

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbtdqk.2019.0094

杨倩,刘登峰,孟宪萌,等. 汉江上游植被指数变化及其归因分析[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 17(4): 138-148. YANG Q, LIU D F, MENG X M, et al. Vegetation index change in the upper reaches of Han River and its attribution analysis[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(4): 138-148. (in Chinese)

汉江上游植被指数变化及其归因分析

杨倩¹, 刘登峰¹, 孟宪萌², 黄强¹, 林木³

(1. 西安理工大学 省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室, 西安 710048; 2. 中国地质大学(武汉) 环境学院, 武汉 430074; 3. 中央财经大学 统计与数学学院, 北京 100081)

摘要: 植被对调节流域水文过程、维持生态平衡具有重要作用, 分析汉江上游植被变化和驱动因子具有重要价值。采用 MODIS/Terra 的 NDVI 数据和 Land Cover 数据分析了汉江上游不同土地利用类型的 NDVI 的变化规律, 结合气象数据和 DMSP 灯光数据分析了气候变化和人类活动对植被 NDVI 的影响, 分析了植被指数变化的主导性驱动因子。结果表明, 2001—2017 年汉江上游 NDVI 整体上呈增加趋势, 年均 NDVI 介于 0.5~0.62; 同种土地利用类型的 NDVI 年际变化不大, 不同土地利用类型的 NDVI 变化趋势基本一致, NDVI 从高到低依次为落叶阔叶林、混交林、草地、农用地、灌丛、常绿针叶林。月平均最高气温是影响月 NDVI 变化的主导因子, 夏季 NDVI 变化与日照时数和降水量关系较大, 冬季 NDVI 变化与气温相关性较高。气温和降水与 NDVI 年变化的相关系数高于平均灯光强度变化, 即年尺度上气象因素对植被变化的影响高于人类活动。

关键词: NDVI; 汉江上游; 灯光数据; 植被变化; 气象因素; 人类活动

中图分类号: X87; TV11 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Vegetation index change in the upper reaches of Han River and its attribution analysis

YANG Qian¹, LIU Dengfeng¹, MENG Xianmeng², HUANG Qiang¹, LIN Mu³

(1. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 3. School of Statistics and Mathematics, Central University of Finance and Economics, Beijing 100081, China)

Abstract: Vegetation plays an important role in regulating hydrological processes and maintaining ecological balance in the basin. It is of great significance to analyze vegetation changes and their driving factors in the upper reaches of the Han River. This paper uses NDVI data of MODIS/Terra and Land Cover remote sensing data to analyze NDVI changes of different land use types in the upper reaches of the Han River, and combines meteorological data and DMSP light data to analyze the impacts of climate change and human activities on vegetation NDVI, in order to find out the dominant driving factors of vegetation index changes. The results show that, the NDVI in the upper reaches of the Han River increased from 2001 to 2017, averaging between 0.5 and 0.62. The inter-annual NDVI variation of the same land use type was not significant. The NDVI change trends of different land use types were basically the same. The vegetation types sorted by NDVI from high to low are deciduous broad-leaved forest, mixed forest, grassland, agricultural land, dense shrub, and evergreen coniferous forest. The monthly average maximum temperature is the dominant factor affecting the monthly NDVI change. The summer NDVI change has a strong correlation with the

收稿日期: 2019-03-04 修回日期: 2019-04-20 网络出版时间: 2019-04-29

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20190428.1508.004.html>

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0405900; 2016YFC0400906); 国家自然科学基金(51779203; 51609270)

作者简介: 杨倩(1995—), 女, 山西运城人, 主要从事生态水文模拟方面的研究。E-mail: 3036665226@qq.com

通信作者: 刘登峰(1984—), 男, 陕西凤翔人, 副教授, 博士, 主要从事流域生态水文演化过程的分析和模拟研究。E-mail: liudf@xaut.edu.cn

sunshine hours and precipitation, and the winter NDVI change has a high correlation with temperature. The correlation coefficients of temperature and precipitation with annual NDVI change are higher than that of the average light intensity change. On the annual scale, meteorological factors have more influence than human activities on vegetation changes.

Key words: NDVI; upper reaches of Han River; DMSP; vegetation change; meteorological factors; human activities

植被是连接大气圈、水圈、土壤圈的重要纽带,在气候变化、水文循环和生态平衡中承担重要的协调作用^[1-2]。植被变化受气温、太阳辐射、光照时间等多种气象因素的影响,同时也受到人类活动不同程度的影响^[3]。在众多描述植被覆盖变化的指标中,归一化差值植被指数(NDVI)是使用最广泛的^[4]。研究 NDVI 的变化规律,分析气象因素和人类活动变化对 NDVI 变化的影响具有重要意义。

气温和降水与 NDVI 变化有着密切联系,是常见的分析影响 NDVI 变化的气象因素。人口变化、经济发展、产业结构、土地利用结构等是用来分析人类活动对 NDVI 影响的常见指标^[5-7]。关于 NDVI 变化的影响因素,典型的研究有:丁文荣^[5]对金沙江下段植被覆盖变化的成因进行分析,发现年内尺度上降水对 NDVI 的影响大于气温,而年际尺度上 NDVI 受气温的影响更为突出;李超等^[6]选取气温、降水、日照时数三个气象因子和 14 个社会经济因子分析其对 NDVI 的影响,指出气温是驱动 NDVI 变化的主要因素;近年来,DMSP 灯光数据被很多学者^[7-8]用在分析城市化进程、经济发展、人口变化等方面。王行汉等^[9]用灯光数据代表人类活动变化,研究了珠江流域降水、气温、DMSP 灯光数据年变化率与 EVI 年变化率之间的相关关系,得出人类活动是珠江流域植被变化的主导因素。研究气象因素和人类活动对植被指数变化的贡献率,比较典型的是通过影响指标建立合适的回归模型,定量分析不同影响因素对植被变化的贡献率^[10-11]。曹世雄等^[10]选取了农村人口、耕地面积、造林面积、气温、降水等指标,通过面板数据混合回归模型大数据分析,探讨了 1983—2012 年气候变化和人类活动对我国北方地区植被变化的贡献率,表明人类活动是影响北方地区植被变化的主导因素。

汉江作为南水北调中线工程的水源地,植被变化对流域生态平衡、水源涵养具有重要的意义。李小燕等^[12]研究了 1999—2010 年汉江流域 NDVI 与水热指数(气温和降水的有机结合)的关系,指出在汉江流域大部分地区 NDVI 与水热指数呈现高度

正相关;孙瑜^[13]研究了 1982—2000 年汉江流域年均 NDVI 空间分布,发现 NDVI 空间分布与降雨量的空间分布基本一致;栾金凯等^[14-15]分析了汉江上游 2000—2016 年 8 月份的植被 NDVI 时空变化特征,并通过建立降水、气温与 NDVI 之间的复直线回归模型,定量分析了气象因素和人类活动对 NDVI 的影响,发现气象因素对汉江上游 NDVI 变化起到了绝对的主导作用。

