

2000—2015年黄河流域植被净初级生产力 时空变化特征及其驱动因子

田智慧¹, 张丹丹², 赫晓慧¹, 郭恒亮¹, 魏海涛¹

(1. 郑州大学 智慧城市研究院, 郑州 450001; 2. 郑州大学 水利与环境学院, 郑州 450001)

摘要:黄河流域区域性差异显著,生态系统环境脆弱敏感,研究植被 NPP 对其生态环境生产能力的了解具有重要意义。基于 MOD17A3 NPP 数据、气象数据和土地利用/覆盖类型数据,采用偏差分析、趋势分析、相关性分析及马尔科夫转移模型对黄河流域 2000—2015 年植被 NPP 的时空格局、变化趋势及驱动因子进行了研究。结果表明:(1) 2000—2015 年黄河流域植被年 NPP 均值为 $228.2 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,变化范围为 $179.6 \sim 258.1 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,整体上呈现微小波动增加趋势,植被 NPP 偏差值呈现先减少后增加的趋势;上中下游植被 NPP 年均值呈明显的梯度分布,即上游<中游<下游,说明中上游区域生态环境相对脆弱。(2) 黄河流域植被 NPP 具有较强的空间分异性,呈南向北带状递减分布;上中下游植被 NPP 总量差异显著,其中中上游植被 NPP 总量约占整个流域的 96%,可见中上游对整个黄河流域生态环境的影响举足轻重,故加强对中上游区域生态环境建设与保护至关重要;流域大部分地区植被 NPP 以增加为主要趋势。(3) 流域植被 NPP 受气候因素中降雨影响较大,以气候因素强驱动的区域主要分布在川西高原、鄂尔多斯高原及华北平原等地区。农用地转建设用地及草地转荒漠是黄河流域植被 NPP 损失的主要方式,可见城市加速扩张以及过度开垦、放牧等人类活动是植被 NPP 损失的主要驱动力,近几年林地、草地面积有所增加,植被 NPP 整体上损失程度有所减小,可见实施退耕还林还草政策已见成效。

关键词:黄河流域; 植被 NPP; 时空变化; 气候因子; 土地利用/覆盖变化

中图分类号: Q948; F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)02-0255-08

Spatiotemporal Variations in Vegetation Net Primary Productivity and Their Driving Factors in Yellow River Basin from 2000 to 2015

TIAN Zhihui¹, ZHANG Dandan², HE Xiaohui¹, GUO Hengliang¹, WEI Haitao¹

(1. Smart City Institute of Zhengzhou, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. College of Water Conservancy and Environmental Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The regional differences are significant and the ecological environment is fragile and sensitive in Yellow River Basin. It is of great significance to study the vegetation net primary productivity (NPP) and to understand the production capacity of ecological environment. We used MOD17A3 NPP data, meteorological data, and land use/cover type data to investigate the spatiotemporal pattern, change trends, and driving factors of vegetation NPP in Yellow River Basin from 2000 to 2015. The data were analyzed using bias analysis, trend analysis, correlation analysis, and Markov transition model. The results showed that: (1) from 2000 to 2015, the average annual vegetation NPP for Yellow River Basin was $228.2 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, ranging from 179.6 to $258.1 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, showing the slightly volatile increase; the bias value of vegetation NPP showed the decreasing trend first and then the increasing trend. The average annual NPP decreased in the order: downstream > midstream > upstream, indicating that the ecological environment in the upper and middle reaches was relatively fragile; (2) vegetation NPP had a strong spatial variability in Yellow River Basin, showing a decreasing distribution from south to north; the total amounts NPP in different reaches varied significantly, decreasing in the order: midstream > upstream > downstream, so, it was crucial to

strengthen the construction and protection of the ecological environment in the upper and middle reaches; vegetation NPP increased in most areas of the basin; (3) vegetation NPP was most affected by rainfall among the climatic factors. The regions strongly driven by climate factors mainly distributed in the western Sichuan Plateau, the Ordos Plateau, and the North China Plain; conversion of croplands to construction land and conversion of grasslands to desert were the main modes of losses of vegetation NPP in Yellow River Basin; it can be seen that the accelerated expansion of cities and human activities such as excessive reclamation and grazing were the main drivers of vegetation NPP losses. In the recent years, the areas of forests and grasslands have increased, and the overall NPP losses have been reduced. It can be seen that the implementation of Grain for Green Project has obtained initial success.

Keywords: Yellow River Basin; vegetation NPP; spatiotemporal variation; climate factors; land use/cover change

植被净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)指绿色植物在单位时间、单位面积内所累积的有机物量,是反映全球气候变化与陆地生态系统响应的重要参数^[1]。植被 NPP 作为陆地生态系统中物质循环、能量流动的重要部分^[2],不仅反映植被在自然环境下的生产能力,还是判定生态系统固碳能力和调节生态过程的关键因子,为生态环境问题研究提供重要依据^[3-4]。国内外关于植被 NPP 的研究主要集中在基于模型对植被 NPP 的模拟及其与主要影响因子的响应关系等领域^[5-9]。姚玉璧等^[7]利用气候生产潜力模型(Thorntwaite Memorial)模拟并分析了长江源区 1859—2008 年的植被 NPP 变化;崔林雨等^[8]对中国东南部植被 NPP 与气候要素的关系进行了研究;陈探等^[9]对沈阳经济区的土地利用和植被 NPP 的关系进行了研究。这些研究的结论并不具有广泛性、普适性,原因是植被 NPP 受植被自身生理特征差异影响,在不同的区域尺度上,植被类型不同,对驱动因子的敏感性和响应特征呈时空异质性^[10-11],故很难基于大尺度确定区域尺度植被 NPP 时空变化的驱动机制。鉴此,基于区域尺度对植被 NPP 的研究成为国内外学者关注的热点之一^[12-14]。黄河流域地跨我国干旱、半干旱、半湿润地区,地貌单元复杂、区域气候差异明显、土地利用/覆盖类型多样化,人类活动强度剧烈,气候变化敏感,生态系统环境脆弱^[15]。对此,亟需对黄河流域生态环境保护问题加强重视,评估其生产力状况迫在眉睫,但目前针对黄河流域植被 NPP 的研究极少。

