

2001-2015年中国植被覆盖人为影响的时空格局

王建邦¹, 赵军¹, 李传华¹, 朱钰², 康重阳¹, 高超¹

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070; 2. 云南大学国际河流与生态安全研究院, 昆明 650500)

摘要: 基于MODIS-NDVI和气温、降水数据,使用基于变异系数的人为影响模型定量计算了2001-2015年中国植被覆盖人为影响,辅以趋势分析、Hurst指数等方法探讨了中国植被覆盖人为影响的时空变化特征及未来演变趋势。研究发现:① 2001-2015年,中国植被覆盖人为影响由南向北空间分异愈发明显,年均值为-0.0102,植被覆盖在人类活动影响下轻微减少,负影响面积占51.59%,略大于正影响面积。② 中国植被覆盖人为影响年际变化特征明显,整体呈负影响波动减少趋势,降速为0.5%/10a,其中正影响、负影响均呈增大趋势,正影响增速(0.3%/10a)远大于负影响(0.02%/10a)。③ 2001-2015年间,中国植被覆盖人为正影响重心向东北方向移动,负影响重心向西南方向移动,东北部植被覆盖在人为影响下不断改善,西南部人类活动对植被破坏程度不断增大。④ 中国植被覆盖人为影响主要呈负影响减少和正影响增大趋势,面积占比分别为28.14%和25.21%,生态环境趋于改善。⑤ Hurst指数分析表明,中国植被覆盖人为影响未来演变趋势的反向特征强于正向特征,主要呈人为负影响先减少后增大趋势,面积占比15.59%。

关键词: 植被覆盖;人为影响;空间分布;变化趋势

DOI: 10.11821/dlxb201903008

1 引言

21世纪以来,中国经济发展取得了举世瞩目的成就,与此同时,生态环境受到了人类空前的干扰,生态赤字逐渐扩大^[1-2],生态环境问题已成为人们最为关注和迫切需要解决的热点问题。植被作为表征生态环境变化的综合指示器,是评价生态环境质量的重要参数,植被变化在很大程度上反映了区域的环境状况^[3-5]。近年来,随着人类活动能力的增强,植被变化深刻记录了人类活动的烙印^[6],在短期内,植被的动态演变主要是受到人类活动直接和间接的影响而发生的人为胁迫演变,无论是全球、区域还是局部,人类对植被的影响在速度和程度上均超过了自然因素^[7]。人类活动对植被的影响已成为生态环境保护不可忽视的重要内容^[8]。

归一化植被指数(Normal Difference Vegetation Index, NDVI)是目前最为常用表征植被状况的指标,它与植被覆盖度、生长状况、生物量和光合作用强度密切相关,能够在较大时空尺度上客观反应研究区植被覆盖信息,被认为是检测区域植被和生态环境变化的有效指标^[9-10]。国内外学者利用NDVI数据对植被覆盖变化及其与气候变化的响应做

收稿日期: 2017-12-08; 修订日期: 2018-12-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(41661084; 41761083) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41261016; No.41761083]

作者简介: 王建邦(1991-), 男, 四川广元人, 硕士生, 研究方向为环境遥感与GIS应用。E-mail: jayden_fyxx@outlook.com

通讯作者: 赵军(1963-), 男, 山西河津人, 教授, 博士生导师, 研究方向为生态环境遥感与GIS应用。

E-mail: zhaojun@nwnu.edu.cn

了深入的研究,但是对植被覆盖人为影响关注较少^[11]。已有研究发现,内蒙古植被发生显著变化的区域,受人类活动影响的面积大于受气候影响的面积^[12];在塔里木河流域,人类活动是平原绿洲区植被生长的主要驱动力^[13];在三江源地区,人类活动可在短期内加快植被变化速率^[14];在华北,无论是植被改善区域还是退化区域,人类活动均起主导作用^[15]。

综上,目前针对植被覆盖人为影响的研究较少,且主要集中在分析其局地空间分布格局,全国尺度下植被覆盖人为影响的空间格局、时空变化特征及未来演变趋势尚不明确。基于此,本文使用MODIS-NDVI数据,通过基于变异系数的人为影响模型定量计算中国植被覆盖人为影响,并辅以Theil-Sen Median趋势分析、Mann-Kendall检验、Hurst指数,分类型、分区域对人为影响的空间格局、时空变化特征和未来演变趋势进行分析,旨在全面认识中国生态环境状况,为中国生态环境保护和建设提供决策支持。

2 数据与方法

2.1 数据及预处理

遥感数据为MOD13Q1数据,时间跨度为2001-2015年,来源于美国国家航天局(<https://modis.gsfc.nasa.gov/>),时间分辨率为16 d,空间分辨率为250 m×250 m。采用最大值合成法^[16](Maximum Synthesis Method, MVC)处理历年、逐月NDVI数据,进一步消除云、大气、太阳高度角的影响。定义每年5-9月为植被生长季,将生长季内各月份NDVI求平均值,以代表该年植被覆盖状态^[17]。此外,为消除低植被覆盖区的影响,本文结合土地利用数据、遥感影像设定阈值,将多年平均NDVI值小于0.15的区域定义为无植被覆盖区域^[18]。

气象数据为月平均气温和月降水量数据,来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。为保证资料的连续性和完整性,本文将2001-2015年有缺测或异常值的站点剔除,选取研究区内共625个气象站点,将各站点生长季内各月份气温数据求平均值、降水数据累加^[17]。气温数据考虑温度垂直递减率进行插值运算,并通过残差进行修正^[19-20];降水数据直接使用Kriging方法进行空间插值^[21],分别获取逐年与NDVI数据像元大小一致、投影相同的气温和降水栅格图。

土地利用数据(2015年)来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>),统计数据来源于《中国统计年鉴》和《中国林业统计年鉴》。

2.2 研究方法

2.2.1 基于变异系数的人为影响模型 本文使用基于变异系数的人为影响模型计算历年人类活动对NDVI的影响。该方法认为:在自然状况下,NDVI只受气候变化的影响,因此,在无人为影响的条件下,NDVI的变化特征应与气候变化特征一致^[22-23]。

(1) NDVI、气温和降水变异系数

变异系数(Coefficient of Variation, CV)是衡量序列观测值变异程度的一个统计量,计算公式为:

$$CV = \sigma / \mu \quad (1)$$

式中: σ 为标准差; μ 为算数平均值。

将栅格单元序列NDVI、气温和降水带入式(1),分别求得NDVI变异系数 CV_{NDVI} 、气温变异系数 CV_T 、降水变异系数 CV_R 。

(2) 气候变异系数

将气温、降水因子分别与NDVI做相关分析,通过相关系数比例求得各自对NDVI的影响权重 W_T 和 W_R ,乘以各自变异系数并求和,即得到气候变异系数 CV_C 。

$$CV_C = W_T \times CV_T + W_R \times CV_R \quad (2)$$

(3) 人为变异系数

NDVI变异系数与气候变异系数之差,为人变异系数 CV_H 。

$$CV_H = CV_{NDVI} - CV_C \quad (3)$$

人为变异系数表示人为作用对NDVI影响的剧烈程度,其值为0或绝对值小于某个极小值时,表示不受人为影响或影响甚微;值不为0或绝对值大于某个极小值时,表示受到人为作用的影响,绝对值越大则受人为影响程度越剧烈。

(4) 选择无人影响点

提取人为变异系数为0和绝对值小于某个极小值的栅格。通过卫星遥感影像、土地利用现状图对提取出的无人影响点进行验证,经过多次实验发现将阈值设定为0.0001时,效果最好,提取出的无人影响点分布更符合实际。在确定阈值、提取无人影响点后,再次结合土地利用现状图,通过在ArcGIS中添加卫星底图的方式,对提取的无人影响点逐点进行判断,将一些明显受到人为影响的点(如城镇、耕地等)剔除,确保模型精度。

(5) 理论NDVI

利用确定的无人影响点,提取对应点实际NDVI,这些点所对应的NDVI只受气候因子的作用,是在无人干扰下立地发育形成的,将其看成理论NDVI(Theoretical NDVI, $NDVI_T$)。采用空间插值方法对离散点进行空间化处理,得到研究区理论NDVI栅格图。