在汉江上游植被覆盖的研究中,大多是分析植被指数的时空变化,并使用气象因子对植被指数的影响进行分析,但有关不同土地利用类型的年、季节 NDVI 变化趋势的研究较少,且很少有学者研究人类活动和气象要素对不同时间尺度 NDVI 变化的影响并遴选出驱动 NDVI 变化的主导因素。因此,本文以汉江上游为研究对象,分析该流域 2001—2017 年不同土地利用类型的 NDVI 变化,并用降水、平均气温、平均最高(低)气温、相对湿度、日照时数 6 类气象数据和 DMSP 夜间灯光数据分析了气象要素和人类活动变化对 NDVI 变化的影响,识别导致不同时间尺度 NDVI 变化的主导因素。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

汉江上游位于丹江口水库以上区域,是南水北调中线的水源地,流域面积 9.52 万 km²,流经陕西、河南、湖北等省区,流域概况见图 1。流域内多年(2001—2017 年)平均气温 14.2 ℃,多年平均极端最低、最高气温分别为-7 ℃、37.4 ℃,多年平均降雨量为 880 mm,年最大降雨量高达 1 047 mm,相对湿度为 72%,日照时数为 1 736 h,蒸发皿蒸发量为 928 mm,四季分明,属于湿润气候^[16-17]。

研究区近年来土地利用结构发生了很大变化,主要表现为林地和草地面积的增大,耕地的较少。研究区 2013 年土地利用类型见图 2,以常绿针叶林、落叶阔叶林、混交林、灌丛、草地、农用地为主,约占整个流域面积的 90%以上,面积从大到小依次为混交林>落叶阔叶林>农用地>草地>常绿针叶林>灌丛。

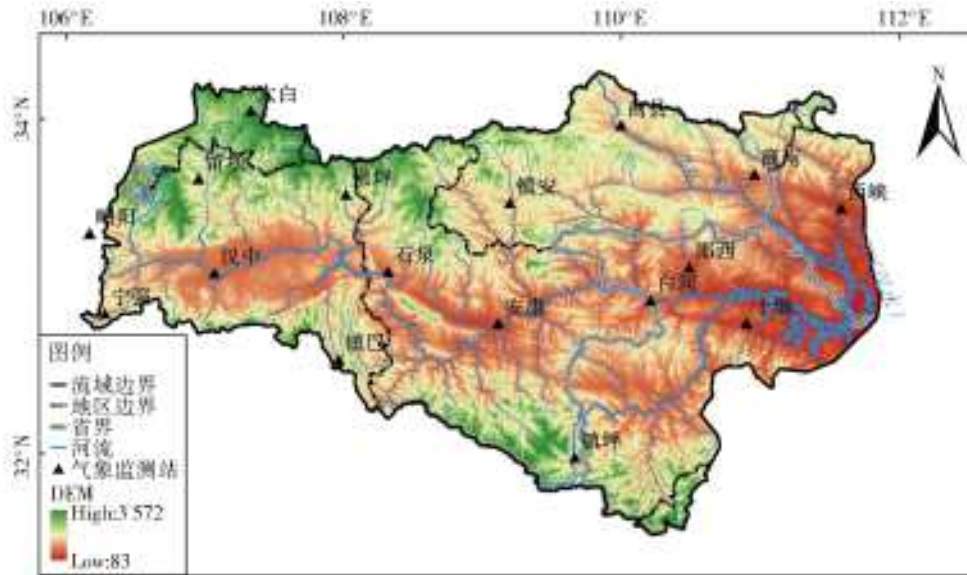


图 1 汉江上游流域概况和气象站点分布

Fig. 1 Basic facts of the upper reaches of Han River and distribution of meteorological stations

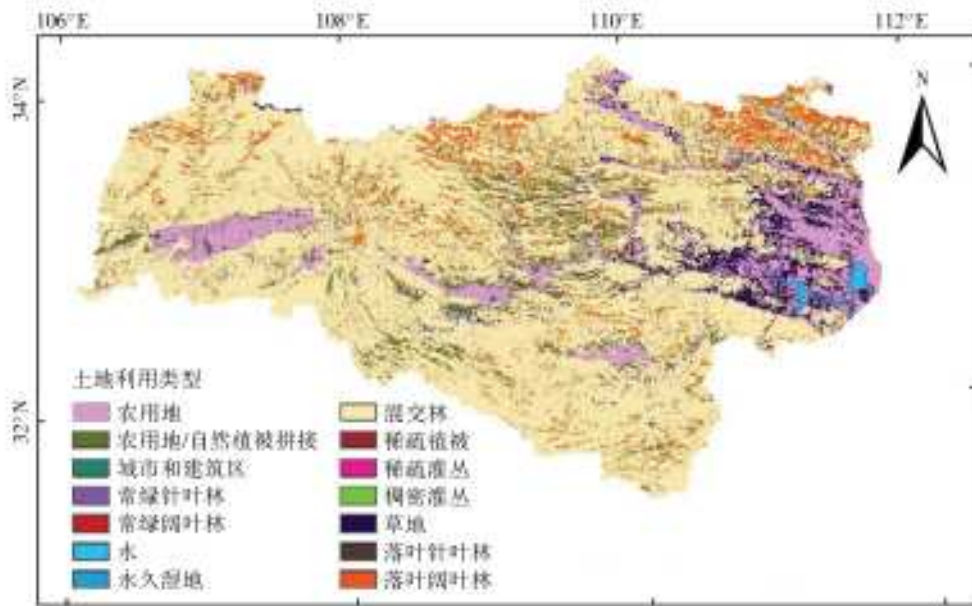


图 2 2013 年汉江上游土地利用类型

Fig. 2 Land use types in the upper reaches of the Han River in 2013

1.2 数据来源与处理

2001—2017 年的植被指数数据采用 MODIS/Terra 网站提供的 NDVI 数据,数据集全称为 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V005,简称 MOD13Q1,研究区包括 h26v05 和 h27v05 两个范围的影像,1 个月分别有 2 幅影像,总共 782 幅影像。2001—2013 年的土地利用数据采用 MODIS/Terra 网站提供的 Land Cover 数据,数据集全称为 MODIS/Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid,简称 MCD12Q1。IGBP 全球植被分类方案将该数据集的土地利用分为 17 类,本研究中涉及的土地利用类型包括常绿针叶林、落叶阔叶林、混交林、灌丛、草地、农用地 6 类。

本文使用的 17 个气象站的 2001—2017 年的降水量、最高(低)气温、平均气温、蒸发皿蒸发量、平均相对湿度、日照时数等气象数据均来源于中国气象数据网。

2001—2013 年的 DMSP/OLS 灯光数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),DMSP 是美国国防部的极轨卫星计划,与 NOAA 卫星属于同一类,DMSP/OLS 传感器采集的是夜间灯光、火光等产生的辐射信号,用来作为人类活动的表征,取值范围是 0~63。对所有遥感影像进行重投影、拼接、裁剪等预处理,将预处理后的每月(年)的 NDVI 进行平均化合成分成处理,使用每月、每季和每年的 NDVI 均值进行分析。

