2003－2017 年陕西省 NDVI 时空变化及其影响因素

同英杰[1,2]，文彦君[1,2]，张 翀[1,2]

(1. 宝鸡文理学院 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室，
陕西 宝鸡 721013；2. 宝鸡文理学院 地理与环境学院，陕西 宝鸡 721013)

摘 要：[目的] 研究影响陕西省植被覆盖主导气候类和非气候类因子，为区域生态文明建设提供科学依据。[方法] 基于 2003—2017 年 MODIS NDVI 数据，利用趋势分析和地理探测器模型等方法，研究了气候类和非气候因素对陕西省植被覆盖的影响。[结果] ①2003—2017 年陕西省 NDVI 空间分布总体上为改善趋势，但在不同植被类型区和生态区有所差异。②降水是影响陕西省植被覆盖空间分布的主导气候类因素，其他因素对当地植被覆盖影响程度有所差异。③降水与气温、日照、风速、相对湿度的交互作用对陕西省植被覆盖空间分布起主导作用。且气温的作用只有在和降水的交互作用下才能体现出来。④植被类型和地貌是陕西省植被覆盖空间分布的主导非气候类因素，其他因素的影响有所差异。⑤植被类型、地貌和土壤类型之间的交互作用对陕西省植被覆盖空间分布起主导作用。人口、GDP 的影响也只有在与其他因素的交互作用下才能显现出来。[结论] 气候类因素的影响大于非气候类因素，气候类和非气候类因素的共同作用能够充分的解释植被覆盖空间分布。

关键词：植被覆盖；线性趋势法；地理探测器；陕西省

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2020)03-0155-08 **中图分类号**：X87，Q948

文献参数：同英杰，文彦君，张翀. 2003—2017 年陕西省 NDVI 时空变化及其影响因素[J]. 水土保持通报，2020，40(3)：155-162. DOI：10. 13961/j. cnki. stbctb. 2020. 03. 022；Tong Yingjie，Wen Yanjun，Zhang Chong. Spatiotemporal variation of NDVI and its influence factors in Shaanxi Province during 2003—2017 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2020，40(3)：155-162.

Spatiotemporal Variation of NDVI and Its Influence Factors in Shaanxi Province During 2003－2017

Tong Yingjie[1,2]，Wen Yanjun[1,2]，Zhang Chong[1,2]

(1. *Shaanxi Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulation*，
Baoji University of Arts and Sciences，*Baoji*，*Shaanxi* 721013，*China*；2. *College of Geography and Environment*，*Baoji University of Arts and Sciences*，*Baoji*，*Shaanxi* 721013，*China*)

Abstract：[Objective] The dominant climatic and non-climatic factors of vegetation cover in Shaanxi Province were studied in order to provide a scientific basis for the construction of regional ecological civilization. [Methods] Based on the MODIS normalized difference vegetation index (NDVI) data from 2003 to 2017，the effects of climatic and non-climatic factors on the vegetation coverage were studied using trend analysis and geographic detector in Shaanxi Province. [Results] ① The NDVI in Shaanxi Province generally improved from 2003 to 2017. However，there were differences between vegetation types and ecological areas. ② In terms of climatic factors，the spatial distribution of vegetation coverage was mainly affected by the precipitation in Shaanxi Province，and other climatic factors had different influences on local vegetation cover. ③ The interaction of precipitation and temperature，sunshine，wind speed，and relative humidity had a leading role in the spatial change of vegetation coverage in Shaanxi Province，whereas the sole interaction between temperature and precipitation had significant effect on vegetation coverage. ④ In terms of non-climatic factors，the spatial distribution of vegetation coverage was mainly affected by vegetation type and the topography in Shaanxi

收稿日期：2019-11-07 **修回日期**：2019-12-31
资助项目：陕西省自然科学基础研究计划项目“基于深度机器学习的土壤水分高光谱遥感反演技术研究”(2018JQ4039)
第一作者：同英杰(1991—)，男(汉族)，陕西省渭南市人，硕士研究生，研究方向为环境与资源遥感。Email：349663147@qq. com。
通讯作者：张翀(1986—)，男(汉族)，陕西省西安市人，博士，讲师，主要从事资源环境遥感与 GIS 研究。Email：zhangch3348@126. com。

Province. ⑤ Vegetation types and landforms were the dominant non-climatic factors affecting the spatial distribution of vegetation coverage in Shaanxi Province. However, the impact of population and gross domestic product on vegetation cover could only be seen through interaction with other factors. [Conclusion] The influence of climatic factors was greater than that of non-climatic factors. The combined effect of climatic and non-climatic factors could completely explain the spatial distribution of vegetation coverage.