(6) NDVI人为影响值

将实际NDVI(Actual NDVI, $NDVI_A$)减去理论NDVI,即得到人为作用下NDVI变化值,称为NDVI人为影响值(NDVI influenced by human, $NDVI_H$),公式为:

$$NDVI_H = NDVI_A - NDVI_T \quad (4)$$

当 $NDVI_H > 0$ 时,表示NDVI在人为影响下增加;当 $NDVI_H < 0$ 时,表示NDVI在人为影响下减少。

2.2.2 重心转移模型 本文使用重心转移模型^[24]计算各年份人为正影响、负影响重心,以此揭示中国植被覆盖人为影响在空间上的演变特征,计算公式如下:

$$(x, y) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) \quad (5)$$

式中: x 、 y 为某年植被覆盖人为影响(正、负)分布重心的经纬度坐标; x_i 、 y_i 为人为影响像元中心经纬度; w_i 为该像元的人为影响值。当人为正影响重心向某方向移动时,表示该方向植被覆盖在人类活动影响下有所增加;当人为负影响重心向某方向移动时,表示该方向植被覆盖在人类活动影响下有所降低。

2.2.3 Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验 采用非参数化趋势度(Sen)方法^[25]来计算中国植被覆盖人为影响的变化趋势,并通过Mann-Kendall统计检验法^[26]对变化趋势的显著性进行检验^[27-28]。

(1) Sen趋势分析方法的优点是不需要样本服从一定的分布,并且不受异常值的干扰,对测量误差或离群数据具有较强的规避能力,计算公式如下:

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{NDVI_{H(j)} - NDVI_{H(i)}}{j - i} \right), \forall j > i \quad (6)$$

式中: β 为人为影响序列变化趋势; i 、 j 为时间序数; $NDVI_{H(i)}$ 、 $NDVI_{H(j)}$ 分别表示第 i 年和第 j 年人为影响值。当 $\overline{NDVI}_H > 0$ 时, 若 $\beta > 0$, 表示人为正影响呈增大趋势, 若 $\beta < 0$, 表示人为正影响呈减少趋势; 当 $\overline{NDVI}_H < 0$ 时, 若 $\beta > 0$, 表示人为负影响呈减少趋势, 若 $\beta < 0$, 表示人为负影响呈增大趋势。

(2) Mann-Kendall 是一种非参数统计检验的方法, 用来判断趋势显著性, 计算公式如下:

设定时间序列: $\{NDVI_{H(i)}\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, 标准化检验统计量 Z 定义为:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad \text{其中, } \text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (7)$$

S 统计量定义为:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(NDVI_{H(j)} - NDVI_{H(i)}) \quad (8)$$

$$\text{其中, } \text{sgn}(NDVI_{H(j)} - NDVI_{H(i)}) = \begin{cases} 1, & NDVI_{H(j)} - NDVI_{H(i)} > 0 \\ 0, & NDVI_{H(j)} - NDVI_{H(i)} = 0 \\ -1, & NDVI_{H(j)} - NDVI_{H(i)} < 0 \end{cases}$$

式中: $NDVI_{H(i)}$ 和 $NDVI_{H(j)}$ 分别表示第 i 年和第 j 年人为影响值。在给定显著性水平 α 下, 当 $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$ 时, 表示序列在 α 水平上变化显著, 当 Z 的绝对值大于 1.65、1.96、2.58 时, 表示分别通过了信度为 90%、95% 和 99% 的显著性检验。

2.2.4 Hurst 指数 通过计算 Hurst 指数^[29], 分析中国植被覆盖人为影响未来演变趋势。基于重标极差 (R/S) 分析方法的 Hurst 指数, 是一种基于长程相关思想的时间序列分析方法, 用于定量描述时间序列信息长期依赖性, 由英国水文学家 Hurst 于 1965 年提出, 其基本原理是:

设定时间序列: $\{NDVI_{H(t)}\}$, $t = 1, 2, \dots, n$, 对于任意正整数 $\tau \geq 1$, 定义均值序列:

$$\overline{NDVI}_{H(\tau)} = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} NDVI_{H(t)}, \quad \tau = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$\text{累积离差: } X(t, \tau) = \sum_{u=1}^t (NDVI_{H(u)} - \overline{NDVI}_{H(\tau)}), \quad 1 \leq t \leq \tau \quad (10)$$

$$\text{极差: } R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau), \quad \tau = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

$$\text{标准差: } S(\tau) = \left[\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} (NDVI_{H(t)} - \overline{NDVI}_{H(\tau)})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad \tau = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

考虑比值 $R(\tau)/S(\tau) \cong R/S$, 若存在 $R/S \propto \tau^H$, 说明时间序列 $\{NDVI_{H(t)}\}$, $t = 1, 2, \dots, n$ 存在 Hurst 现象, Hurst 指数简称为 H , 其值可在双对数坐标系 ($\ln(\tau)$, $\ln(R/S)$) 中用最小二乘法进行线性拟合得到。Hurst 指数 (H 值) 有 3 种形式: ① 如果 $0.5 < H < 1$, 表明该时间序列为持续性序列, 即植被覆盖人为影响未来变化趋势与过去趋势一致, 且 H 越接近于 1, 持续性越强; ② 如果 $H = 0.5$, 表明该时间序列为随机序列, 不存在长期相关性,

植被覆盖人为影响未来变化趋势与过去趋势无关；③ 如果 $0 < H < 0.5$ ，表明该时间序列具有反持续性，即植被覆盖人为影响未来变化趋势与过去趋势相反，且 H 越接近 0，反持续性越强。

以上数据处理及方法运算均通过 Python 编程实现。

3 结果分析与讨论

3.1 中国植被覆盖人为影响的空间格局

从 2001-2015 年中国平均植被覆盖人为影响的空间分布格局（图 1）可以看出，由南向北中国植被覆盖人为影响空间分异越来越明显，年均值为 -0.0102 ，在人类活动干扰下植被覆盖轻微减少。为便于分析，将人为影响值正、负分开，并进行分级，依次分为轻微、一般、严重和剧烈^[22]（表 1）。中国植被覆盖人为负影响面积略大于正影响，分别占 51.59% 和 48.41%，从轻微到剧烈所占面积均逐渐减少。负影响严重和剧烈所占比例为 9.07%，从空间分布来看，这些区域主要分布在呼伦贝尔草原、小兴安岭与东北平原过渡地带、长白山部分地区、内蒙古高原中部和东南部、黄土高原中部、关中平原、华北平原西南部、长江中下游平原、东南沿海地区、四川盆地西部和东南部以及藏南部分区域（图 1）。正影响严重和剧烈所占比例为 9.30%，主要分布在东北平原、华北平原、鄂尔多斯高原、祁连山南麓、塔里木河流域以及天山部分区域（图 1）。

以方创琳等^[30]提出的中国人文地理综合区划方案，分区域对中国植被覆盖人为影响进行讨论（表 2）。西北是人为影响唯一呈正值的区域，平均值为 0.0006，其余 7 大区域均呈负值，其中华中人为负影响最为剧烈，平均值为 -0.024 ，华东人为负影响最小，平均值为 -0.0002 ，其余 5 个区域负影响由大到小排列依次为华南、西南、东北、华北、青藏。将正、负影响分开来看，从

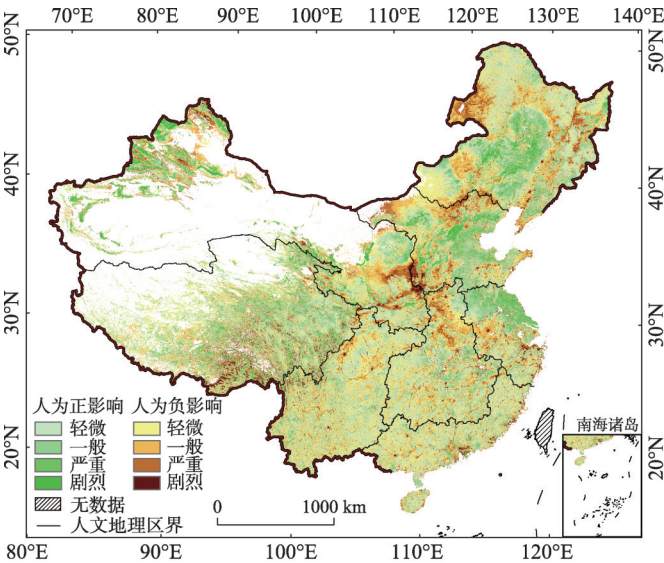


图 1 2001-2015 年中国平均植被覆盖人为影响的空间分布
Fig. 1 Spatial distribution of average NDVI_h in China from 2001 to 2015