2 研究方法

2.1 相关分析法

相关分析是研究两个或两个以上处于同等地位的随机变量间的相关关系的统计分析方法^[18-19]。本文采用相关分析法和 t 检验首先对年均 NDVI 与气象数据、灯光数据进行相关分析和显著性检验,再采用同样方法对月均 NDVI 与气象因子进行分析。其计算公式为

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}}, df = n-2 \quad (2)$$

式中: n 为样本个数; \bar{X} 为变量 x 的均值; \bar{Y} 为变量 y 的均值; r_{xy} 为变量 x 和变量 y 的相关系数; t 为检验统计量; df 为自由度。根据 t 分布临界值表对变量相关性的显著性水平进行检验,若 $|r| < r_{0.05(n-2)}$,表明 x 与 y 的相关系数不显著,若 $r_{0.05(n-2)} \leq |r| < r_{0.01(n-2)}$,表明 x 与 y 的相关系数显著,若 $|r| < r_{0.01(n-2)}$,表明变量 x 与变量 y 的相关关系极显著^[20]。

2.2 分区统计法

以研究区 2001—2013 年的土地利用数据为基础,在 Arcgis 中采用 Zonal Statistics 方法对对应年份及不同季节的 NDVI 值进行统计分析,分析不同土地利用类型对应的 NDVI 值变化过程。

2.3 平均灯光强度

灯光数据可以反映出一个地区的城市化水平,与人类活动息息相关,广泛地运用到人类活动、社会指标的相关研究中^[21]。选用平均灯光强度作为城市化进程的指标,分析汉江上游 2001—2013 年的灯光强度变化,用以代表流域内人类活动强度的大小,该值越大代表人类活动越强。计算公式是

$$D_{\text{mean}} = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^{D_m} D_i n_i \quad (3)$$

式中: D_{mean} 代表平均灯光强度; b 为像元总个数; D_m 为当年最大像元值; D_i 代表不同的像元值; n_i 为 D 值为 D_i 时对应的像元个数。

3 结果与分析

3.1 植被指数的变化特征

3.1.1 植被月变化

多年月平均 NDVI 值随时间的变化关系见图

3,月平均 NDVI 值在 2 月份值最小(0.33),随后在 3—6 月上升,这 4 个月是植被生长的最佳时间,在 6 月份达到最大值(0.76),6—8 月略微减少,8—12 月大幅度降低。

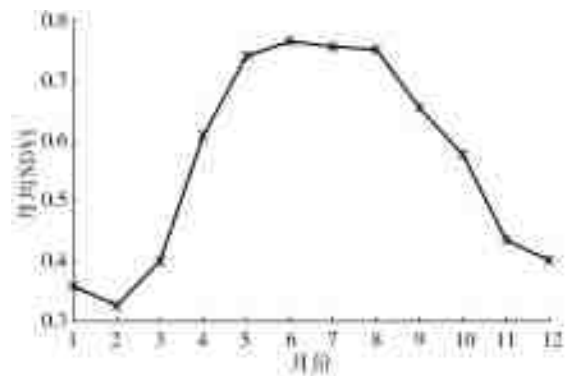


图 3 NDVI 随月份的变化状况
Fig. 3 The monthly variation of the NDVI

3.1.2 植被季节变化

对 2001—2017 年春(3—5 月)、夏(6—8 月)、秋(9—11 月)、冬(12—次年 2 月)每个季节的 NDVI 值求均值,得到 NDVI 随季节的变化(图 4)。图 4 可看出,汉江上游植被状况季节差异明显,表现为夏季 NDVI > 春季 NDVI > 秋季 NDVI > 冬季 NDVI,平均值分别为 0.76、0.58、0.56、0.36,夏季是汉江上游植被的生长季。

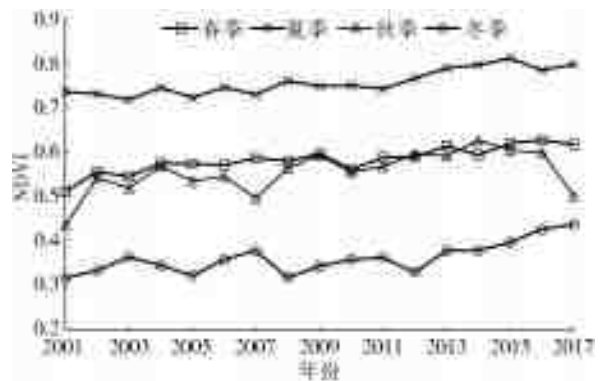


图 4 2001—2017 年不同季节的 NDVI 变化
Fig. 4 NDVI changes in different seasons from 2001 to 2017

对 2001—2013 年每个季节不同土地利用类型的 NDVI 进行统计,结果见图 5。春、夏、秋三季 NDVI 从大到小依次为:落叶阔叶林 > 混交林 > 草地 > 农用地 > 灌丛 > 常绿针叶林。冬季 NDVI 从大到小依次为:混交林 > 落叶阔叶林 > 农用地 > 草地 > 灌丛 > 常绿针叶林。春季 NDVI 介于 0.33~0.65,夏季介于 0.44~0.85,秋季介于 0.26~0.63,冬季介于 0.12~0.40。

