 * *	- 0.286 * *	0.496 * *	0.661 * *	0.345 * *	0.113
	坡长 Slope length	0.255 * *	0.215 * *	0.401 * *	0.004	0.105 * *	0.237 * *	0.362 * *	- 0.569 * *
	坡度 Slope	0.003	0.002	- 0.022	- 0.085 * *	- 0.017	0.032	0.032 * *	- 0.043
土壤 Soil	粗砂 Coarse sand	0.068 * *	- 0.162 * *	0.641 * *	- 0.030	- 0.059 * *	- 0.127 * *	0.232 * *	0.029
	粉砂 Silt	0.200 * *	0.309 * *	0.276 * *	0.319 * *	0.059 * *	0.226 * *	0.226 * *	- 0.115
	粘粒 Clay	0.089 * *	0.102 * *	- 0.127 * *	0.118 * *	0.074 * *	0.391 * *	0.092 * *	- 0.179
	有机质 Organic	0.105 * *	- 0.022 *	0.510 * *	- 0.085 * *	0.039 * *	0.154 * *	0.281 * *	- 0.035
	全氮 Total N	0.034 * *	- 0.025 * *	0.342 * *	- 0.052 * *	0.104 * *	0.134 * *	0.285 * *	0.222
	全磷 Total P	0.007	0.025 * *	0.294 * *	- 0.044 * *	0.024 *	0.069 *	0.232 * *	0.231
	全钾 Total K	- 0.126 * *	- 0.038 * *	- 0.033	- 0.072 * *	0.054 * *	- 0.291 * *	0.033 * *	- 0.122
植被 Vegetation	NDVI	0.145 * *	0.162 * *	- 0.101 * *	0.503 * *	0.053 * *	0.272 * *	0.058 * *	0.177
	植被类型 Vegetation type	0.181 * *	0.150 * *	0.421 * *	0.166 * *	- 0.171 * *	0.242 * *	0.179 * *	0.172 * *
气候 Climate	光能利用率 Solar energy use efficiency	0.262 * *	0.319 * *	0.256 * *	0.272 * *	0.709 * *	0.567 * *	0.418 * *	0.180
	太阳辐射 Solar radiation	- 0.462 * *	- 0.613 * *	- 0.458 * *	- 0.215 * *	- 0.911 * *	- 0.738 * *	- 0.738 * *	- 0.312 * *
	气温 Temperature	0.130 * *	0.258 * *	0.978 * *	0.323 * *	0.828 * *	- 0.101 * *	0.425 * *	0.541 * *
	降水 Precipitation	0.509 * *	0.424 * *	0.865 * *	0.661 * *	0.354 * *	0.687 * *	0.599 * *	0.814 * *

注: * * 在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。
Note: * * significant correlation at the 0.01 level (double side), * significant correlation at the 0.05 level (double side).

影响黄土高原地区 NPP 的主导因素为气候因子及植被因子,显著性水平大多在 0.01 水平显著。低河漫滩面积不足研究区面积的 0.5%,随机采样点数量少,共 72 个,故与 17 个二级影响因子的相关性表现不明显,这里不作讨论。通过对不同地貌类型区 NPP 与自然因子相关性测评,得出结果如下:

(1) 不同地貌类型区 NPP 物质质量的一级影响因子差异不大,二级因子具有一定差异。影响 NPP 空间分布格局差异的首要因素为气候因子,主要指水热条件,山地、塬、台地、平原、低河漫滩区的 NPP 物质质量与降水因子相关性最大,相关系数分别为 0.509、0.661、0.687、0.599、0.814,且均为 0.01 水平(双侧)上显著相关,台塬和风蚀地貌区的 NPP 物质

量与气温因子最为显著,0.01 置信水平下相关系数分别为 0.978、0.828。而只有黄土梁卯区 NPP 物质质量的主导因素为非气候因子,与高程因子正相关性最为密切,相关系数为 0.520。黄土梁卯是黄土高原地区典型的区域地貌类型,所占面积为黄土高原总面积的 16%。黄土梁是长条状的黄土丘陵;黄土峁指单个的黄土丘陵,坡度变化较大,主要分布在丘陵沟壑区。两种黄土高原特有地貌类型区的 NPP 物质质量水平主要由高程因子决定,呈显著正相关。说明水热条件的差异是影响地表植被生产力水平的主导因素,但地貌类型的差异使 NPP 物质质量的主导因子产生差异。W. Jesse Hahm^[27]等在 PNAS 中发表的最新研究结果更是推翻了人们普遍意义上认为的

水热因子是决定植被覆盖首要条件的观点,而是认为母岩成分决定山地生态系统及景观变迁,同一气候条件下发育的植被类型会因基岩组成的不同而有很大差异。

(2) 太阳辐射对 NPP 分布影响较大,均为 0.01 水平上的显著相关,且为负相关,尤其对风蚀地貌、台地、平原区 NPP 的相关系数绝对值高达 0.7 以上。风蚀地貌区气候干旱,地表主要为沙粒,植被稀疏,在恶劣的气候条件下太阳辐射强度大使地表水分蒸发强烈,恶化了植被生长条件,故负相关水平高达 -0.911,在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