表 1 2001-2015 年中国平均植被覆盖人为影响的方向和程度
Tab. 1 The direction and degree of average NDVI_h in China from 2001 to 2015

影响程度	影响方向	像元数	百分比(%)	平均值
轻微	正	26214701	23.71	0.0225
	负	29166196	26.38	-0.0274
一般	正	17031492	15.40	0.0742
	负	17851585	16.15	-0.0945
严重	正	7945142	7.19	0.1471
	负	7758665	7.02	-0.1909
剧烈	正	2333953	2.11	0.2614
	负	2266781	2.05	-0.3509
汇总	正	53525288	48.41	0.0679
	负	57043227	51.59	-0.0835

表2 2001-2015年各地区平均植被覆盖人为影响的方向和程度
Tab. 2 Statistics on the direction and degree of average NDVI_h in various regions from 2001 to 2015

地区	影响方向	影响程度(%)				汇总(%)	平均值	
		轻微	一般	严重	剧烈			
东北	正	25.54	14.84	7.37	1.82	49.57	0.0647	-0.0087
	负	24.63	17.29	7.51	1.00	50.43	-0.0809	
华北	正	15.38	17.59	11.78	3.66	48.41	0.0911	-0.0070
	负	20.77	18.20	10.43	2.19	51.59	-0.0991	
华东	正	20.80	20.84	14.35	0.67	56.67	0.0767	-0.0002
	负	18.82	14.71	6.64	3.16	43.33	-0.1008	
华中	正	27.89	14.43	1.87	0.06	44.25	0.0434	-0.0240
	负	29.13	18.81	6.09	1.72	55.75	-0.0776	
华南	正	33.19	11.82	0.93	0.06	45.99	0.0364	-0.0230
	负	32.78	13.91	4.80	2.52	54.01	-0.0737	
西北	正	16.58	12.81	10.15	7.77	47.31	0.1062	0.0006
	负	22.05	19.19	9.51	1.95	52.69	-0.0941	
西南	正	29.55	12.79	1.67	0.03	44.03	0.0404	-0.0185
	负	34.54	16.03	4.11	1.28	55.97	-0.0647	
青藏	正	21.67	19.05	9.87	1.37	51.96	0.0714	-0.0055
	负	26.49	11.65	6.53	3.36	48.04	-0.0887	

南到北、从东到西,中国生态脆弱性增强,植被覆盖人为正影响、负影响均呈增大趋势,其中西北正影响最大,平均值为0.1062;华东负影响最大,平均值为-0.1008。从影响面积和程度来看,华东正影响分布面积最大,占56.67%,其中15.02%呈严重和剧烈。西南负影响分布面积最大,占55.97%,但其影响程度较小,严重和剧烈程度仅占5.39%,大部分区域植被覆盖在人类活动影响下轻微减少。西北和华北正影响分布面积略小于负影响,但在严重和剧烈程度均占较大比例,植被对人类活动响应强烈,区域内环境保护和破坏问题同样突出,存在较大区域性差异。

对于不同土地利用类型,人类活动对植被覆盖影响方式和程度均存在较大差异(图2),仅林地人为影响呈正值,平均值为0.0166,草地、耕地、城镇均为负值,其中城镇负影响最大,平均值为-0.0963。比较而言,林地正影响分布面积最大,占63.50%,同时也是唯一正影响分布面积大于负影响的土地利用类型,其中8.47%呈严重和剧烈;耕地正影响分布面积较少,但在剧烈和严重程度所占比例最大,达到12.13%;城镇负影响分布面积最大,占72.27%,其中严重和剧烈程度所占面积达33.80%;草地正影响、负影响在剧烈和严重程度所占比例大致相当,分别为8.93%和8.62%。

3.2 中国植被覆盖人为影响年际变化特征

3.2.1 植被覆盖人为影响年际变化 2001-2015年,中国植被覆盖人为影响值在-0.0152~-0.0036之间,整体呈负影响波动减少趋势(图3a),降速为0.5%/10a,变化可划分为3个负影响增大阶段和3个负影响减少阶段,并分别在2005年、2008年、2013年出现波峰,在2007年、2009年、2015年出现波谷。将正、负影响分开来看,中国植被覆盖人为正影响和负影响均呈增大趋势,正影响增速(0.3%/10a)远大于负影响(0.02%/10a)(图3b、3c)。

分区域来看(图4),华南、西南、青藏、华中等区域,2001-2015年间植被覆盖人为影响均为负值,其中华南、西南、青藏呈负影响增大趋势,华南和西南增速较大,均为

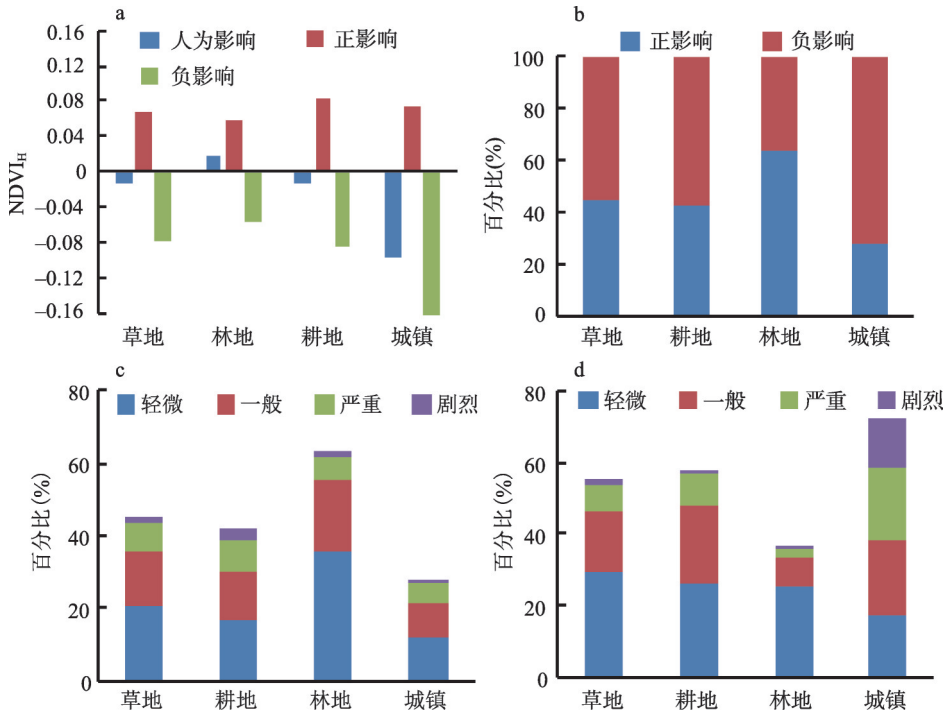


图2 2001-2015年不同土地利用类型的(a)平均人为影响、(b)正、负影响面积占比、(c)正影响程度、(d)负影响程度

Fig. 2 (a) Average NDVI_h, (b) proportion of positive and negative impact areas, (c) positive impact degree, (d) negative impact degree of different land-use types from 2001 to 2015

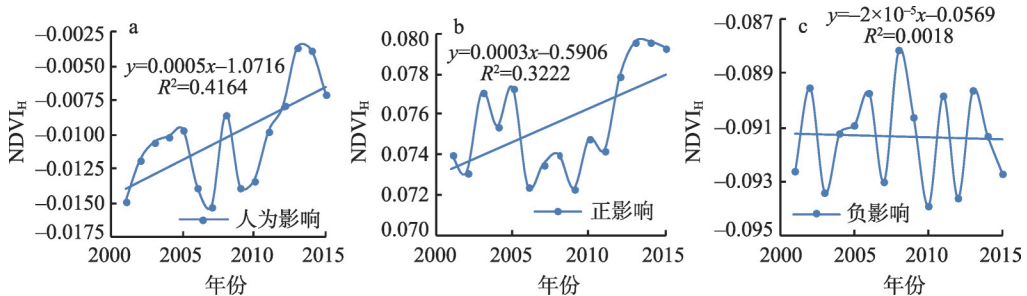


图3 2001-2015年中国植被覆盖(a)人为影响、(b)正影响、(c)负影响年际变化趋势

Fig. 3 Inter-annual trend of (a)NDVI_h, (b)positive impact, (c)negative impact in China from 2001 to 2015