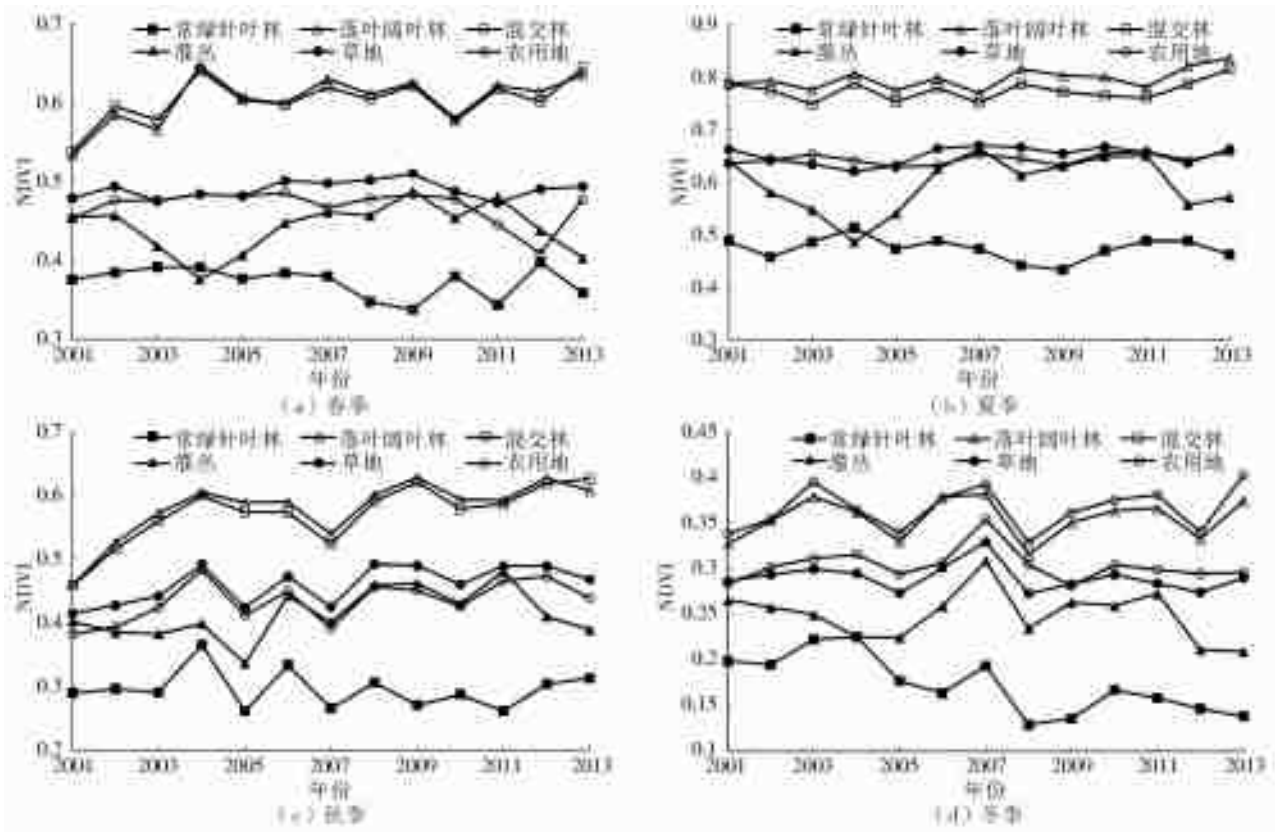


图 5 不同土地利用类型在 2001—2013 年不同季节的 NDVI 变化

Fig. 5 NDVI changes of different land use types in different seasons from 2001 to 2013

3.1.3 植被年际变化

统计研究区 2001—2017 年每年各像元的 NDVI 平均值,统计结果见表 1,可看出,研究期初年平均 NDVI 值大于 0.6 所在像元比例很少,仅有 5.85%,到研究期末达到 54.2%,增加速度为 3.15%/a,2016 年研究区 NDVI 值大于 0.6 的面积达到最大,高达 71.1%,而在 2017 年又略微减少,这是因为位于汉江上游的商洛市和十堰市的部分地区 NDVI>0.6 的像元在 2017 年转移成了 NDVI<0.6 的像元。NDVI 值在 0.5~0.6 范围内较少速度为 1.9%/a,在 0.2~0.5 范围内减少速度为 1.4%/a。图 6 中列出研究期中 2001、2006、2011、2017 年的 NDVI 空间分布图,作为对比分析。结合图 1 地形概况,图 6 中 NDVI<0.1 的部分指的是水库、河流,汉江上游西北部的太白、留坝、佛坪县 NDVI 值明显增加,位于汉江南部的平利、镇坪县 NDVI 也在逐年变大,植被状况明显改善。2001—2017 年汉江上游年平均 NDVI 值统计结果见图 7,年平均 NDVI 值与时间的相关系数达到 0.7833,线性回归方程为 $y=0.0049x-9.3314$,年平均 NDVI 值增加了 17.1%,年平均 NDVI 值介于 0.5~0.62,在 2016 年达到最大值 0.616 之后,在 2017 年又略微下降,整体上处于上升趋势,且通过了的显著性检验,趋势显著,说明 17 年间植被覆盖度在不断增加。

表 1 2001—2017 年 NDVI 值统计

Tab. 1 Statistical table of NDVI values from 2001 to 2017

年份	NDVI 值占比/%			
	<0.2	0.2~0.5	0.5~0.6	>0.6
2001	0.23	41.77	52.15	5.85
2002	1.00	20.00	49.00	30.00
2003	0.90	22.10	57.00	20.00
2004	0.90	14.20	44.30	40.60
2005	1.00	22.20	53.20	23.60
2006	0.90	15.80	51.60	31.70
2007	0.90	16.30	56.80	26.00
2008	0.80	14.00	53.80	31.40
2009	1.00	10.70	45.00	43.30
2010	1.00	13.50	55.00	30.50
2011	0.90	12.50	49.00	37.60
2012	1.00	8.60	43.00	47.40
2013	1.10	8.80	30.10	60.00
2014	0.90	7.40	30.80	60.90
2015	1.05	5.95	23.80	69.20
2016	1.00	6.30	21.60	71.10
2017	0.19	8.49	37.12	54.20

将 2001—2017 年的植被指数 NDVI 划分为 6 个等级: $NDVI \leq 0.2$ 、 $0.2 < NDVI \leq 0.3$ 、 $0.3 < NDVI \leq 0.4$ 、 $0.4 < NDVI \leq 0.5$ 、 $0.5 < NDVI \leq 0.6$ 、 $NDVI > 0.6$,

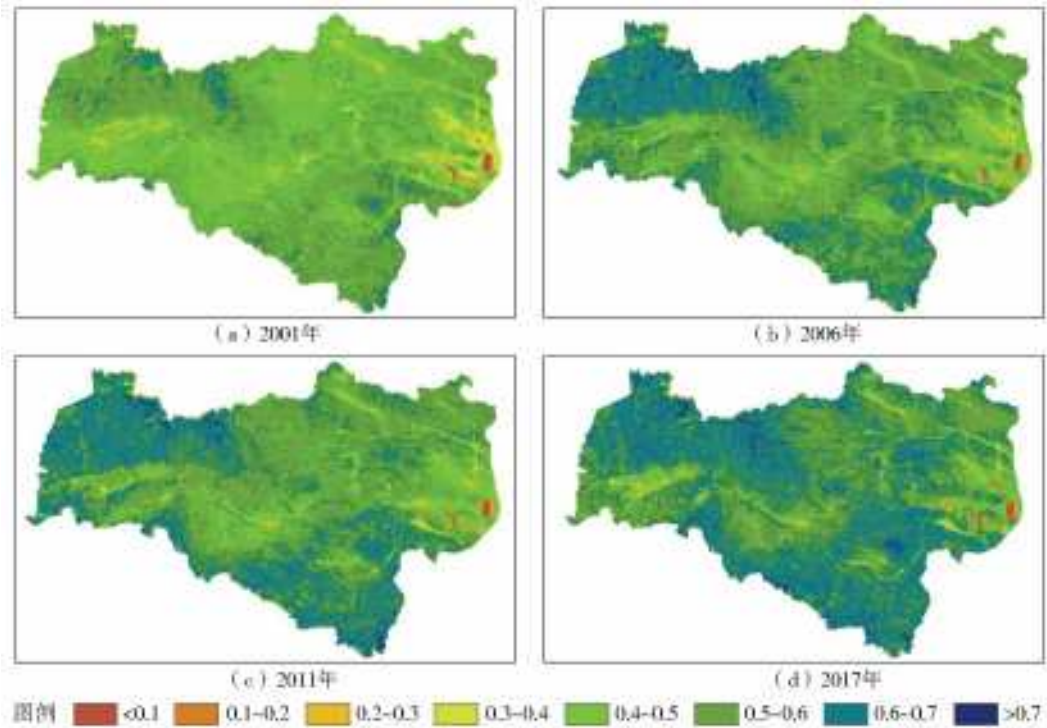


图 6 2001—2017 年 NDVI 空间演变分布
Fig. 6 Spatial evolution distribution of NDVI from 2001 to 2017