Keywords: vegetation cover; ordinary least squares; geographical detector; Shaanxi Province

植被作为陆地生态系统的重要组成部分,在全球物质和能量的循环过程中起至关重要的作用,与气候变化联系紧密[1]。同时植被覆盖变化也是影响区域生态环境的"指示器"[2]。在全球变暖的大环境下,对于植被覆盖变化的影响因素研究一直以来都是热点问题,以往研究表明,气候因素和非气候因素均不可避免的会对植被覆盖变化产生影响[3]。归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)是一种常用于反映植被覆盖状况的遥感指标[4],它能较好的反映植被覆盖、生物量及叶面指数等信息[5-6]。

近年来,国内外学者已经利用 NDVI 数据对植被覆盖时空变化和其影响因素进行了较为成熟的研究,其具有研究尺度灵活,范围广,时间连续性长等特点[7]。植被覆盖时空变化所用到的方法一般包括线性趋势法[8-9]、稳定性评价[10-11]和 Mann-Kendall 非参数校验[12-13]等方法。本研究选用应用较为广泛的线性趋势法来评价陕西省植被覆盖时空变化。植被覆盖变化影响因素包括对气候因素和人为因素的研究,对于气候因素的研究方法多为相关分析法[14-15],但是,简单的相关系数不能表明变量间的关系,因为因素间的关系可能很复杂,也可能存在其他关系,因此,研究结果和实际情况也可能出现偏差[16]。对于人为因素的研究方法包括定性—半定量方法和定量评价[17],其中定量评价主要有回归模型法[18-19],残差趋势法[20-21]和基于生物物理过程的模型方法[22-23]。以往研究采用残差趋势法较多,此法虽然解释了人为影响的贡献程度和空间格局,但在分离气候因素的影响时没有考虑其他气候因素对植被覆盖变化的影响,对人为影响的解释也较为笼统,而且对其他非气候因素研究较少;且以往研究缺乏定量分解各因素对植被覆盖影响的贡献率的大小,因此,难以为区域生态文明建设提供行之有效的依据。地理探测器[24]是由王劲峰提出的一种定量探测地理现象空间分异性及其背后驱动力的统计学方法。其基于空间方差分析,擅长探测类型变量,对于定性变量,只要进行适当的离散化,也可以探测;此外,地理探测器也可以对两因子的交互作用进行探测[25]。该方法凭借其独有的优势已被应用于多个学科和领域[26-27]。

陕西省地处中国西部内陆,区域内地貌复杂,气候南北差异较大,生态系统较为脆弱,受到气候因素和非气候因素的双重影响,植被覆盖空间分布特征明显[28]。综上所述,本研究基于最大合成法、线性趋势法等方法对影响陕西省地区植被覆盖时空分布和变化趋势进行分析,并采用地理探测器对多个气候因素因素和非气候因素进行定量分析,旨在为当地保护生态环境、进行生态修复提供理论支撑。

1 数据与方法

1.1 数据来源及处理

本文所用数据主要包括 2003—2017 年 LP DAAC 16 d 合成的 NDVI 数据,分辨率为 1 km;陕西省 35 个国测台站 2003—2017 年气温、降水、风速、日照、气压和相对湿度数据;植被类型、土壤、地貌、土地利用类型和生态功能区划数据。

采用 MRT 工具对 NDVI 数据进行拼接、投影和格式转换,利用 ArcGIS 软件进行掩膜提取,并采用最大合成法(MVC)提取陕西省历年 NDVI 数据。气温、降水、日照、风速、气压和相对湿度等气象数据均来自中国气象数据共享服务网站,通过计算得到年降水和年平均气温,并采用 Anusplin [29]软件将其插值到空间上,分辨率为 1 km。对风速、日照、气压、相对湿度数据计算年平均值,并利用 ArcGIS 软件进行经验贝叶斯克里金插值,分辨率为 1 km。生态功能区划数据来自中国生态系统评估与生态安全数据库。地貌、土壤、土地利用类型和植被类型等数据来源于中国科学院资源科学数据中心(http://www.resdc.cn/),利用 ArcGis 软件对其进行投影转换和掩膜提取。