-0.3%/10a; 华中呈负影响减少趋势, 降速为0.6%/10a; 华北、东北、西北等区域呈负影响减少、正影响增大趋势, 其中东北变化趋势最为明显, 变化率为2.1%/10a; 华东呈正影响减少、负影响增大趋势, 变化率为-0.5%/10a。将正、负影响分开来看(图5), 西南、西北、华南、华北、华中、东北等区域正影响呈增大趋势, 其中东北增速最大, 为1.4%/10a, 青藏和华东正影响呈减少趋势, 降速分别为-0.2%/10a和-0.9%/10a; 华南、西南、华东、华中、西北负影响呈增大趋势, 其中华南增速最大, 为-1%/10a, 华北、青藏、东北负影响呈减少趋势, 其中东北降速最大, 为0.8%/10a。

从不同土地利用类型来看(图6), 草地、耕地均呈人为负影响减少趋势。近年来, 随着农业现代化水平的提高, 耕地灌溉面积和化肥施用量不断增大(图7a), 使得耕地植

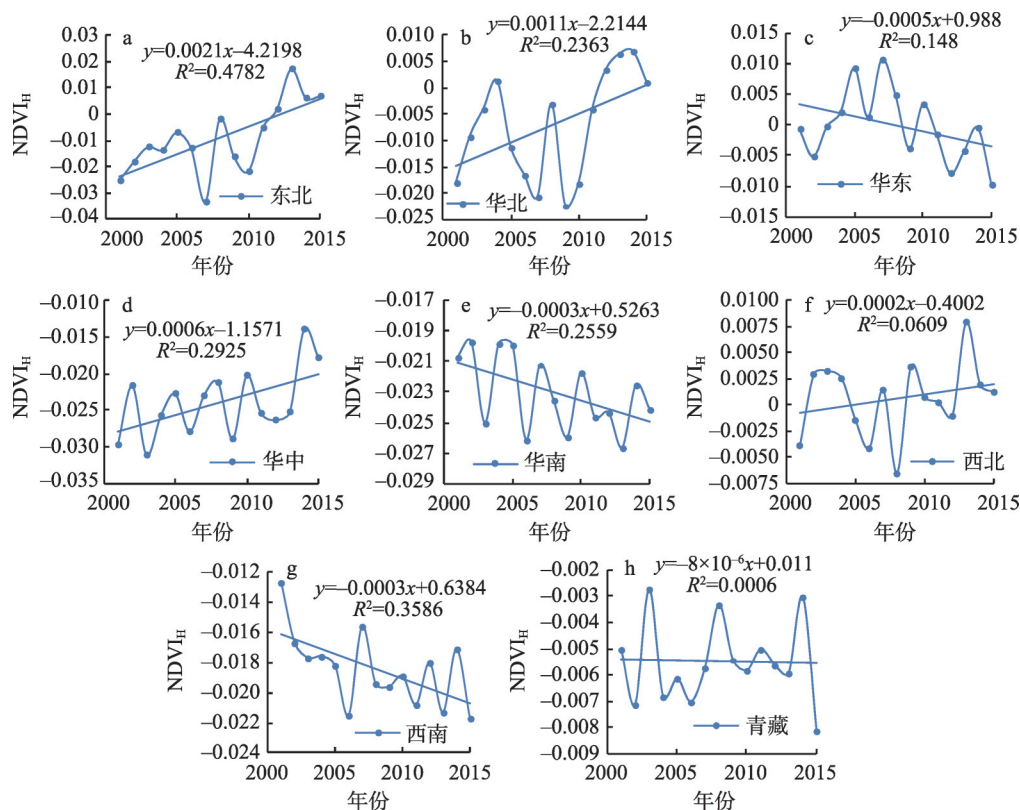


图4 2001-2015年各地区植被覆盖人为影响年际变化趋势

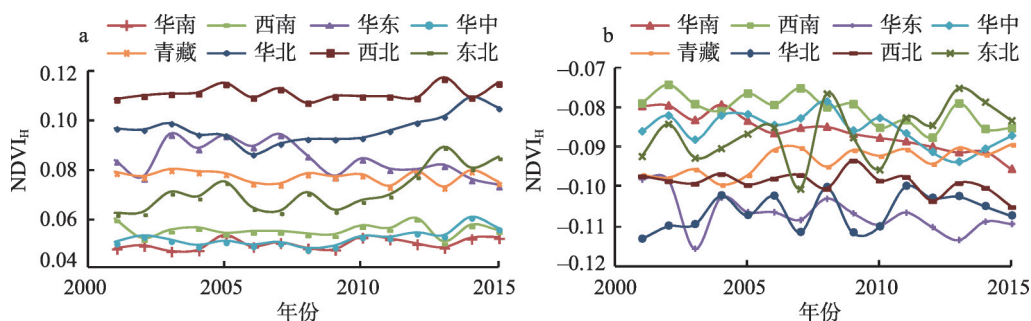
Fig. 4 Inter-annual trend of NDVI_H in various regions from 2001 to 2015

图5 2001-2015年各地区植被覆盖人为(a)正影响、(b)负影响年际变化趋势

Fig. 5 Inter-annual trend of (a) positive impact and (b) negative impact in various regions from 2001 to 2015

被覆盖有所增加;虫害、鼠害治理以及新增种草等一系列草原建设工程的实施(图7b),使草原植被有了较好的改善,比较而言,耕地负影响减少趋势更为明显,降速为0.8%/10a。林地呈人为正影响增大趋势,增速为0.3%/10a,长期以来的植树造林、封山育林、森林抚育(图7c)使林地生态系统有了明显的改善。由于近年来城镇人口显著增多,城镇化步伐明显加快,城镇呈人为负影响增大趋势,且增速最大,为-1.6%/10a。较林地、草地和耕地而言,人类活动对城镇植被影响方式较为单一,人为影响与城镇人口数关系密切,人为负影响随着城镇人口的增多明显增大(图7d)。将正负影响分开来看(图8),