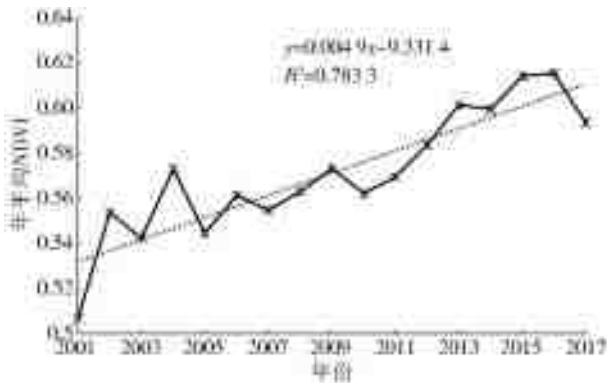


图 7 2001—2017 年汉江上游年均 NDVI 变化
Fig. 7 Annual average NDVI changes in the upper reaches of the Han River from 2001 to 2017

分析 2001 到 2017 年的不同级别指数的转移情况, 转移矩阵见表 2。转移矩阵中上三角 NDVI 所占面积明显大于下三角, 表明 NDVI 由低级别向高级别

转变, 植被状况在逐渐变好。

由于 MCD12Q1 数据集只有 2001—2013 年的土地利用类型数据, 所以本文只对 2001—2013 年流域内不同土地利用类型的 NDVI 进行了分析, 不同土地利用类型的 NDVI 值变化见图 8, NDVI 值从低到高依次是常绿针叶林<稠密灌丛<农用地<草地<混交林<落叶阔叶林, 年平均值分别为 0.38、0.43、0.47、0.48、0.586、0.592, 同一土地利用类型 NDVI 年际变化不大, 落叶阔叶林 NDVI 呈上升趋势, 年际变化值为 0.06, 混交林 NDVI 也呈上升趋势, 年际变化为 0.05, 农用地为 0.027, 稠密灌丛和草地变化为 0.01, 常绿针叶林变化为 -0.005。不同土地利用类型 NDVI 变化趋势有所不同, 主要体现在 2002—2004 年落叶阔叶林、混交林和草地的 NDVI 值呈先减少再增加的趋势, 而稠密灌丛的

表 2 2001—2017 年 NDVI 等级面积转移矩阵
Tab. 2 NDVI grade area transfer matrix from 2001 to 2017

年份	NDVI 分级	2017 年						总计
		<0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	>0.6	
2001 年	<0.2	75.81	82.500	31.540	14.800	5.770	1.08	211.50
	0.2~0.3	42.87	141.360	167.080	111.050	41.660	20.56	524.580
	0.3~0.4	20.12	161.020	541.050	2 011.430	1 826.110	69.09	4 628.820
	0.4~0.5	19.31	90.460	405.260	3 094.230	20 708.000	8 549.74	32 867.000
	0.5~0.6	13.19	108.700	224.240	464.870	11 016.830	35 644.94	47472.770
	>0.6	1.01	10.139	20.366	50.633	199.414	5 047.87	5 329.432
	总计	172.31	594.179	1 389.536	5 747.013	33 797.784	49 333.28	91 034.102

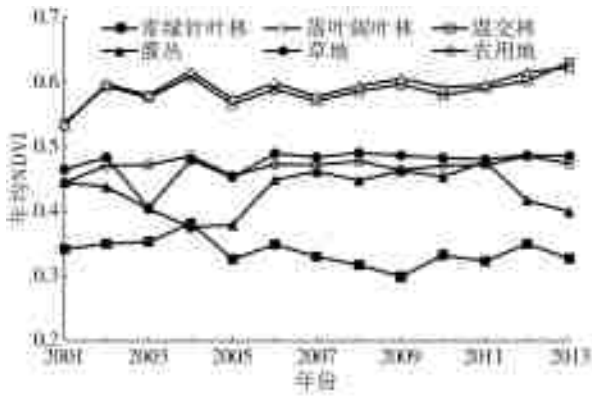


图 8 2001—2013 年不同土地利用类型的 NDVI 变化状况
Fig. 8 NDVI changes of different land use types from 2001 to 2013
NDVI 值在这两年是下降趋势,常绿针叶林和农用地

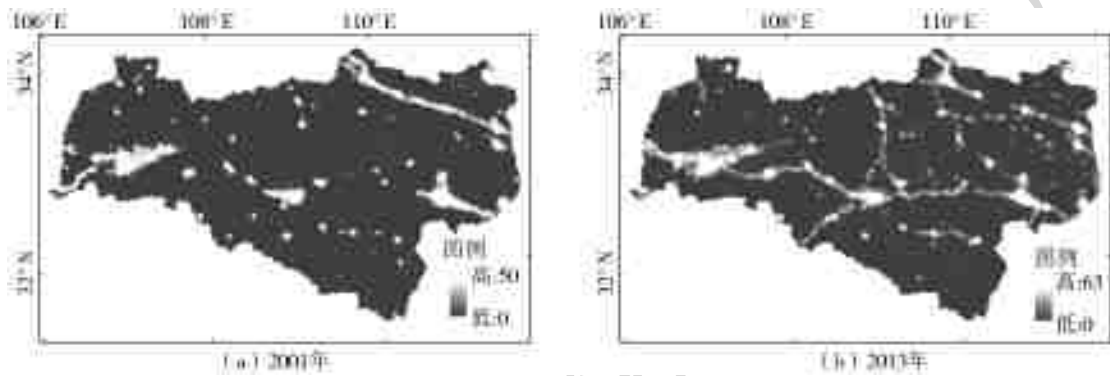


图 9 2001 年和 2013 年灯光数据变化状况
Fig. 9 The light data of DMSP in 2001 and 2013

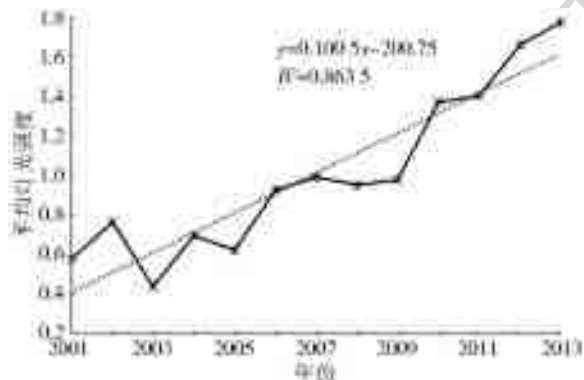


图 10 2001—2013 年汉江上游平均灯光强度
Fig. 10 Average light intensity in the upper reaches of the Han River from 2001 to 2013