综上,本文以黄河流域为研究区,采用偏差分析、趋势分析、相关性分析及马尔科夫转移模型探究其植被 NPP 时空变化及驱动机制,进而反映黄河流域生态环境生产能力的整体状况,为该区生态系统环境质量评价、保护及资源的合理开发、利用提供科学依据。

1 研究区概况

黄河流域发源于青海省巴颜喀拉山,位于 96° — 119°E , 32° — 42°N ,东西横跨 1 900 km,南北宽 1 100 km,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南和山东 9 省(图 1),在山东垦利县流入渤海,流域面积 79.5 万 km^2 。

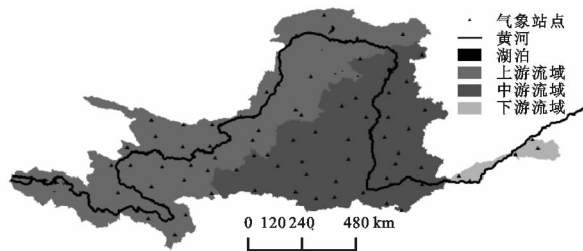


图 1 黄河流域位置及气象站点分布

黄河流域幅员辽阔,地势西高东低,西部河源地区平均海拔在 4 000 m 以上,由一系列高山组成;中部地区海拔为 1 000~2 000 m,为黄土地貌,水土流失严重;东部海拔不超过 100 m,主要由冲积平原形成。黄河流域属大陆性气候,东南部属半湿润气候,中部属半干旱气候,西北部属干旱气候。流域内地貌类型多样,生境复杂,为各种植被类型的发育创造了有利条件;主要土地利用类型为草地、林地和农用地。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

植被 NPP 源自美国 NASA(http://files.ntsg.umt.edu/data/NTSG_Products/MOD17/)提供的 2000—2015 年 MOD17A3 数据,空间分辨率重采样为 $0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$ 。该产品包含一个数据质量控制文件(NPP_QC),对其进行统计分析,舍弃可信度低、反演失败的数据,进而得到可信度达 98.56% 的中、高等级质量 NPP 数据,在 MRT 软件支持下,对 MOD17A3 数据进行格式转换(HDF 至 Tiff)、重投影(SIN 至 WGS84/Albers

Equal Area Conic)、裁剪、比例换算等,得到单位为 $\text{g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 的年 NPP 数据。

气象数据采用中国气象科学数据共享服务网 (<http://data.cma.cn/site/index.html>) 提供的 2000—2015 年黄河流域 80 个标准气象站点的月均温和月降水量数据。对其进行 Kriging 空间插值和重采样,获得与 NPP 数据栅格大小一致、投影方式相同的气象栅格数据。

土地利用/覆盖类型数据采用 USGS (<https://landsweb.nascom.nasa.gov/data/>) 提供的 2001—2013 年行列号为 H25V05/H26V04/H26V05/H27V05 的 MCD12Q1 数据,对其进行拼接、重投影、裁剪及重采样。

2.2 偏差分析

偏差反映某时间段内 NPP 偏离多年 NPP 均值的程度,其公式如下:

$$D_{ij} = \text{NPP}_{ij} - \overline{\text{NPP}_{ij}} \quad (1)$$

式中: D_{ij} 表示 NPP 的偏差值; NPP_{ij} 为某一年的 NPP 值; $\overline{\text{NPP}_{ij}}$ 为 t 年 NPP 平均值。

2.3 趋势分析

一元线性回归分析法可以消除特定年份极端气候的影响^[16],故采用此法分析河南省植被年 NPP 的变化趋势。其变化速率的计算如公式(2)所示。

$$\theta_{\text{slope}} = \frac{n \times \sum_{k=1}^n (k \times X_k) - \sum_{k=1}^n k \sum_{k=1}^n X_k}{n \times \sum_{k=1}^n k^2 - (\sum_{k=1}^n k)^2} \quad (2)$$

式中: θ_{slope} 为 NPP 的变化速率; n 为总的样本数; k 为时间序列; X_k 为第 k 年的 NPP。 $\theta_{\text{slope}} > 0$, NPP 为增加趋势; $\theta_{\text{slope}} < 0$, NPP 为减少趋势。

2.4 相关性分析

相关性分析主要用来反映要素之间的相关程度和相关方向,本研究采用基于像元的皮尔森相关系数法,考虑 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 两种置信水平来探讨植被年 NPP 对气温、降水的响应关系。其相关系数、偏相关系数、复相关系数的计算公式如下:

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2 \sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

$$r_{xy_1, y_2} = \frac{r_{xy_1} - r_{xy_2} r_{y_1, y_2}}{\sqrt{1 - r_{xy_2}^2} \sqrt{1 - r_{y_1, y_2}^2}} \quad (4)$$

$$R_{x, y_1, y_2} = \sqrt{1 - (1 - r_{xy_1}^2)(1 - r_{xy_2}^2)} \quad (5)$$

式中: $r_{x,y}$ 为 x, y 两变量的相关系数; x_k, y_k 为 x, y 两变量第 k 年的值; \bar{x}, \bar{y} 分别为两变量的平均值; r 的取值范围为 $[-1, 1]$, $r > 0$ 表示正相关; $r < 0$ 表示负相关, $|r|$ 值越大,说明要素之间的相关性越高; $r = 0$ 表示

零相关。 r_{xy_1, y_2} 为将 y_2 固定后 x 与 y_1 之间的偏相关系数; r_{xy_1} 表示 x 与 y_1 的相关系数; r_{xy_2} 表示 x 与 y_2 的相关系数; r_{y_1, y_2} 表示 y_1 与 y_2 的相关系数; R_{x, y_1, y_2} 为 x 与 y_1, y_2 之间的复相关系数; r_{xy_2, y_1} 为将 y_1 固定后 x 与 y_2 之间的偏相关系数。用公式(6) T 检验法分析偏相关系数的显著性,用公式(7) F 检验法分析复相关系数的显著性,其中: m, k 分别为相对应的自变量个数。

$$T = \frac{r_{xy_1, y_2}}{\sqrt{1 - r_{xy_1, y_2}^2}} \sqrt{n - m - 1} \quad (6)$$

$$F = \frac{R_{x, y_1, y_2}^2}{1 - R_{x, y_1, y_2}^2} \times \frac{n - k - 1}{k} \quad (7)$$

式中: n 为样本个数; m 为自变量个数。

2.5 马尔科夫转移模型

采用马尔科夫转移模型来描述黄河流域土地类型的定量转换关系,反映不同时间段内流域内各种土地类型减少面积去向或增加面积来源。转移矩阵表达式为:

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1j} \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{i1} & C_{i2} & \cdots & C_{ij} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中: C_{ij} 是流域第 i 种和第 j 种土地类型之间相互转换量。

3 结果与分析

3.1 植被 NPP 的时间变化特征

通过对黄河流域植被年均 NPP 及各年 NPP 偏差值进行统计(图 2)可知,2000—2015 年黄河流域植被 NPP 的变化范围为 $179.6 \sim 258.1 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,平均值为 $228.2 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,最大值出现在 2012 年,达到 $258.1 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,超过平均值 $29.9 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,最小值则在 2001 年,为 $179.6 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,低于平均值 $48.6 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,2000—2015 年黄河流域植被 NPP 整体上呈现微小的波动增加趋势。植被 NPP 的偏差值呈现先减少后增加的趋势,其中 2000 年和 2001 年的植被 NPP 偏差值较大,说明偏离平均水平程度较严重,从 2008 年开始,除 2011 年以外植被 NPP 的偏差值均高于平均水平。

通过对黄河流域上中下游植被年均 NPP 值统计(图 3)可知,黄河流域 2000—2015 年各河段植被 NPP 整体呈波动上升趋势,但各河段多年植被 NPP 年均值差异显著。2001 年上、中、下游植被 NPP 均出现低峰值,这可能与当年黄河流域出现的大面积旱灾^[17]有关,导致植被枯死,生态环境恶劣;2011 年上游、中游植被 NPP 出现低峰值,这可能与该年的暴

雨^[18]有关,导致水土流失、植被覆盖率低。植被 NPP 上游变化浮动较小,中游、下游变化趋势基本一致,浮动相对显著。上中下游植被 NPP 值呈明显的层次分布,即上游植被 NPP 均值 $[186.3\text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ <中