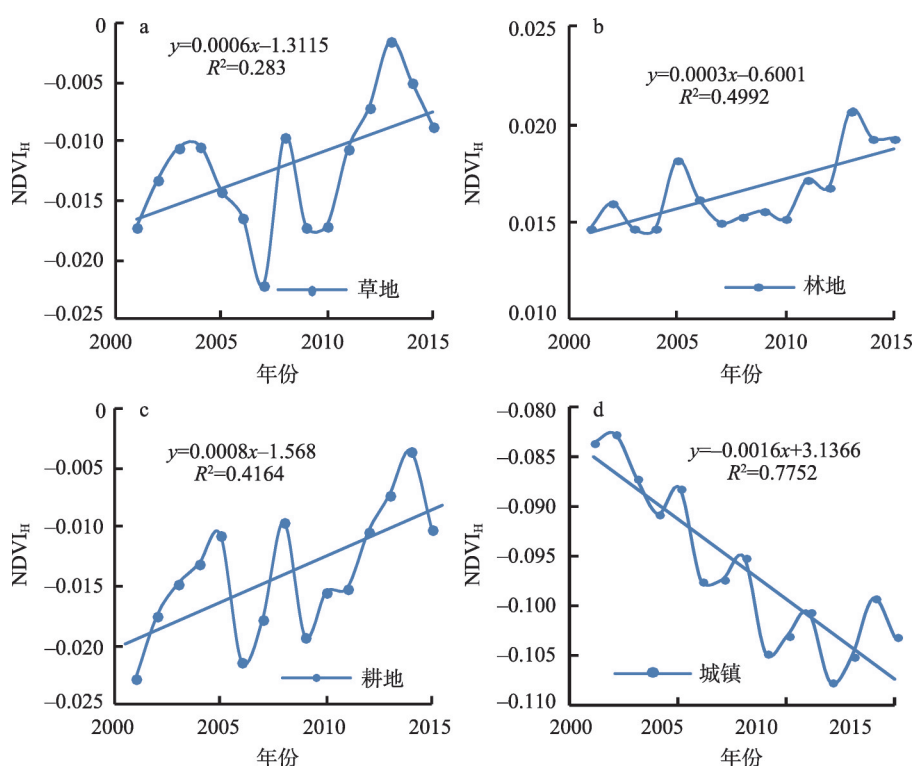


图6 2001-2015年不同土地利用类型人为影响的年际变化趋势

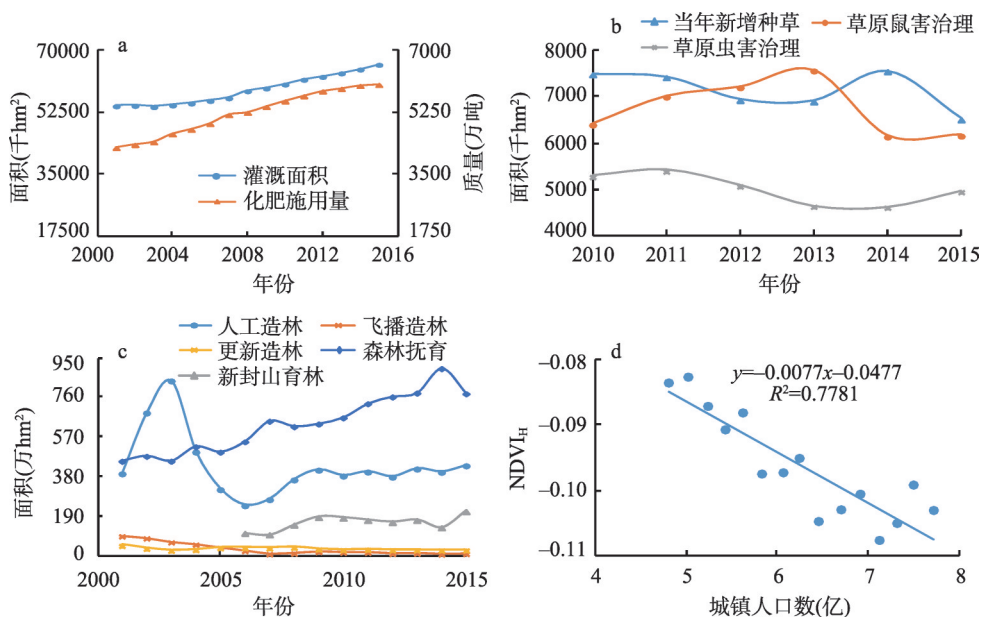
Fig. 6 Inter-annual trend of NDVI_H of different land use types from 2001 to 2015

图7 历年人类活动对(a)耕地、(b)草地、(c)林地的影响以及(d)城镇人口数和人为影响的关系

Fig. 7 Impact of human activities over the years on (a) arable land, (b) grassland, (c) forest land.

(d) relationship between urban population and NDVI_H

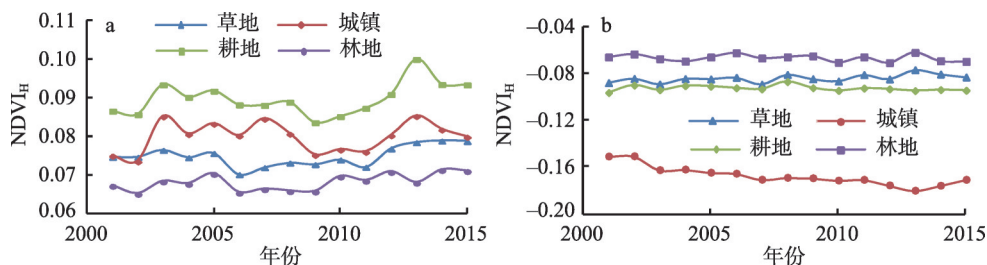


图8 2001-2015年不同土地利用类型人为(a)正影响、(b)负影响的年际变化趋势

Fig. 8 Inter-annual trend of (a) positive impact and (b) negative impact of different land use types from 2001 to 2015

草地、林地、耕地、城镇人为正影响均呈增大趋势,其中耕地增速最大,为0.4%/10a,城镇增速最小,为0.2%/10a;草地人为负影响呈减少趋势,降速为0.5%/10a,林地、耕地、城镇人为负影响均呈增大趋势,其中城镇负影响增速最大,为-1.6%/10a。

3.2.2 植被覆盖人为影响重心年际变化

2001-2015年,中国植被覆盖人为正影响重心分布在甘肃省、宁夏回族自治区和陕西省境内,负影响重心分布在陕西省境内,正影响重心分布在负影响重心西北侧(图9)。2001-2015年间,正影响重心向东北方向移动,负影响重心向西南方向移动,中国东北部植被覆盖在人为影响下日趋改善,西南部人类活动对植被破坏程度不断增大。2001-2015年间,正影响重心累计移动859.45 km,其中2012-2013年移动距离最大,为113.09 km;负影响重心累计移动818.59 km,其中2007-2008年移动距离最大,为182.53 km。

不同区域对比来看(表3),东北正影响、负影响重心累计移动距离均最大,分别为671.99 km和777.37 km,2001-2015年间东北植被覆盖人为影响空间格局发生了巨大的变化。2013-2014年正影响重心在西北移动距离最大,为104.73 km;2008-2009年负影响重心在东北移动距离最大,为107.13 km。

3.3 中国植被覆盖人为影响空间格局演变

3.3.1 植被覆盖人为影响变化趋势 为检验中国植被覆盖人为影响的变化趋势,本文计算了2001-2015年植被覆盖人为影响的Sen趋势度,并进行了MK检验,将结果划分为极显著变化($p < 0.01$)、显著变化($p < 0.05$)、弱显著变化($p < 0.1$)和无显著变化4个等级^[4]。为方便讨论,将人为影响多年平均值的正负方向与变化趋势结合起来,分为4个组合,分别为“正正”“正负”“负负”“负正”(表4)。从显著性来看,无显著变化分布面积最大,占66.35%,极显著、显著和弱显著所占比例分别为12.09%、13.66%和7.91%。从面积来看,“负正”和“正正”分布面积最大,分别占28.14%和25.21%,同时在“极显著”和“显著”所占比例最大,分别为8.08%和7.22%,植被覆盖人为影响主要呈负影

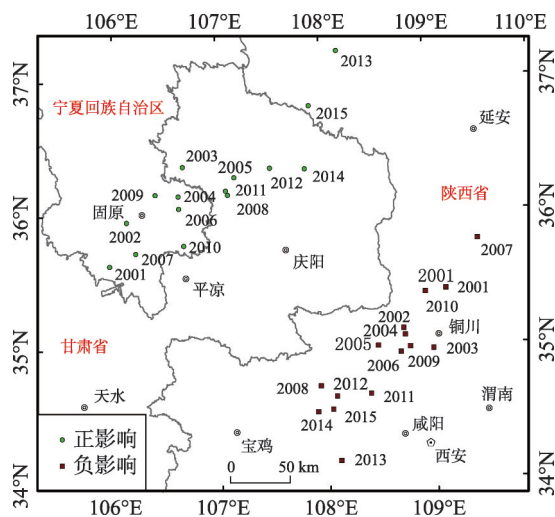


图9 2001-2015年中国植被覆盖人为影响重心的空间分布

Fig. 9 Spatial distribution of the center of gravity of NDVI_{Hi} in China from 2001 to 2015

表3 2001-2015年各地区植被覆盖人为影响重心的年际变化

Tab. 3 Inter-annual variations in the center of gravity of NDVI_h in various regions from 2001 to 2015

地区	人为影响 方向	变化斜率		最大移动距离 (km)及年份	累计移动 距离(km)
		经度	纬度		
东北	正	-0.0439	-0.0318	89.98 (2007-2008)	671.99
	负	0.0582	-0.0111	107.13 (2008-2009)	777.37
华北	正	-0.0042	0.0408	68.61 (2011-2012)	305.83
	负	0.0227	-0.0412	57.52 (2011-2012)	424.00
华东	正	-0.0157	-0.0205	54.00 (2002-2003)	255.27
	负	0.0262	-0.0033	34.86 (2006-2007)	248.45
华中	正	-0.0087	-0.0174	41.35 (2014-2015)	352.03
	负	-0.0084	0.0066	42.23 (2011-2012)	273.82
华南	正	0.0046	0.0158	22.66 (2006-2007)	220.37
	负	0.0148	0.0018	22.95 (2001-2002)	162.14
西北	正	0.0800	-0.0016	104.73 (2013-2014)	652.88
	负	-0.1562	0.0477	93.07 (2013-2014)	682.95
西南	正	0.0166	0.0169	72.76 (2004-2005)	518.00
	负	-0.0052	-0.0294	50.17 (2012-2013)	416.11
青藏	正	0.0174	-0.0041	55.81 (2008-2009)	389.45
	负	-0.0237	0.0087	32.00 (2008-2009)	186.44