(3) 坡向因子与 NPP 物质量的相关性最小,坡度因子相关性也较小。高程因子对不同地貌类型区 NPP 物质量的相关性呈现出相反关系,山地、黄土梁卯、风蚀地貌、台地、平原区 NPP 与高程水平呈 0.01 置信水平下的显著正相关,而对台塬、塬区的 NPP 呈现 0.01 置信水平下的显著负相关。台塬区的 NPP 与高程水平相关系数较高,为 -0.679,台塬高程值越低,离河谷垂直距离越近,水分条件相对较好,植被生产力水平提高,故台塬区的 NPP 物质量与高程因子呈显著负相关,高程值越大,NPP 物质量越低。

3 结论与讨论

利用改进 CASA 模型,模拟 1998—2010 年黄土高原地区植被 NPP 的时空变化情况,对研究区不同自然因素主导地域类型区的 NPP 变化差异及不同地貌类型区影响 NPP 变化的因子进行分析。黄土高原地区为严重水土流失区及生态脆弱地区,单位面积 NPP 物质质量平均值为 94.884 ~ 50.790 gC·m⁻²·a⁻¹,明显低于全国平均水平,空间格局呈现由东南向西北逐渐降低的地带性分异特征,与水、热条件空间分布一致,内部地形地貌存在较大的差异,局部打破地带性分异特征。黄土高原南部的子午岭及黄龙林区“双肺”效应显著,为 NPP 高值聚集区。黄土高原北部、陕北风沙过渡带至内蒙古南部的毛乌素沙地及其边缘区域为干旱、半干旱气候,水热条件配置差,是 NPP 低值聚集区。自然地理环境六大要素之间通过物质循环与能量流动紧密联系,黄土高原不同自然因素主导地域类型区的 NPP 变化差异显著,其根本驱动机理为自然要素的差异产生水热条件差异,因而区域内的植被 NPP 发生变化。黄土高原地貌类型复杂多样,不同地貌类型区水热条件差异显著,故相同因子在不同地貌类型区对 NPP 变化的影响具有差异。

陆地生态系统植被 NPP 的变化是生物圈、大气圈、水圈等各圈层共同作用的复杂过程,其自然驱动力因子非单一因子,而是多因子互相交织、共同作用,具体的驱动因子也很难确定。自然地理六大要素(气候、地形、水文、土壤、植物、动物)的任一要素变化,都会影响局部小气候环境的变化。水热条件是决定植被覆盖及其生产力水平的根本原因,但水热条件同样受到其他因子的影响,其具体的驱动因子因地而异,且可能随时空变化而发生变化。如黄土梁卯地貌类型 NPP 物质量的主导因素为地形因素中的高程因子,但其根本原因是高程因子的差异而产生的水热条件的差异。阐明黄土高原不同地貌类型区地表覆盖的主要影响因素及限制因子,对恢复黄土高原植被覆盖、治理水土流失、改善生态环境等工作能够起到因地制宜的重要指导意义。本文中主要针对影响 NPP 的自然影响因素进行测评,而对于自然及社会经济因子是怎样耦合相关影响区域 NPP 变化,及人类活动对区域 NPP 影响的时间滞后性如何,都有待于我们进一步深入探究。

致谢:感谢中山大学地理科学与规划学院土地研究中心的董玉祥教授对本文的指导。

参 考 文 献:

[1] Wei Yaxing, Wang Liwen. Simulating alpine vegetation net primary productivity by remote sensing in Qinghai Province, China[J]. Journal of Mountain Science, 2014, 11(4): 967-978.

[2] Crabtree R, Potter C, Mullen R, et al. A modeling and spatial-temporal analysis framework for monitoring environmental change using NPP as an ecosystem indicator[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(7): 1486-1496.

[3] Schimel D, Enting I G, Heimann M, et al. CO₂ and the carbon cycle [C]//Climate Change 1994 (Intergovernmental panel on climate change). Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

[4] IGBP. A study of global change[R]. The International Geosphere-Biosphere Programme: The initial core projects. Report 12, Stockholm: IGBP, 1990.

[5] IGBP. The terrestrial carbon cycle: implications for the Kyoto Protocol [J]. Science, 1998, 280: 1393-1394.

[6] Goulden M L, Mcmillan A M S, Winston G C, et al. Patterns of NPP, GPP, respiration, and NEP during boreal forest succession[J]. Global Change Biology, 2011: 17(2): 855-871.

[7] A. Bastos, Steven W. Running, Célia Gouveia, et al. The global NPP dependence on ENSO: La Niña and the extraordinary year of 2011[J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2013, 118(3): 1247-1255.

[8] Florian Sallaba, Dörte Lehsten, Jonathan Seaquist, et al. A rapid NPP meta-model for current and future climate and CO₂ scenarios in Europe [J]. Ecological Modelling, 2015, 302(24): 29-41.