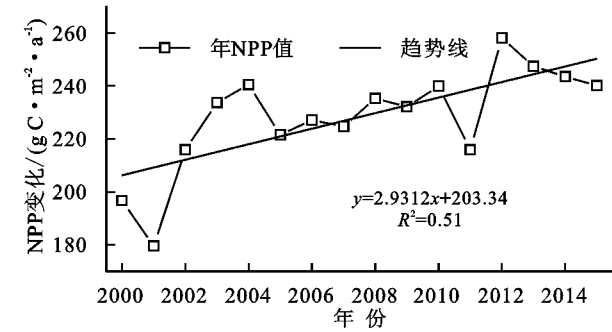


图 2 黄河流域 2000—2015 年 NPP 年际变化和偏离分析

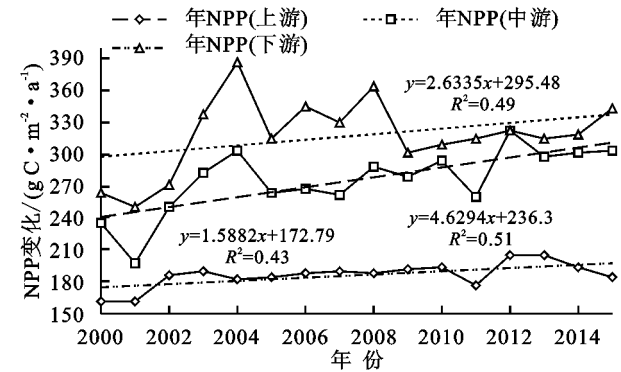


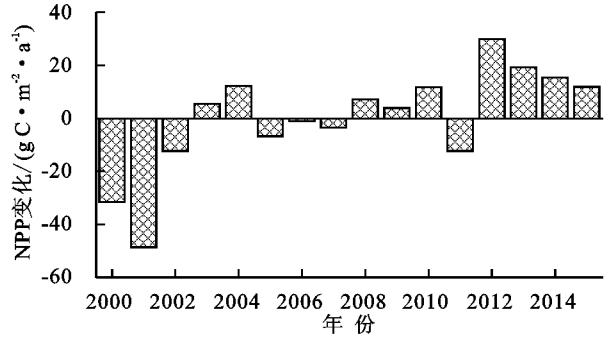
图 3 黄河流域 2000—2015 年上中下游 NPP 年际变化

3.2 植被 NPP 的空间变化特征

黄河流域 2000—2015 年近 16 a 植被年均 NPP 具有较强的空间分异性规律(图 4),整体由南向北呈带状递减分布,其差异与水热条件有关。流域上游:西北部的祁连山区、中北部的贺兰山区由于林地种植导致植被 NPP 较高;东北部的毛乌素沙漠和北部的内蒙古地区自然条件恶劣,植被 NPP 相对较低,但河套平原由于气候条件良好,农用地面积较广,植被 NPP 也较高;西南部的青海高原与三江源地区受强大陆性气候控制,降水稀少,植被稀疏,植被 NPP 较低;被誉为“黄河之肾”的玛曲湿地水源充足,植被 NPP 也较高。流域中游:陕北高原和秦岭山系水热条件好,树木种植广泛,植被 NPP 较高;吕梁山西部植被 NPP 较低,这可能与吕梁山北北东走向有关,阻挡了来自东部的水汽,气候干燥,不利于植被生长;黄土高原局部地区植被 NPP 较低,可能与该区含沙量大,易暴雨成灾有关。流域下游:大部分地区处于平原地带,水热条件好,农田面积广泛,植被 NPP 普遍较高。

通过对黄河流域各河段植被 NPP 总量值统计(图 5)可知,由于中上游面积远远大于下游面积,致使中游 NPP 总量(95.10 Tg C)>上游 NPP 总量(79.92 Tg C)>下游 NPP 总量(7.31 Tg C),其中中

游植被 NPP 均值 $[275.7\text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ <下游植被 NPP 均值 $[317.9\text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$,这可能与中上游受降水稀少、蒸发强烈、风大沙多等气候的影响有关,区域生态环境脆弱。



上游植被 NPP 总量约占整个黄河流域植被 NPP 总量的 96%,可见中上游对整个流域植被 NPP 的贡献最大,对整个流域生态环境的影响举足轻重,故加强流域中上游区域生态环境建设与保护至关重要。

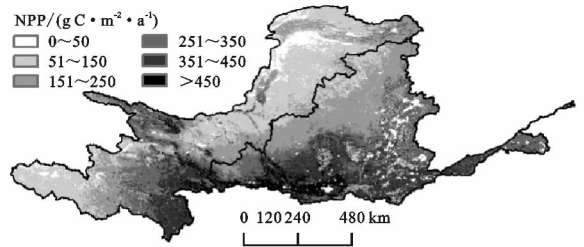


图 4 2000—2015 年黄河流域平均 NPP 空间分布

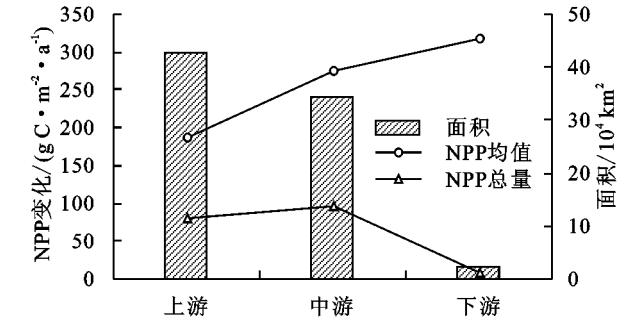


图 5 黄河流域上中下游 NPP 均值及总量变化

3.3 植被 NPP 的变化趋势分析

基于像元尺度对黄河流域 2000—2015 年植被 NPP 的年际变化进行一元线性回归分析,得到研究区每个栅格的 NPP 变化趋势,并对其结果进行标准差重分类(图 6)。植被年 NPP 的变化趋势呈明显的地域性空间差异特征。植被 NPP 呈明显增加区域(变化斜率>8)主要分布在陇中高原,这里林地种植面积较多。植被 NPP 呈严重退化区域(变化斜率<-8)主要分布在吕梁山周边,这里水热资源分布不协调,水土流失严重,农作物产量很低。

通过对植被 NPP 不同变化程度所占面积比进行统计(表 1)可知,黄河流域 2000—2015 年植被 NPP

改善区域[$>1\text{ g C}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$]占流域总面积的 69.31%,退化区域[$<-1\text{ g C}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$]占 5.58%,整体上大部分地区植被 NPP 呈轻微增加(占 36.63%)。上游植被 NPP 主要呈轻微增加(占 45.92%);中游植被 NPP 主要呈中度增加(占 42.66%);下游植被 NPP 主要呈轻微增加(占 53.61%)。由此说明黄河流域植被 NPP 以增加为主要趋势。