表4 2001-2015年中国植被覆盖人为影响变化趋势及显著性统计

Tab. 4 Statistics on trend and significance of NDVI_h in China from 2001 to 2015

方向和趋势	显著性占比(%)				汇总(%)
	极显著	显著	弱显著	无显著	
正正(人为正影响增大)	3.74	3.48	1.92	16.07	25.21
正负(人为正影响减少)	1.81	2.92	1.86	16.60	23.20
负正(人为负影响减少)	3.90	4.18	2.31	17.75	28.14
负负(人为负影响增大)	2.63	3.08	1.82	15.92	23.45

响减少和正影响增大趋势，说明2001-2015年间中国大部分区域生态环境有了较明显的改善。从空间分布来看（图10），“正正”主要分布在东北平原西部、环渤海地区、鄂尔多斯高原东南部；“正负”主要分布在东北平原东部和华北平原中部；“负正”主要分布在呼伦贝尔草原、内蒙古高原中部和黄土高原中部；“负负”主要分布在科尔沁沙地、黄土高原西部以及胶东半岛以西部分区域。

对于不同土地利用类型，人为影响的变化趋势和显著性均存在较大差异（图11），林地“正正”分布比例最大，占33.41%，主要呈正影响增大趋势，其中显著和极显著变化所占比例为8.02%；耕地“负正”分布比例最大，占33.30%，主要呈负影响减少趋势，其中显著和极显著变化所占比例为11.29%；草地“负正”和“负负”分布比例较大，分别占29.26%和25.93%，主要呈负影响减少和负影响增大趋势，其中显著和极显著变化所占比例分别为7.92%和5.84%；城镇“负负”分布比例最大，占42.90%，主要呈负影响增大趋势，其中显著和极显著变化所占比例为18.77%。比较来看，林地“正正”和“正负”分布比例最大，耕地“负正”分布比例最大，城镇“负负”分布比例最大。2001-2015年间，林地、耕地植被有了较明显的改善，人类对草地的保护和破坏同样剧烈，对城镇植被的破坏不断增强。

3.3.2 植被覆盖人为影响未来演变趋势预测

中国植被覆盖人为影响Hurst指数平均值为0.4968, 未来演变趋势的反向特征强于正向特征, 其中反持续性所占比重为53.33%, 持续性序列为46.67%。人为影响变化持续性较弱, 弱持续性(0.35~0.65)^[9]面积占比83.88%, 这种弱持续性说明了人类活动对植被影响的不确定性和随机性, 人为影响受国家政策 and 不同时期发展需求影响较大。

为深入揭示中国植被覆盖人为影响未来演变趋势, 本文将植被覆盖人为影响多年平均值的正负方向、变化趋势和Hurst指数结合起来, 为了表达简便起见分为8个组合, 分别为“负负反”“负负正”“负正反”“负正正”“正负反”“正正反”“正正正”(表5)。从面积上看, 各组合所占比例大致相当, 各变化趋势均较为突出, 比较而言, “负正反”所占比例最大, 占15.59%, 中国相当部分面积呈人为负影响先减少后增大趋势。从空间分布来看(图12), “负负反”主要分布在浑善达克沙地北部、环准噶尔盆地; “负正反”主要分布在呼伦贝尔草原、内蒙古高原中部; “正负反”主要分布在华北平原中部; “正正反”主要分布在科尔沁沙地、内蒙古高原中部; “负负正”主要分布在黄土高原西部; “负正正”主要分布在鄂尔多斯高原南部; “正负正”主要分布在东北平原东部和华北平原中部; “正正正”主要分布在

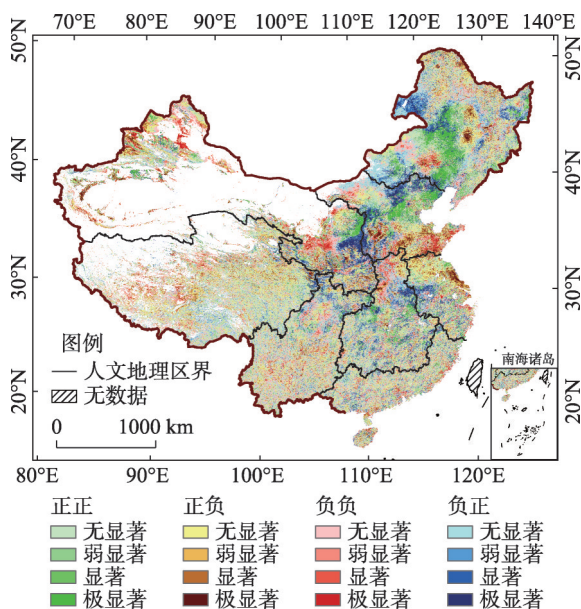


图10 2001-2015年中国植被覆盖人为影响变化趋势及显著性

Fig. 10 Trend and significance of NDVI_{II} in China from 2001 to 2015

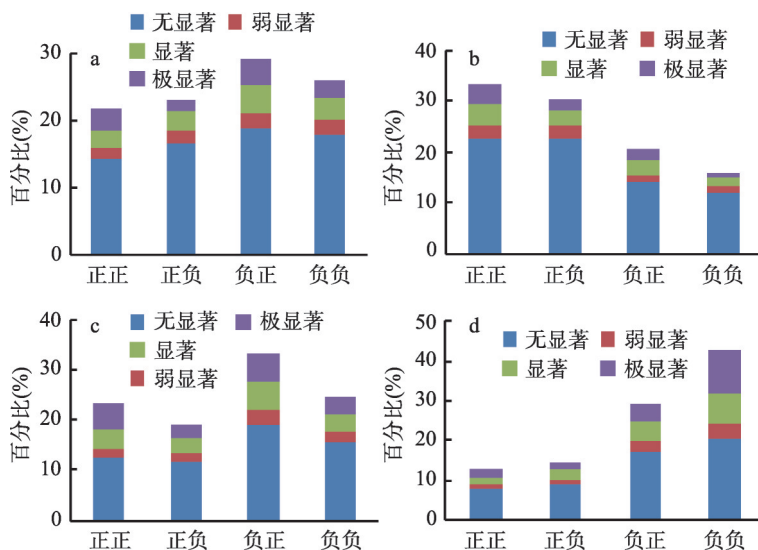


图11 2001-2015年不同土地利用类型人为影响变化趋势及显著性(a.草地, b.林地, c.耕地, d.城镇)

Fig. 11 Trend and significance of NDVI_{II} of different land use types from 2001 to 2015

(a. grassland, b. woodland, c. arable land, d. town)

东北平原西部、华北平原北部、鄂尔多斯高原东南部。

从不同土地利用类型来看(图13),草地“负正反”和“负负反”分布比例较大,主要呈负影响先减少后增大趋势和负影响先增大后减少趋势;林地“正正反”“正负反”“正正正”分布比例大致相当,主要呈正影响先增大后减少、正影响先减少后增大以及正影响持续增大趋势;耕地“负正反”和“负正正”分布比例较大,主要呈负影响先减少后增大趋势和负影响持续减少趋势;城镇“负负正”和“负负反”分布比例较大,主要呈负影响持续增大趋势和负影响先增大后减少趋势。

4 结论

(1) 2001-2015 年,中国植被覆盖人为影响由南向北空间分异愈发明显,年均值为-0.0102,植被覆盖在人类活动影响下轻微减少。负影响面积占51.59%,略大于正影响面积。负影响主要分布在呼伦贝尔草原、小兴安岭与东北平原过渡地带、长白山部分地区、内蒙古高原中部和东南部、黄土高原中部、关中平原、华北平原西南部、长江中下游平原、东南沿海地区、四川盆地西部和东南部以及藏南部分区域;正影响主要分布在东北平原、华北平原、鄂尔多斯高原、祁连山南麓、塔里木河流域以及天山部分区域。西北是人为影响唯一呈正值的区域,其余7大区域负影响从小到大排列依次为华东、青藏、华北、东北、西南、华南、华中。仅林地人为影响为正值,