3.3 植被指数变化的驱动力分析

为了分析植被变化与气象因素和人类活动的影响关系,选取平均最低气温、平均最高气温、平均气温、降水量、相对湿度、日照时数代表气象因素,平均

地的 NDVI 值是上升趋势。

3.2 灯光数据年际变化

本文选用平均灯光强度代表流域内人类活动强度的大小。2001 年和 2013 年的灯光数据空间分布见图 9, DN 值越大,代表人类活动越强,城市化水平越高。对比 2001 和 2013 年的灯光数据空间分布,可发现汉江上游 2013 年灯光强度明显增强,城市化水平有了显著提高。对 2001—2013 年平均灯光强度进行统计计算,结果见图 10,13 年间平均灯光强度整体上处于上升趋势,与时间的相关系数为 0.863 5,平均每年增加 0.083,增加趋势显著。2009—2013 年平均灯光强度显著变大,说明这几年发展水平显著提高。

灯光强度代表人类活动,分析其相互关系。

3.3.1 月尺度 NDVI 驱动因子分析

月尺度上,分析了 NDVI 与月平均最低(最高)气温、平均气温、降水量、相对湿度、日照时数的相关关系,考虑到气象因子可能会对植被覆盖变化产生滞后影响,将逐月 NDVI 与逐月气象因子和提前一个月(12,1,2,...)的气象因子分别进行相关分析,并进行显著性检验,结果见表 3。表中可看出,相关性从大到小依次为:平均最高气温>平均气温>平均最低气温>日照时数>降水量>相对湿度,相对湿度对 NDVI 的影响较小,相关系数较小,且不显著,其余 5 个气象因子对 NDVI 影响均为极显著正相关,通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验,日照时数对汉江上游的逐月 NDVI 的影响具有滞后性,滞后一个月,其余气象因子对 NDVI 变化无滞后性。

表 3 气象因子与 NDVI 相关性的显著性检验

Tab. 3 Significance test of correlation between meteorological factors and NDVI

气象因素	最低气温	最高气温	平均气温	降水量	相对湿度	日照时数
逐月气象因子值	0.914**	0.935**	0.932**	0.812**	0.347	0.604*
提前 1 个月气象因子	0.633*	0.769**	0.716**	0.488	0.021	0.832**

注:**代表极显著相关,*代表显著相关。

分析气象因子变化率与 NDVI 变化率的相关

关系更能体现 NDVI 对气象要素变化的响应^[10],在

考虑日照时数对月 NDVI 变化具有滞后性的基础上,分析了各个气象因子月变化量和 NDVI 月变化量的相关性,区分出了月尺度上气象因子变化对植被月 NDVI 影响的主次顺序,相关性从大到小依次为月平均最高气温(0.694 3)>月平均气温(0.676 6)>月平均最低气温(0.636 4)>日照时数(0.393 8)>降水量(0.352 8)>相对湿度(0.141)。其中月平均最高气温与 NDVI 的相关关系通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,月平均气温和月平均最低气温与 NDVI 的相关关系通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。发现月平均最高(低)气温和月平均气温是影响月 NDVI 变化的主导因子,即月气温变化对月 NDVI 变化的影响大于日照时数、降水量和相对湿度对其影响。

3.3.2 季尺度 NDVI 驱动因子分析

NDVI 的季节性变化从大到小表现为夏季>春季>秋季>冬季,降水量和平均最低气温从大到小为夏季>秋季>春季>冬季,平均气温、平均最高气温和日照时数都表现为夏季>春季>秋季>冬季,相对湿度为秋季>夏季>冬季>春季,NDVI 的季节性变化与平均气温、平均最高气温、日照时数的季节性变化一致。分析了每个季节 NDVI 年际变化与对应季节气象因子的年际变化的相关性,主要变现为夏季 NDVI 变化与夏季日照时数相关性较高,相关系数为

0.509 6,通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,冬季 NDVI 变化与冬季平均气温和平均最高气温相关性较高,相关系数分别为 0.470 2、0.490 3,通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。春季和秋季 NDVI 变化与气象因子的变化相关性都不高,这可能与春季是农作物播种的季节,秋季是农作物收获的季节有关,这两个季节应该受人类活动的影响比较大。

3.3.3 年尺度 NDVI 驱动因子分析

在年尺度上分析它们与植被指数 NDVI 的相关性。相关系数从大到小依次为:平均灯光强度>平均最低气温>平均气温>平均最高气温>相对湿度>日照时数>降水量,相关系数分别为:0.522 8、0.456 9、0.231 9、0.192、0.045 5、0.007 6、0.000 3。气象因子中平均最低气温与 NDVI 的相关系数最高(0.456 9),其余气象因子相关系数都较小,说明 NDVI 年际变化与多种因素有关。近年来,汉江上游的年降水量、平均气温、平均最高气温均呈不显著上升趋势,平均最低气温呈显著上升趋势,日照时数和相对湿度呈不显著下降趋势。为了进一步识别出人类活动和气候变化对植被指数 NDVI 的影响起关键作用的因素,分析了气象因子和灯光数据的逐年年变化量与 NDVI 年逐年变化量的相关关系,结果见图 11、12。