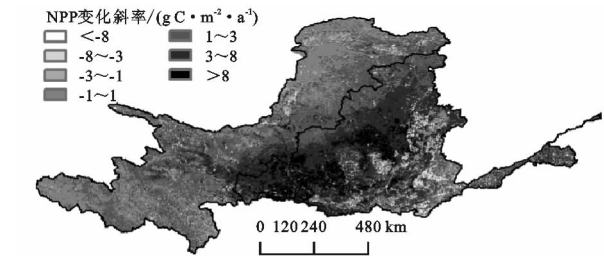


图 6 2000—2015 年黄河流域 NPP 变化趋势空间分布

表 1 2000—2015 年黄河流域 NPP 变化趋势统计

NPP 变化斜率/ ($\text{g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)	变化程度	占面积百分率/%			
		全流域	上游	中游	下游
<-8	严重减少	1.08	0.58	1.71	1.01
$-8\sim-3$	中度减少	2.67	1.74	3.84	2.68
$-3\sim-1$	轻微减少	1.83	2.03	1.56	2.31
$-1\sim1$	基本不变	25.11	38.65	8.56	14.25
$1\sim3$	轻微增加	<u>36.63</u>	<u>45.92</u>	23.97	<u>53.61</u>
$3\sim8$	中度增加	24.24	9.61	<u>42.66</u>	24.82
>8	明显增加	8.44	1.47	17.70	1.32

注:下划线值表示所占比例最为显著,下表同。

3.4 气象因子对植被 NPP 的影响

3.4.1 气象因子的变化分析 黄河流域 2000—2015 年均降雨量为 379.98~561.33 mm,多年均值为 443.01 mm,其中 2003 年均降雨量最大,最小则在 2000 年,这 16 a 降雨量呈增加趋势,变化率为 2.758 mm/a。降雨量从南向北呈递减趋势,流域内四川、陕西东南部、河南及山东降雨较多,甘肃和宁夏北部、内蒙古西北部降雨较少。黄河流域平均气温为 7.1~8.2℃,多年均值为 7.7℃,平均气温最高值在 2006 年,最小在

2012 年,年均温变化浮动不大,变化率为 0.012 6℃/a。气温值东西差异明显,流域中部、东部温度较高,尤其是陕西西南部、山西与河南交界处温度最高,西部的青海、四川温度较低。

3.4.2 植被 NPP 与气象因子的关系 逐像元计算 2000—2015 年黄河流域植被 NPP 与年降水、气温之间的偏相关系数,可知植被 NPP 对气候因子的响应呈显著的空间差异性。植被 NPP 与年降水的偏相关系数为 $-0.88\sim0.94$,植被 NPP 与降水呈正相关的面积占总面积的 67.9%,主要分布在流域内的青海及甘肃北部、宁夏南部、内蒙古东部等地区;呈负相关的面积占总面积的 32.1%,主要分布在流域内的四川地区。植被 NPP 与年均温的偏相关系数为 $-0.84\sim0.94$,正负相关区域分别占流域总面积的 53.6%,46.4%,呈正相关的区域主要集中分布在流域内的青海、四川及河南东部地区,而负相关区域主要分布在流域中部,尤其是内蒙古西南部及陕西中部地区。

分别对降水、气温与植被 NPP 的偏相关系数进行显著性 T 检验(图 7)可知,降水的偏相关系数有 28.23% 的区域通过 $p<0.05$ 水平的检验,有 11.59% 区域通过 $p<0.01$ 水平的检验,极显著相关区域主要分布在流域内的祁连山、腾格里沙漠、六盘山、毛乌素沙地、鄂尔多斯高原、川西高原及华北平原局部地区,主要原因有沙漠地区气候干燥,水资源缺乏;高原区海拔较高,植被受人类干扰小,对降水响应较强;平原地区多为农作物,降水对其植被影响较大。气温的偏相关系数有 13.53% 区域通过 $p<0.05$ 水平的检验,有 4.93% 区域通过 $p<0.01$ 水平的检验,极显著相关区域主要分布在流域内川西高原及华北平原等局部地区,主要原因有高原气温较低,抑制植被生长,温度上升有利于植被 NPP 增加;降水充沛时,温度越高,越有利于农作物进行光合作用。整体上,流域受气候因素中降水影响较大。