表5 中国植被覆盖人为影响未来演变趋势统计

Tab. 5 Statistics on the future evolution trend of NDVI_{hi} in China

未来演变趋势	像元数	百分比(%)
负负反(人为负影响由增强到减弱)	13752218	12.44
负负正(人为负影响持续增强)	12177833	11.01
负正反(人为负影响由减弱到增强)	17238359	15.59
负正正(人为负影响持续减弱)	13874817	12.55
正负反(人为正影响由减弱到增强)	13596465	12.30
正负正(人为正影响持续减弱)	12055554	10.90
正正反(人为正影响由增强到减弱)	14381320	13.01
正正正(人为正影响持续增强)	13491949	12.20

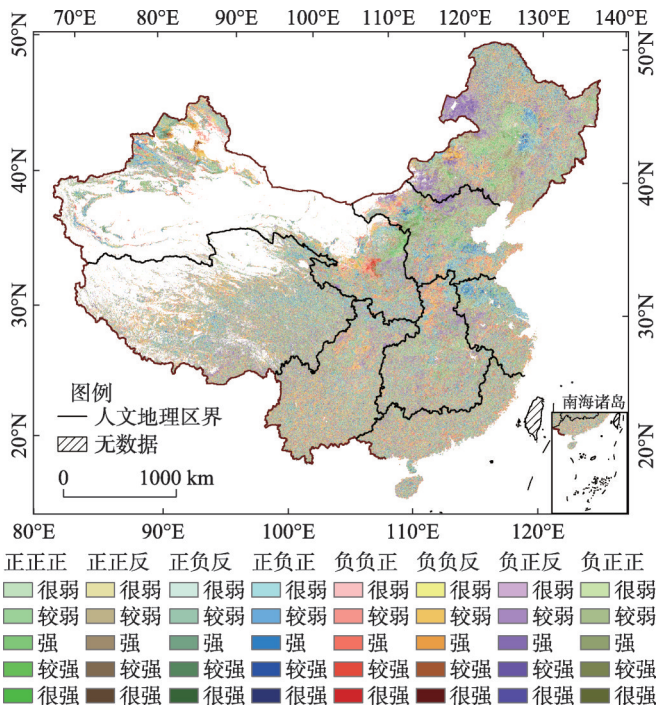


图12 中国植被覆盖人为影响未来演变趋势

Fig. 12 The future evolution trend of NDVI_{hi} in China

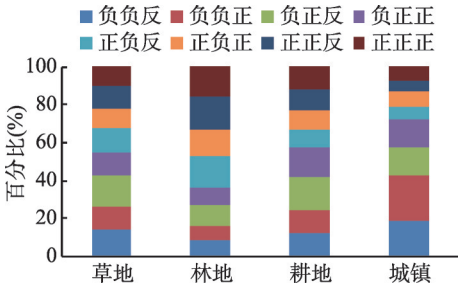


图13 不同土地利用类型人为影响未来演变趋势

Fig. 13 The future evolution trend of NDVI_{hi} of different land use types

草地、耕地、城镇人为影响均为负值, 城镇负影响最为严重。

(2) 中国植被覆盖人为影响年际变化特征明显, 整体呈负影响波动减少趋势, 降速为 $0.5\%/10a$ 。正影响和负影响均呈增大趋势, 正影响增速 ($0.3\%/10a$) 远大于负影响 ($0.02\%/10a$)。华南、西南、青藏呈负影响增大趋势, 华中呈负影响减少趋势, 华北、东北、西北呈负影响减少、正影响增大趋势, 华东呈正影响减少、负影响增大趋势。林地呈正影响增大趋势, 草地、耕地负影响不断减少, 城镇负影响不断增大。

(3) 2001-2015年间, 中国植被覆盖人为正影响重心向东北方向移动, 负影响重心向西南方向移动, 中国东北部植被覆盖在人为影响下日趋改善, 西南部人类活动对植被破坏程度不断增大。正影响重心累计移动 859.45 km, 负影响重心累计移动 818.59 km。在东北正影响、负影响重心累计移动距离最大, 人为影响空间格局发生了巨大的变化。

(4) 中国植被覆盖人为影响极显著变化和显著变化所占面积分别为 12.09% 和 13.66%。2001-2015年间主要呈负影响减少和正影响增大趋势, 且显著性较好, 生态系统质量呈现出向良性发展的态势且具有明显的区域性差异。城镇人为影响变化趋势最为显著, 主要呈负影响增大趋势; 其次是耕地, 主要呈负影响减少趋势; 草地人为影响变化趋势显著性最弱, 主要呈负影响减少和负影响增大趋势; 林地主要呈正影响增大趋势。

(5) Hurst 指数分析表明, 中国植被覆盖人为影响未来演变趋势的反向特征强于正向特征, 各变化趋势均较为突出, 比较而言, 中国相当部分面积呈人为负影响先减少后增大趋势, 面积占比 15.59%。草地主要呈负影响先减少后增大趋势; 林地主要呈正影响先增大后减少、正影响先减少后增大以及正影响持续增大趋势; 耕地主要呈负影响先减少后增大和负影响持续减少趋势; 城镇主要呈负影响持续增大和负影响先增大后减少趋势。

参考文献(References)

- [1] Sun Dongqi, Zhang Jingxiang, Zhu Chuangeng, et al. An assessment of China's ecological environment quality change and its spatial variation. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(12): 1599-1610. [孙东琪, 张京祥, 朱传耿, 等. 中国生态环境质量变化态势及其空间分异分析. *地理学报*, 2012, 67(12): 1599-1610.]
- [2] Zhao Qiguo, Huang Guoqin, Ma Yanqin. The ecological environment conditions and construction of an ecological civilization in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(19): 6328-6335. [赵其国, 黄国勤, 马艳芹. 中国生态环境状况与生态文明建设. *生态学报*, 2016, 36(19): 6328-6335.]
- [3] Zhang Geli, Xu Xingliang, Zhou Caiping, et al. Responses of vegetation changes to climatic variations in Hulun Buir Grassland in past 30 years. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(1): 47-58. [张戈丽, 徐兴良, 周才平, 等. 近30年来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应. *地理学报*, 2011, 66(1): 47-58.]
- [4] Liu Xianfeng, Pan Yaozhong, Zhu Xiufang, et al. Spatiotemporal variation of vegetation coverage in Qinling-Daba Mountains in relation to environmental factors. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(5): 705-716. [刘宪锋, 潘耀忠, 朱秀芳, 等. 2000-2014年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因. *地理学报*, 2015, 70(5): 705-716.]
- [5] Yang Siyao, Meng Dan, Li Xiaojuan, et al. Multi-scale responses of vegetation changes relative to the SPEI meteorological drought index in North China in 2001-2014. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(3): 1028-1039. [杨思遥, 孟丹, 李小娟, 等. 华北地区2001-2014年植被变化对SPEI气象干旱指数多尺度的响应. *生态学报*, 2018, 38(3): 1028-1039.]
- [6] Wang Qiang, Zhang Bo, Dai Shengpei, et al. Analysis of the vegetation cover change and its relationship with factors in the Three-North Shelter Forest Program. *China Environmental Science*, 2012, 32(7): 1302-1308. [王强, 张勃, 戴声佩, 等. 三北防护林工程区植被覆盖变化与影响因子分析. *中国环境科学*, 2012, 32(7): 1302-1308.]
- [7] Han Guifeng. Spatio-temporal change of vegetation cover in East China and influence of artificial factors. Shanghai: East China Normal University, 2007. [韩贵锋. 中国东部地区植被覆盖的时空变化及其人为因素的影响研究. 上海: 华东师范大学, 2007.]
- [8] Wei Zhenfeng, Wang Deguang, Zhang Chong, et al. Response of vegetation cover to climate change and human activities in Northwest China during 1999-2010. *Journal of Desert Research*, 2014, 34(6): 1665-1670. [韦振锋, 王德光, 张翀, 等. 1999-2010年中国西北地区植被覆盖对气候变化和人类活动的响应. *中国沙漠*, 2014, 34(6): 1665-1670.]