[9] Godfrey Pachavo, Amon Murwira. Remote sensing net primary productivity (NPP) estimation with the aid of GIS modelled shortwave radiation (SWR) in a Southern African Savanna[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014,30:217-226.

[10] Robert Crabtreea, Christopher Potterb, Randall Mullena, et al. A modeling and spatio-temporal analysis framework for monitoring environmental change using NPP as an ecosystem indicator[J]. Remote Sensing of Environment, 2009,113(7):1486-1496.

[11] Hongfei Yanga, b, Shaojie Mub, Jianlong Li. Effects of ecological restoration projects on land use and land cover change and its influences on territorial NPP in Xinjiang, China[J]. CATENA, 2014, 115:85-95.

[12] Baoxiong Chena, b, Xianzhou Zhanga, Jian Tao, et al. The impact of climate change and anthropogenic activities on alpine grassland over the Qinghai - Tibet Plateau[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2014,189:11-18.

[13] Juan Gu, Chunlin Huang. Influence of drought on Chinese terrestrial net primary production from 2002—2010[J]. IGARSS, 2013, 13: 1752-1755.

[14] 张懿铨,祁 威,周才平,等.青藏高原高寒草地净初级生产力(NPP)时空分异[J].地理学报,2013, 68(9):1197-1211.

[15] Dobbertin M, Eilmann B, Bleuler P, et al. Effect of irrigation on needle morphology, shoot and stem growth in a drought-exposed Pinus sylvestris forest[J]. Tree Physiology, 2010,30(3):346-360.

[16] Stinson G, Kurz W A, Smyth C E, et al. An inventory based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics, 1990 to 2008[J]. Global Change Biology, 2011,17(6):2227-2244.

[17] 穆少杰,李建龙,周 伟,等.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[J].生态学报,2013,33 (12):3752-3764.

[18] 周 涛,史培军,孙 睿,等.气候变化对净生态系统生产力的影响[J].地理学报,2004,59(3):360-365.

[19] Peter T Doran. Antarctic climate cooling and terrestrial ecosystem response[J]. Nature, 2002,415:517-519.

[20] 陈福军,沈彦俊,李 倩,等.中国陆地生态系统近 30 年 NPP 时空变化研究[J].地理科学,2011,31(11):1409-1414.

[21] 郭廷辅,刘万铨,周录随,等.GB/T15772 - 1995.水土保持综合治理规划通则[S].北京:中国标准出版社,1995.

[22] Potter C S, Randerson J, Field C B, et al. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data [J]. Global Biogeochemical Cycle, 1993,7:811-841.

[23] 朱文泉,潘耀忠,何 浩,等.中国典型植被最大光利用率模拟[J].科学通报,2006,51(6):700-706.

[24] 阳小琼,朱文泉,潘耀忠,等.基于修正的亚像元模型的植被覆盖度估算[J].应用生态学报,2008,19(8):1860-1864.

[25] 朱文泉,陈云浩,徐 丹,等.陆地植被净初级生产力计算模型研究进展[J].生态学杂志,2005,24(3):296-300.

[26] 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.

[27] W Jesse Hahm, Clifford S Riebe, Claire E Lukens, et al. Bedrock composition regulates mountain ecosystems and landscape evolution [J]. PNAS, 2014,111(9):3338-3343.

(上接第 204 页)

[20] 孔晓民,韩成卫,曾苏明,等.不同耕作方式对土壤物理性状及玉米产量的影响[J].玉米科学,2014,22(1):108-113.

[21] 晋鹏宇,任 伟,陶洪斌,等.深松对夏玉米物质生产、光合性能及根系生长的影响[J].玉米科学,2014,22(1):114-120.

[22] 兰印超,申丽霞,李若帆.不同地膜覆盖对土壤温度及水分的影响[J].中国农学通报,2013,(12):120-126.

[23] 李若帆,申丽霞,兰印超.不同覆膜处理对土壤水分温度及春玉米产量的影响[J].中国农学通报,2014,(6):209-214.

[24] 高焕文.我国北方保护性耕作的发展形势、问题与对策[C]//中国农业工程学会.纪念中国农业工程学会成立 30 周年暨中国农业工程学会 2009 年学术年会(CSAE 2009)论文集.北京:中国农业工程学会,2009:51.

[25] 刘 爽,张兴义.不同耕作方式对黑土农田土壤水分及利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):126-131.

[26] 何文铸,李贝弗,刘永红,等.不同耕作方式对小麦花后干物质积累及产量的影响[J].西南农业学报,2005,18(4):397-402.

[27] 张 娜,张永强,李大平,等.滴灌量对冬小麦光合特性及干物质积累过程的影响[J].麦类作物学报,2014,34(6):795-801.

[28] 孙继颖,高聚林,王志刚,等.不同覆膜方式对旱作大豆生理特性及水分利用效率的影响[J].大豆科学,2008,27(2):251-254, 266.

[29] Unger P W. Straw mulch rate effects on soil water storage and sorghum yield[J]. Soil Science Society of America Journal, 1978, 42:486-491.