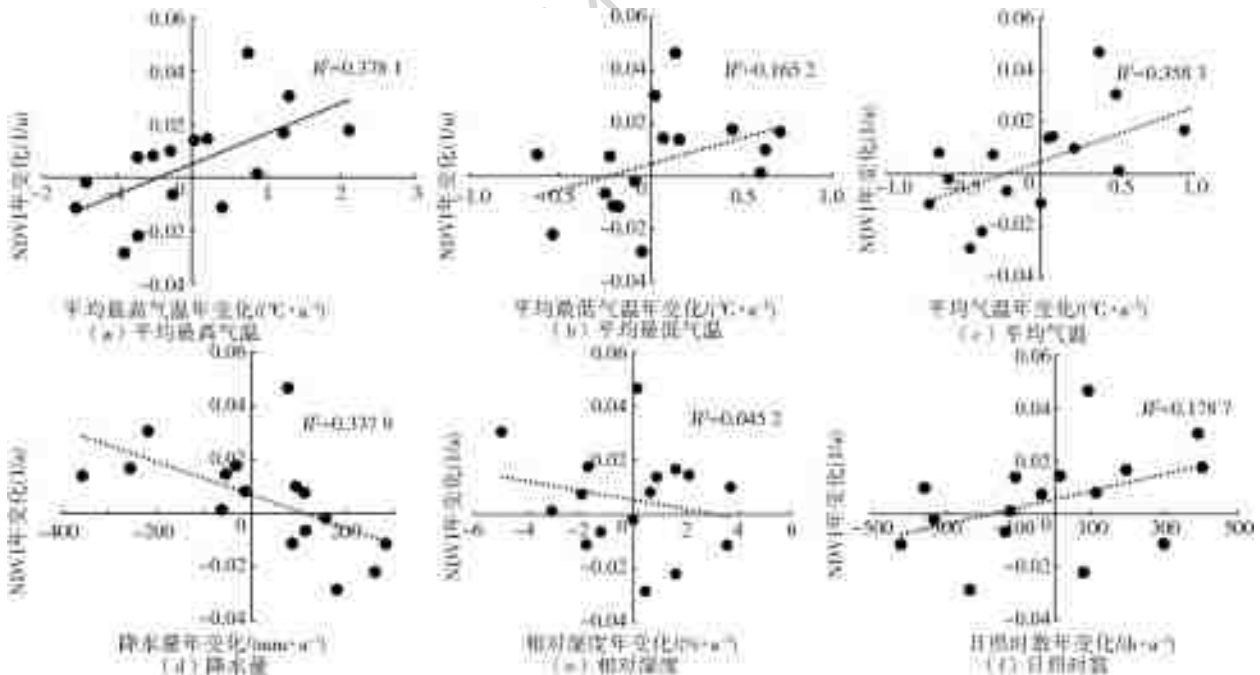


图 11 气象要素年变化与 NDVI 年变化的相关性

Fig. 11 Correlation between annual changes of meteorological elements and annual NDVI changes

从图 11、12 可看出,相关性从大到小依次是:平均最高气温、平均气温、降水量、灯光数据、日照时数、平均最低气温、相对湿度,平均最高气温、平均气温和降水量的对 NDVI 变化影响的相关系数大于

灯光数据对 NDVI 的影响,气象要素对植被变化的影响高于人类活动,即气象要素是汉江上游植被指数 NDVI 变化的主导因素,这种结果与栾金凯等人^[15]在汉江上游采用复直线回归方法得出的人

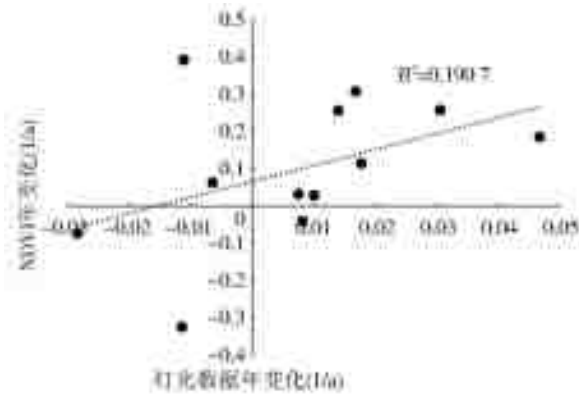


图 12 灯光数据年变化与 NDVI 年变化的相关性

Fig. 12 Correlation between annual changes of light data and NDVI changes

类活动对 NDVI 的影响小于气象因素的结果一致。年气温变化对 NDVI 变化的影响要高于年降水量变化对其影响,年平均 NDVI 值在 2016 年以前呈上升趋势,而在 2017 年却下降,分析 2016 年到 2017 年的气象要素变化,发现 2017 年降水量相比 2016 年上升,而气温却在下降,这也证明了年平均 NDVI 值在 2016—2017 年下降的原因。

4 讨论

植被指数变化受到多种因素的影响,人类活动对植被的影响主要是通过改变土地利用类型变化,进而影响不同土地利用类型的覆盖面积,从而改变一个流域的植被覆盖大小。分析 2001—2013 年不同种土地利用类型的面积变化,发现影响汉江上游 NDVI 逐渐变大的一个原因是常绿针叶林、混交林、落叶阔叶林面积的增加以及灌丛、草地、农用地面积的较少。其中,灌丛面积变化与 NDVI 的相关系数为 0.7184,通过了 $\alpha=0.01$ 得显著性水平检验,呈显著负相关,混交林面积变化与 NDVI 呈显著正相关,通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,草地面积变化与 NDVI 呈负相关,相关系数为 0.52。通过分析汉江上游不同种土地利用类型的面积变化与流域 NDVI 变化的相关关系,发现土地利用结构的变化对流域 NDVI 的变化会产生不可忽视的影响,而土地利用结构的变化又与人类活动、经济政策有很大联系。目前,有关人类活动和气象要素对汉江上游不同土地利用类型 NDVI 变化影响的研究很少,今后需在这方面进行不断探索。

5 结论

本文采用 MODIS/NDVI 数据分析了 2001—2017 年汉江上游 NDVI 变化,结合 Landcover 数

据,分析了 2001—2013 年不同土地利用类型的 NDVI 变化趋势,并利用 DMSP 灯光数据和气象数据分析了人类活动和气象要素对植被指数 NDVI 的影响,遴选出月、季、年 NDVI 变化的主导因子,主要结论如下。

(1)2001—2017 年汉江上游 NDVI 整体呈上升趋势,同种土地利用类型 NDVI 年际变化不大,不同土地利用类型 NDVI 变化趋势基本一致;年均 NDVI 从高到低依次为:落叶阔叶林>混交林>草地>农用地>灌丛>常绿针叶林。

(2)汉江上游植被指数的季节差异明显,主要表现为夏季 NDVI>春季 NDVI>秋季 NDVI>冬季 NDVI,5—9 月是植被的生长季。

(3)月尺度上月平均最高气温是影响植被 NDVI 变化的主导因子,日照时数对逐月 NDVI 的影响具有滞后性。季尺度上,夏季 NDVI 变化与日照时数和降水量变化有很大关系,冬季 NDVI 变化与气温的相关性较高。年平均最高气温是影响 NDVI 年变化的主导因素,气温变化对 NDVI 的影响大于降水变化对 NDVI 的影响。

(4)NDVI 变化受到气象因素和人类活动的共同影响,气象因素是植被变化的主导因素,但人类活动通过改变土地利用结构对 NDVI 变化产生的影响也不可忽视。

参考文献(References):

- [1] 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[J]. 生态学报,2013(24): 7798-7806. (YUAN L H, JIANG W G, SHEN W M, et al. The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River basin from 2000 to 2010 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013(24): 7798-7806. (in Chinese))
- [2] 陈骏. 松华坝水源区植被覆盖度动态变化及其与气象因子关系研究[D]. 昆明:云南师范大学,2015. (CHEN J. Dynamic change of vegetation coverage in Songhuaba water source area and its relationship with meteorological factors[D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2015. (in Chinese))
- [3] 刘登峰,田富强. 塔里木河下游河岸生态水文演化模型[M]. 北京:科学出版社,2015. (LIU D F, TIAN F Q. Ecological hydrological evolution model on riparian vegetation in lower Tarim River[M]. Beijing: Science Press, 2015. (in Chinese))
- [4] 刘登峰,王心睿,黄强,等. 毛乌素沙漠南部植被指数的