- [9] Li Shuangshuang, Yan Junping, Wan Jia. The spatial-temporal changes of vegetation restoration on Loess Plateau in Shaanxi-Gansu-Ningxia Region. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(7): 960-970. [李双双, 延军平, 万佳. 近10年陕甘宁黄土高原区植被覆盖时空变化特征. *地理学报*, 2012, 67(7): 960-970.]
- [10] Wardlow B D, Egbert S L. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250m NDVI data: An assessment for the U. S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(3): 1096-1116.
- [11] Li Zuowei, Wu Rongjun, Ma Yuping. Impact of climate change and human activities on vegetation productivity in the Three-River Headwaters. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(3): 804-810. [李作伟, 吴荣军, 马玉平. 气候变化和人类活动对三江源地区植被生产力的影响. *冰川冻土*, 2016, 38(3): 804-810.]
- [12] Wang Ziyu, Xu Duangyang, Yang Hua, et al. Impacts of climate change and human activities on vegetation dynamics in Inner Mongolia, 1981-2010. *Progress in Geography*, 2017, 36(8): 1025-1032. [王子玉, 许端阳, 杨华, 等. 1981-2010年气候变化和人类活动对内蒙古地区植被动态影响的定量研究. *地理科学进展*, 2017, 36(8): 1025-1032.]
- [13] Luo Min, Guli Jiapaer, Guo Hao, et al. Spatial-temporal variation of growing-season NDVI and its responses to hydrothermal condition in the Tarim River Basin from 2000 to 2013. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(1): 50-63. [罗敏, 古丽·加帕尔, 郭浩, 等. 2000-2013年塔里木河流域生长季NDVI时空变化特征及其影响因素分析. *自然资源学报*, 2017, 32(1): 50-63.]
- [14] Li Huixia, Liu Guohua, Fu Bojie. Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-river Headwaters Region. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(19): 5495-5504. [李辉霞, 刘国华, 傅伯杰. 基于NDVI的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究. *生态学报*, 2011, 31(19): 5495-5504.]
- [15] Liu Bin, Sun Yanling, Wang Zhongliang, et al. Analysis of the vegetation cover change and the relative role of its influencing factors in North China. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(1): 12-23. [刘斌, 孙艳玲, 王中良, 等. 华北地区植被覆盖变化及其影响因子的相对作用分析. *自然资源学报*, 2015, 30(1): 12-23.]
- [16] Holben B. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7(11): 1417-1434.
- [17] Li Fei, Zeng Yuan, Li Xiaosong, et al. Remote sensing based monitoring of terrestrial variations in vegetation activity in China from 1982 to 2009. *Science China: Earth Sciences*, 2014, 44(8): 1671-1678. [李飞, 曾源, 李晓松, 等. 近30年中国陆地植被活动遥感监测. *中国科学: 地球科学*, 2014, 44(8): 1671-1678.]
- [18] Liu Xianfeng, Zhu Xiufang, Pan Yaozhong, et al. Spatiotemporal changes in vegetation coverage in China during 1982-2012. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(16): 5331-5342. [刘宪锋, 朱秀芳, 潘耀忠, 等. 1982-2012年中国植被覆盖时空变化特征. *生态学报*, 2015, 35(16): 5331-5342.]
- [19] Bai Hongying, Ma Xingping, Gao Xiang, et al. Variations in January temperature and 0°C isothermal curve in Qinling Mountains based on DEM. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(11): 1443-1450. [白红英, 马新萍, 高翔, 等. 基于DEM的秦岭山地1月气温及0°C等温线变化. *地理学报*, 2012, 67(11): 1443-1450.]
- [20] Wang Siwei, Liu Yong, Zhu Chaohong, et al. Contrast on different spatial interpolation methods of Daily Surface Temperature Data in terrain complex area, Qinghai Province. *Plateau Meteorology*, 2011, 30(6): 1640-1646. [王思维, 刘勇, 朱超洪, 等. 青海省逐日地面气温数据不同插值方法的对比. *高原气象*, 2011, 30(6): 1640-1646.]
- [21] Zeng Hongwei, Li Lijuan, Zhang Yongxuan, et al. Study on spatial interpolation of precipitation with large scale samples: A case study on 2009's precipitation of China. *Progress in Geography*, 2011, 30(7): 811-818. [曾红伟, 李丽娟, 张永萱, 等. 大样本降水空间插值研究: 以2009年中国年降水为例. *地理科学进展*, 2011, 30(7): 811-818.]
- [22] Li Chuanhua, Zhao Jun, Shi Yinfang, et al. The impact of human activities on net primary productivity based on the coefficient of variation: A case study of the Shiyang River Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(13): 4034-4044. [李传华, 赵军, 师银芳, 等. 基于变异系数的植被NPP人为影响定量研究: 以石羊河流域为例. *生态学报*, 2016, 36(13): 4034-4044.]
- [23] Li Chuanhua, Zhao Jun. Spatiotemporal variations of vegetation NPP and related driving factors in Shiyang River Basin of Northwest China in 2000-2010. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(3): 712-718. [李传华, 赵军. 2000-2010年石羊河流域NPP时空变化及驱动因子. *生态学杂志*, 2013, 32(3): 712-718.]
- [24] Zhao Zhuowen, Zhang Lianpeng, Li Xing, et al. Monitoring vegetation dynamics during the growing season in Ningxia based on MOD13Q1 data. *Progress in Geography*, 2017, 36(6): 741-752. [赵卓文, 张连蓬, 李行, 等. 基于MOD13Q1数据的宁夏生长季植被动态监测. *地理科学进展*, 2017, 36(6): 741-752.]
- [25] Sen P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 1968, 63(324): 1379-1389.
- [26] Cai Bofeng, Yu Rong. Advance and evaluation in the long time series vegetation trends research based on remote

- sensing. *Journal of Remote Sensing*, 2009, 13(6): 1170-1186. [蔡博峰, 于嵘. 基于遥感的植被长时序趋势特征研究进展及评价. *遥感学报*, 2009, 13(6): 1170-1186.]
- [27] Xu Jianhua. *Mathematical Methods in Contemporary Geography*. Beijing: Higher Education Press, 2016. 133-136. [徐建华. 现代地理学中的数学方法. 北京: 高等教育出版社, 2016. 133-136.]
- [28] Yuan Lihua, Jiang Weiguo, Shen Wenming, et al. The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(24): 7798-7806. [袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等. 2000-2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化. *生态学报*, 2013, 33(24): 7798-7806.]
- [29] Hurst H E. Long-term storage capacity of reservoirs. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 1951, 116 (1): 770-799.
- [30] Fang Chuanglin, Liu Haimeng, Luo Kui, et al. Comprehensive regionalization of human geography in China. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(2): 179-196. [方创琳, 刘海猛, 罗奎, 等. 中国人文地理综合区划. *地理学报*, 2017, 72(2): 179-196.]

The spatial-temporal patterns of the impact of human activities on vegetation coverage in China from 2001 to 2015

WANG Jianbang¹, ZHAO Jun¹, LI Chuanhua¹, ZHU Yu², KANG Chongyang¹, GAO Chao¹

(1. College of Geography and Environment Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. Institute of International Rivers and Eco-security, Yunnan University, Kunming 650500, China)

Abstract: Based on MODIS-NDVI and climate data, using an artificial influence model based on coefficient of variation to quantitatively calculate the human impact of vegetation cover (NDVI_H) in China from 2001 to 2015, Sen+Mann-Kendall model and Hurst index were used to analyze the spatial-temporal feature and the future trends. It was found that: (1) In the year from 2001 to 2015, the Spatial Differentiation of NDVI_H in China was more obvious from southern part to northern part, with an average annual mean value of -0.0102, the vegetation coverage decreased slightly under human activities, the negative impact area accounting for 51.59% which is slightly larger than the positive impact area. (2) The interannual variation of NDVI_H in China is obvious, showing the negative impact volatility decreased, the rate of decline is 0.5%/10a; among which the positive and negative effects all showed an increasing trend, the positive growth rate (0.3%/10a) is much larger than the negative impact (0.02%/10a). (3) During 2001-2015, the center of gravity of positive impact has moved to the northeast, the center of gravity of negative impact has moved to the southwest, vegetation cover in northeastern China has improved under the influence of mankind, and human activities in the southwest have increased the degree of vegetation destruction. (4) The proportion of "negative impact reduction" and "positive impact increase" trend of NDVI_H in China appeared to be the largest which accounting for 28.14% and 25.21% of the total, and the ecological environment is improving. (5) The reverse characteristics of NDVI_H change were stronger than the same characteristic in China, mainly showed a negative impact which decreased at the first and then increased with the rate of 15.59% of the total area.

Keywords: vegetation cover; human impact; spatial distribution; trend