1.2 研究方法

1.2.1 线性趋势法 本研究通过逐年逐像元计算线性趋势来研究陕西省植被覆盖的变化趋势[30],计算公式如下:

$$\text{slope}=\frac{n\times\sum_{i=1}^{n}i\times Y_{vi}-\sum_{i=1}^{n}i\sum_{i=1}^{n}Y_{vi}}{n\times\sum_{i=1}^{n}i^2-(\sum_{i=1}^{n}i)^2} \tag{1}$$

式中:i 为年号,$n=15$,Y_{vi} 表示每个像元第 i 年的 NDVI 值,slope 为每个像元 NDVI 变化的斜率,当 slope>0,表示该像元 NDVI 值呈增长趋势,当 slope<0,表示该像元 NDVI 呈减小趋势。

1.2.2　地理探测器　地理探测器主要用于探究空间分异性并对其驱动力进行定量分析的一种统计学方法[31]。本研究主要应用地理探测器中的因子探测器、交互探测器和生态探测器模块来定量分析陕西省植被覆盖的主要驱动因子。

因子探测器主要探究了因变量 Y 的空间分布异质性及其自变量 X 在多大程度上解释了这种分异。在本研究中,因变量 Y 为陕西省多年平均 NDVI,自变量 X 为选取的 15 种气候和非气候因子。其公式为:

$$q=1-\frac{\sum_{h=1}^{L}N_h\sigma_h^2}{N\sigma^2}=1-\frac{\mathrm{SSW}}{\mathrm{SST}} \quad (2)$$

$$\mathrm{SSW}=\sum_{h=1}^{L}N_h\sigma_h^2,\quad \mathrm{SST}=N\sigma^2 \quad (3)$$

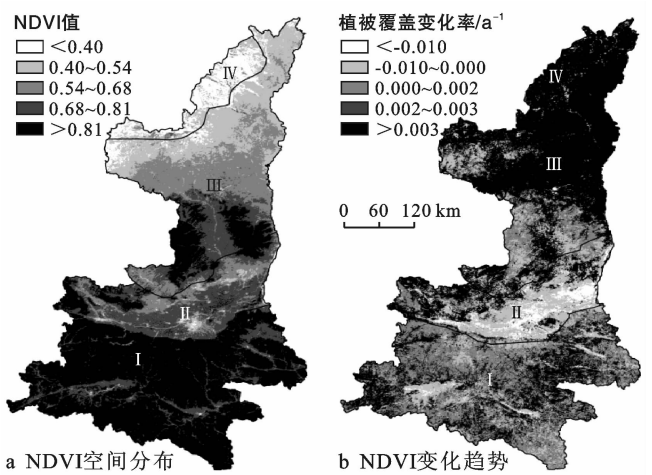
式中:h 为自变量的分区序号;L 为分区总数;N_h 和 N 分别为每个分区和区域内总共的栅格数目;σ_h^2 和 σ^2 为每个分区方差和区域内 NDVI 的方差。SSW 和 SST 为分区方差之和和区域内总方差。q 值表示各因子对 NDVI 空间分布的解释力,取值范围为 0～1 之间。q 值越大,表明该因子对 NDVI 空间分布的解释力越强,反之,则越弱。

生态探测器用于检测各影响因子对区域内 NDVI空间分布的影响是否具有显著差异。交互作用探测器用来评估任意两因子共同作用下对 NDVI 的解释程度。判断依据如表 1。

表 1　交互探测判断依据

判断依据	交互作用
$q(X_1\cap X_2)<\min[q(X_1),q(X_2)]$	非线性减弱
$\min[q(X_1),q(X_2)]<q(X_1\cap X_2)<\max[q(X_1),q(X_2)]$	单因子非线性减弱
$q(X_1\cap X_2)>\max[q(X_1),q(X_2)]$	双因子增强
$q(X_1\cap X_2)=q(X_1)+q(X_2)$	独 立
$q(X_1\cap X_2)>q(X_1)+q(X_2)$	非线性增强

地理探测器是分析类型变量的统计工具,对于连续型数据,需对其进行离散化处理。自然间断点分级法是最大化组间差异的分类方法[32],该方法使组内平均离散方差最小,组间平均离散方差最大。所以本研究采用自然间断点分级法对降水、气温、风速、日照、气压、高程、坡度、人口、GDP 等连续型数据进行分类;此外,坡向数据按实际坡向分类,植被类型数据按植被大类分类,土地利用数据按一级类型分类,土壤类型数据按土纲分类。利用 ArcGIS 软件将陕西省 2003—2017 年平均 NDVI 和 15 种气候和非气候影响因素重采样为 5 km×5 km 的栅格数据,并对其中心点进行提取,剔除异常值后,共有 8 241 个数据参与计算。