- 变化规律研究[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(3): 5-9. (LIU D F, WANG X R, HUANG Q, et al. Study on the evolution law of the vegetation index in the southern Maowusu Desert[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2017, 28(3): 5-9. (in Chinese)) DOI: 11705 / j. issn. 1672-643X. 2017. 03. 02.
- [5] 丁文荣. 金沙江下段植被 NDVI 变化趋势及其归因[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(1): 107-112. (DING W R. Study on the relationship between change trend of NDVI and environment factors in the lower section of Jinsha River, China[J]. South-to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(1): 107-112. (in Chinese)) DOI: 10. 13476/ j. cnki. nsbdqk. 2017. 01. 018.
- [6] 李超, 陈兵林, 孟亚利, 等. 江苏省植被覆盖度影响因子研究[J]. 生态经济(学术版), 2008(2): 375-377. (LI C, CHEN B L, MENG Y L, et al. Research on the impact factors of vegetation cover in Jiangsu Province[J]. Ecological Economy(Academic Edition), 2008(2): 75-377. (in Chinese))
- [7] LIU Y, WANG Y. Correlations between urbanization and vegetation degradation across the world's metropolises using DMSP/OLS nighttime light data[J]. Remote Sensing, 2015, 7(2): 2067-2088. DOI: 10. 3390/rs70202067.
- [8] 舒松, 余柏菡, 吴健平, 等. 基于夜间灯光数据的城市建成区提取方法评价与应用[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(2): 169-176. (SHU S, XU B L, WU J P, et. Methods for deriving urban built-up area using night-light data: assessment and application[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(2): 169-176. (in Chinese))
- [9] 王行汉, 丛沛桐, 刘超群, 等. 2004—2013 年珠江流域植被变化及其胁迫分析[J]. 生态学报, 2017, 37(19): 6494-6503. (WANG X H, CONG P T, LIU C Q, et al. Analysis of vegetation variation and stress factors in the Pearl River basin from 2004 to 2013[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(19): 6494-6503. (in Chinese)) DOI: 10. 5846/stxb201607111416.
- [10] 曹世雄, 刘冠楚, 马华. 我国三北地区植被变化的动因分析[J]. 生态学报, 2017, 37(15): 5023-5030. (CAO S X, LIU G C, M H. Dynamic analysis of vegetation change in north China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(15): 5023-5030. (in Chinese)) DOI: 10. 5846/stxb201605070881.
- [11] 栾金凯, 刘登峰, 黄强, 等. 近 17 年陕西榆林植被指数的时空变化及影响因素[J]. 生态学报, 2018, 38(8): 2780-2790. (LUAN J K, LIU D F, HUANG Q, et al. Analysis of the spatial-temporal change and impact factors of the vegetation index in Yulin, Shaanxi[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(8): 2780-2790. (in Chinese)) DOI: 10. 5846/stxb201704210718.
- [12] 李小燕, 任志远, 张翀. 汉江流域 NDVI 与水热指数时空变化及相关性分析[J]. 地理研究, 2013, 32(9): 1623-1633. LI X Y, REN Z Y, ZHANG C. The correlation analysis and space-time changes of NDVI and hydro-thermal index in Hanjiang basin[J]. Geographical Research, 2013, 32(9): 1623-1633. (in Chinese))
- [13] 孙瑜. 变化环境下流域水文模型参数动态规律研究[D]. 北京: 清华大学, 2015. (SUN Y. Time instability of hydrological model parameters under changing environment[D]. Beijing: Tsinghua University, 2015. (in Chinese))
- [14] 栾金凯, 刘登峰, 刘慧, 等. 汉江流域上游植被指数变化的影响因素分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2019, 40(1): 46-54. (LUAN J K, LIU D F, LIU H, et al. Analysis of the affecting factors of vegetation index change in the upper reach of Hanjiang River basin[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2019, 40(1): 46-54. (in Chinese)) DOI: 10. 19760/j. ncwu. zk. 2019007.
- [15] LUAN J K, LIU D F, ZHANG L P, et al. Analysis of the spatial-temporal change of the vegetation index in the upper reach of Han River basin in 2000-2016. IAHS, 379, 287-292, 2018. DOI: 10. 5194/piahs-379-287-2018.
- [16] 陈宁, 赵红莉, 蒋云钟. 汉江上游不同气候情景下土地利用变化对径流的影响研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(3): 366-370. (CHEN N, ZHAO H L, JIANG Y Z. Effects of land use changes on runoff in the upper stream of the Han River basin in different climate scenarios[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2010, 46(3): 366-370. (in Chinese))
- [17] 周旗, 卞娟娟, 郑景云. 秦岭南 1951—2009 年的气温与热量资源变化[J]. 地理学报, 2011, 66(9): 1211-1217. (ZHOU Q, BIAN J J, ZHENG J Y. Variation of air temperature and thermal resources in the northern and southern regions of the Qinling[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(9): 1211-1217. (in Chinese))

- [18] 詹道江,徐向阳,陈元芳. 工程水文学(第 4 版)[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2010:154-157. (ZHAN D J, XU X Y, CHEN Y F. Engineering Hydrology (4th Edition) [M]. Beijing: China Water&Power Press;2010:154-157. (in Chinese))
- [19] 闫宝伟,潘增,薛野,等. 论水文计算中的相关性分析方法[J]. 水利学报, 2017, 48(9): 1039-1046. (YAN B W, PAN Z, XUE Y, et al. Modeling dependence and correlation in hydrological calculation [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2017, 48(9): 1039-1046. (in Chinese)) DOI: 10. 13243/j. cnki. slxb. 20161280.
- [20] 明道绪. 田间试验与统计分析[M]. 北京:科学出版社, 2005. (MING D X. Field experiment and statistical analysis[M]. Beijing: Science Press, 2005. (in Chinese))
- [21] 金平斌,徐鹏飞. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的城镇化进程及格局研究——以杭州市为例[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(4): 205-213. (JIN P B, XU P F. A study of urbanization progress and spatial pattern using DMSP/OLS nighttime light data; A case study of Hangzhou City[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2017, 29(4): 205-213. (in Chinese)) DOI: 10. 6046/gtzyyg. 2017. 04. 31.

(上接第 122 页)

- [23] FANKHAUSER S, TOL R S J. On climate change and economic growth[J]. Resource & Energy Economics, 2005, 27(1): 1-17. DOI: 10. 1016/j. reseneeco. 2004. 03. 003.
- [24] 王小静. 西北旱区作物需水量对气候变化的响应[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2014. (WANG X J. The response of crop water requirement to climate change in the arid region of northwest China[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014. (in Chinese))
- [25] 魏新光,王铁良,李波,等. 辽宁省玉米地水分盈亏时空分布特征及灌溉模式分区研究[J]. 农业工程学报, 2018, 34(23): 119-126. (WEI X G, WANG T L, LI B, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of maize water surplus deficit and irrigation mode partition in Liaoning Province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(23): 119-126. (in Chinese)) DOI: 10. 11975/j. issn. 1002-6819. 2018. 23. 014.
- [26] 史超,夏军,余敦先,等. 气候变化下汉江上游林地植被生态需水量的时空演变[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(4): 580-589. (SHI C, XIA J, SHE D X, et al. Temporal and spatial variation of ecological water requirement of forests in the upper reaches of the Hanjiang basin under climate change[J]. Resources and Environment in the Yangtze basin, 2016, 25(4): 580-589. (in Chinese)) DOI: 10. 11870/cj-lyzyyhj201604007.