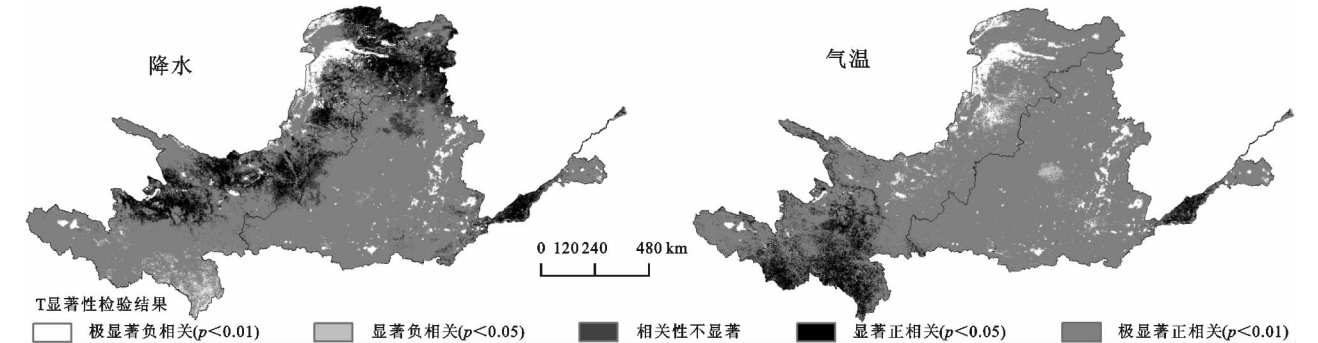


图 7 植被 NPP 与降水、气温的偏相关系数的 T 显著性检验结果空间分布

由植被 NPP 与气温、降雨的复相关系数空间分布(图 8A)可知,植被与气候因子的复相关系数为 0~0.94,

经 F 显著性检验(图 8B),植被 NPP 与气候因子复相关性显著($p<0.05$)的区域占总面积的 23.91%,相

关性极显著($p<0.01$)区域占 7.63%,主要集中在川西高原、鄂尔多斯高原及华北平原等地区;黄河流域

植被 NPP 与气候因子间复相关性存在地区差异,可能与植被类型以及地形有关。

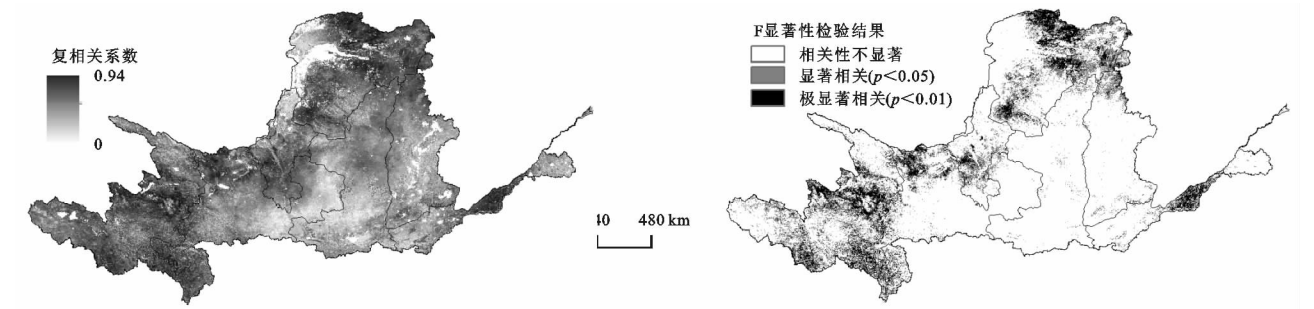


图 8 2000—2015 年黄河流域植被 NPP 与气温—降水的复相关系数及其 F 显著性检验结果空间分布

3.5 土地利用/覆盖变化对植被 NPP 的影响

3.5.1 土地利用/覆盖的动态变化 由表 2 可知,2001—2007 年黄河流域土地利用/覆盖转移总面积约为 21.36 万 km²,占流域总面积的 27.4%。草地转出面积(8.37 万 km²)最多,转向农用地、建设用地、林地的面积分别占 36.6%,25.2%,15.9%,表明农业开垦、放牧较为普遍。农用地转出面积(4.85 万 km²)次之,其中有 65.9%的面积转向建设用地,说明城市化建设占用了大量农用地作为其对外扩展用地。水域转出面积(1.22 万 km²)相对较少,其 83.2%转向农用地,表明人们利用河滩、湖水边开垦农田比较普遍,河道中种植粮食作物,挤占了较多的水域面积。

由表 3 可知,2007—2013 年黄河流域土地利用/覆盖转移总面积约为 23.11 万 km²,占流域总面积的 29.6%。农用地转出面积(10.04 万 km²)最多,转向建设用地、草地、林地的面积分别占 38%,29.5%,20.6%,可见城市化进程加速,农用地被占面积继续增加,同时退耕还林还草政策已见成效。草地转移面积(6.72 万 km²)次之,主要转移为农用地、建设用地和灌丛,分别占草地转出面积的 39.5%,34.7%,15.6%,反映了部分区域草地继续被开垦,退化相当严重。荒漠转出面积(0.82 万 km²)相对较少,其 53.5%转向草地,说明黄河流域沙地治理初有成效,通过在沙地种植耐干旱、

抗风沙的植物,使得部分沙漠化土地重新变为绿洲。

黄河流域土地转移类型主要发生在草地与农用地、建设用地、林地、荒漠之间,农用地与建设用地、林地、水域之间,主要是以建设用地、农用地、林地转入和草地、水域、荒漠转出为主要特点。

3.5.2 不同土地利用/覆盖类型转换下的植被 NPP 变化分析 不同的土地利用/覆盖类型间相互转换,直接影响到该区域的生态系统结构,进而影响植被 NPP。表 4—5 为不同土地利用/覆盖类型转换下植被 NPP 的损益情况。2001—2007 年,草地转向农用地、林地使植被 NPP 增加量(2 664 717.9 t/a)最大,转向建设用地、水域使植被 NPP 损失(53 363.5 t/a)最大;林地转向其他土地类型时植被 NPP 均减少,其转向草地造成植被 NPP 损失(242 680.9 t/a)最大;湿地转草地使植被 NPP 减少(80 660.2 t/a)显著;农用地转向建设用地使植被 NPP 损失(137 436.1 t/a)最大;建设用地转向农用地使植被 NPP 增加量(352 292.0 t/a)最大;荒漠转为其他土地类型时植被 NPP 均有增加,其转向草地、灌丛使植被 NPP 增加量(102 001.2 t/a)最大。2007—2013 年植被 NPP 损失最大的转移方式是林地转草地以及农用地转建设用地,共 538 198.6 t/a;;植被 NPP 收益最大的转移方式是草地、湿地转农用地以及灌丛、农用地转林地,共 2 023 610.6 t/a。

表 2 黄河流域 2001—2007 年土地利用/覆盖转移矩阵 10⁴ km²

土地利用/覆盖类型		2007 年								2001 年 总面积	转出 面积
		草地	灌丛	林地	水域	湿地	农用地	建设 用地	荒漠		
2001 年	草地	41.43	0.92	1.33	0.03	0.86	3.06	2.11	0.06	49.81	8.37
	灌丛	1.01	0.61	0.58	0.00	0.08	0.26	0.01	0.00	2.56	1.95
	林地	0.36	0.30	4.07	0.01	0.03	0.04	0.01	0.00	4.82	0.74
	水域	0.14	0.02	0.01	0.16	0.01	1.02	0.01	0.03	1.38	1.22
	湿地	1.11	0.09	0.05	0.01	0.50	1.23	0.05	0.02	3.07	2.56
	农用地	1.02	0.13	0.06	0.01	0.39	8.27	3.20	0.04	13.12	4.85
	建设用地	0.25	0.04	0.02	0.00	0.06	0.44	0.54	0.02	1.37	0.84
	荒漠	0.46	0.09	0.00	0.06	0.05	0.10	0.06	1.14	1.96	0.82
2007 年总面积		45.79	2.20	6.13	0.28	1.98	14.41	5.97	1.31		
转入面积		4.36	1.59	2.06	0.12	1.48	6.14	5.44	0.17		21.36

表 3 黄河流域 2007—2013 年土地利用/覆盖转移矩阵

10⁴ km²

土地利用/覆盖类型		2013 年								2007 年 总面积	转出 面积
		草地	灌丛	林地	水域	湿地	农用地	建设 用地	荒漠		
2007 年	草地	39.07	1.05	0.53	0.03	0.05	2.65	2.33	0.07	45.79	6.72
	灌丛	0.98	0.53	0.57	0.00	0.04	0.05	0.01	0.01	2.20	1.67
	林地	0.49	0.31	4.29	0.01	0.01	0.43	0.58	0.00	6.13	1.83
	水域	0.05	0.01	0.01	0.16	0.01	0.01	0.01	0.02	0.28	0.12
	湿地	0.87	0.06	0.05	0.00	0.44	0.45	0.09	0.01	1.98	1.54
	农用地	2.96	0.60	2.07	0.01	0.56	4.37	3.82	0.03	14.41	10.04
	建设用地	0.10	0.02	0.01	0.00	0.02	0.20	5.60	0.02	5.97	0.38
	荒漠	0.44	0.07	0.00	0.05	0.04	0.18	0.04	0.49	1.31	0.82
	2013 年总面积	44.96	2.65	7.54	0.27	1.17	8.35	12.47	0.65		
转入面积		5.89	2.12	3.25	0.11	0.72	3.98	6.87	0.16		23.11

总之,农用地转建设用地及草地转荒漠是黄河流域植被 NPP 损失的主要方式,可见城市加速扩张以及过度开垦、放牧等人类活动是植被 NPP 损失的主要驱动力。

相比 2001—2007 年,2007—2013 年林地、草地面积有所增加,植被 NPP 整体上损失程度有所减小,可见在意识生态恶化、环境脆弱等严重问题后,实施退耕还林还草政策已见成效。

表 4 2001—2007 年不同土地利用/覆盖类型转换下的 NPP 损益矩阵

t/a

土地利用/覆盖类型		2007 年							
		荒漠	草地	灌丛	林地	水域	湿地	农用地	建设用地
2001 年	草地	—	97776.0	435913.7	—1980.0	121336.7	2228804.2	—51383.5	—924.1
	灌丛	—82015.7	—	325221.8	—99.3	938.6	31053.0	—7239.6	—93.5
	林地	—242680.9	—24447.7	—	—808.6	—170.0	—3524.6	—4798.4	0.0
	水域	26715.8	2349.5	1371.1	—	972.1	6244.6	689.8	—82.2
	湿地	—80660.2	—87.5	37835.2	—528.9	—	912485.8	—34915.8	—1616.9
	农用地	—1406.6	—1055.7	74806.2	—2631.5	—955.4	—	—137436.1	—935.1
	建设用地	85749.3	16741.1	15627.4	—136.0	36248.1	352292.0	—	—496.9
	荒漠	77737.6	24263.6	127.3	717.9	5467.8	8235.7	2518.7	—

表 5 2007—2013 年不同土地利用/覆盖类型转换下的 NPP 损益矩阵

t/a

土地利用/覆盖类型		2013 年							
		荒漠	草地	灌丛	林地	水域	湿地	农用地	建设用地
2007 年	草地	—	77205.6	120915.4	—2014.4	87346.4	1213247.6	—58492.8	—1312.2
	灌丛	—62364.0	—	312556.1	—80.7	741.4	2643.1	—8770.1	—113.5
	林地	—315084.8	—27955.1	—	—970.4	—233.0	—13858.5	—12006.3	0.0
	水域	8630.7	1199.4	1201.7	—	727.5	972.6	500.4	—64.8
	湿地	—55084.7	—82.5	33866.3	—191.7	—	371998.5	—44377.7	—624.9
	农用地	—2298.8	—1452.0	125808.4	—2298.8	—567.1	—	—223113.8	—397.3
	建设用地	12161.2	3293.2	7129.5	—209.1	6186.0	34399.8	—	—213.7
	荒漠	64074.7	21932.8	215.7	643.6	4343.6	9835.0	1156.9	—

4 结 论

(1) 2000—2015 年黄河流域植被年 NPP 均值为 228.2 g C/(m² · a),变化范围为 179.6~258.1 g C/(m² · a),整体上呈现微小的波动增加趋势,植被 NPP 偏差值呈现先减少后增加的趋势;上中下游植

被 NPP 年均值均呈波动上升趋势,呈明显的梯度分布,即上游<中游<下游,说明中上游区域生态环境相对脆弱。

(2) 黄河流域植被 NPP 具有较强的空间分异性,呈由南向北带状递减分布,其差异与水热条件有关;上中下游植被 NPP 总量差异显著,即中游>上游>

下游,其中中上游植被 NPP 总量约占整个黄河流域植被 NPP 总量的 96%,可见中上游对整个流域植被 NPP 的贡献最大,对整个流域生态环境的影响举足轻重,故加强流域中上游区域生态环境建设与保护至关重要。

(3) 植被年 NPP 的变化趋势呈显著地域性空间差异特征,流域大部分地区植被 NPP 以增加为主要趋势。

(4) 黄河流域植被 NPP 主要受降水影响的区域有祁连山、腾格里沙漠、六盘山、毛乌素沙地、鄂尔多斯高原、川西高原及华北平原局部地区,主要受气温影响的区域有川西高原及华北平原等局部地区,整体上,流域植被 NPP 受气候因素中降雨影响较大,以气温—降水强驱动的区域主要集中在川西高原、鄂尔多斯高原及华北平原等地区。这种差异性地区分布,可能与植被类型以及地形有关。

(5) 黄河流域土地利用/覆盖类型以建设用地、农用地、林地转入和草地、水域、荒漠转出为主要特点;农用地转建设用地及草地转荒漠是黄河流域植被 NPP 损失的主要方式,可见城市加速扩张以及过度开垦、放牧等人类活动是植被 NPP 损失的主要驱动力,近几年林地、草地面积有所增加,植被 NPP 整体上损失程度有所减小,可见在意识到生态恶化、环境脆弱等严重问题后,实施退耕还林还草政策已见成效。

参考文献:

- [1] 王强,张廷斌,易桂花,等. 横断山区 2004—2014 年植被 NPP 时空变化及其驱动因子[J]. 生态学报, 2017, 37(9): 3084-3095.
- [2] 王新闯,王世东,张合兵. 基于 MOD17A3 的河南省 NPP 时空格局[J]. 生态学杂志, 2013, 32(10): 2797-2805.
- [3] 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.
- [4] 姜春,吴志峰,程炯,等. 广东省土地覆盖变化对植被净初级生产力的影响分析[J]. 自然资源学报, 2016, 31(6): 961-972.
- [5] Zhu W, Pan Y, Liu X, et al. Spatio-temporal distribution of net primary productivity along the northeast China transect and its response to climatic change[J]. Journal of Forestry Research, 2006, 17(2): 93-98.
- [6] 郭连发,来全,伊博力,等. 2000—2014 年呼伦贝尔沙地河流湿地植被 NPP 时空变化及驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2017, 24(6): 267-272.
- [7] 姚玉璧,杨金虎,王润元,等. 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[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2521-2528.
- [8] 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.
- [9] 陈探,刘森,胡远满,等. 沈阳经济区土地利用和净初级生产力变化[J]. 生态学报, 2015, 35(24): 8231-8240.
- [10] 张峰,周广胜,王玉辉. 基于 CASA 模型的内蒙古典型草原植被净初级生产力动态模拟[J]. 植物生态学报, 2008, 32(4): 786-797.
- [11] Piao S L, Fang J Y, Chen A P. Seasonal dynamics of terrestrial net primary production in response to climate changes in China [J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(3): 269-275.
- [12] 宋艺,李小军,江涛. 2008—2014 年植被覆盖变化对黑河流域净初级生产力的影响研究[J]. 水土保持研究, 2017, 24(4): 204-209, 218.
- [13] 赵国帅,王军邦,范文义,等. 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[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 621-630.
- [14] 王芳,汪左,张运. 2000—2015 年安徽省植被净初级生产力时空分布特征及其驱动因素[J]. 生态学报, 2018, 38(8): 1-13.
- [15] 陈强,陈云浩,王萌杰,等. 2001—2010 年黄河流域生态系统植被净第一性生产力变化及气候因素驱动分析[J]. 应用生态学报, 2014, 25(10): 2811-2818.
- [16] 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[J]. 地理科学, 2012, 32(9): 1106-1111.
- [17] 张强,高歌. 我国近 50 年旱涝灾害时空变化及监测预警服务[J]. 科技导报, 2004(7): 21-24.
- [18] 杨荆安,闵爱荣,廖移山. 2011 年 4—10 月我国主要暴雨天气过程简述[J]. 暴雨灾害, 2012, 31(1): 87-95.