注:Ⅰ 秦巴山地落叶与阔叶林生态区;Ⅱ 汾渭盆地农业生态区;Ⅲ 黄土高原农业与草原生态区;Ⅳ 内蒙古高原中东部典型草原生态区。

图 1　陕西省归一化植被指数(NDVI)多年平均分布和变化趋势

2　结果与分析

2.1　陕西省 NDVI 时空变化特征

2003—2017 年陕西省 NDVI 范围在－0.15～0.99 之间,平均值为 0.72。空间上 NDVI 高值区域主要集中在陕南和延安市南部区域,关中地区次之,陕北区域 NDVI 整体偏低(见图 1a)。不同植被类型存在差异,其中,阔叶林最高,为 0.87;其次为针叶林,为 0.86,同时灌丛、草丛均大于 0.8;沼泽、栽培植物、草甸、草原在 0.44～0.68 之间,荒漠最小,为 0.34。从生态功能区划来看,秦巴山地落叶与阔叶林生态区最高,为0.87;其次为黄土高原农业与草原生态区和汾渭盆地农业生态区,分别为 0.62 和 0.74;最低的是内蒙古高原中东部典型草原生态区最低,区域内平均值为 0.37。

2003—2017 年,陕西省植被覆盖总体呈改善趋势,变化率为 0.030/10 a。其中陕北北部改善最为明显,陕北南部、关中中东部和陕南部分区域改善较为缓慢,并出现退化区(图 1b)。从植被类型来看,草原改善最为明显,变化率为 0.081/10 a,其次为荒漠,变化率为 0.064/10 a,草甸和栽培植物变化率较为接近,分别为 0.040/10 a 和 0.036/10 a,草丛、灌丛、阔叶林和沼泽变化率在 0.018/10 a～0.022/10 a 之间,针叶林变化最不明显,变化率仅为 0.010。生态区划上,内蒙古高原中东部典型草原生态区变化最明显,变化率为 0.089/10 a,其次为黄土高原农业与草原生

态区,变化率为 0.072/10 a,秦巴山地落叶与阔叶林生态区变化率为 0.017/10 a,最低的是汾渭盆地农业生态区,植被覆盖有退化趋势,变化率为−0.073/10 a。

2.2 气候类因素对植被覆盖空间分布的影响

2.2.1 植被覆盖气候类指示因子 植被作为生态系统的重要组成部分,与各种气候要素有着极其重要的联系。为探究气候类因素对陕西省植被覆盖空间分布的影响,本文选取多种因素并对其进行地理探测器分析(见图 2),得到影响因子的解释力 q 值(见表 2)。解释力大小从大到小依次为降水、相对湿度、日照、气压、风速和气温。降水和相对湿度 q 值均大于 0.7,是区域内植被覆盖空间分布的主导气候类因素。日照 q 值为 0.684,与相对湿度(q 值 0.711)接近,风速和气压对植被覆盖空间分布的解释力中等,q 值分别为 0.391 和 0.431,气温对植被覆盖的解释力最弱,q 值为 0.205。

综合各因子,并结合 NDVI 空间分布特征分析可知,降水是影响区域内植被覆盖空间分布的主导气候类因素,其他因素对当地植被覆盖影响程度有所差异。秦巴山地落叶与阔叶林生态区自身覆盖程度高,受到降水、气温、相对湿度和气压的共同影响,更能促进植被生长。近年来,黄土高原农业与草原生态区通过对生态系统的修复,大大提高了地覆程度,降低了降水造成的水土流失和土壤侵蚀的影响,同时,地表固水能力的增强,充足的日照促进了当地植被的生长。内蒙古高原中东部典型草原生态区受到降水、风速、日照、相对湿度等因素的限制,导致区域内植被覆盖程度较低。区域中部和北部气压空间分异不明显,对植被分布影响较低,所以气压解释力较弱。

表 2 2003−2017 年陕西省气候类因子对植被覆盖的解释力(q)

气候类因素	降水	气温	风速	日照	气压	相对湿度
q 值	0.763	0.205	0.391	0.684	0.431	0.711

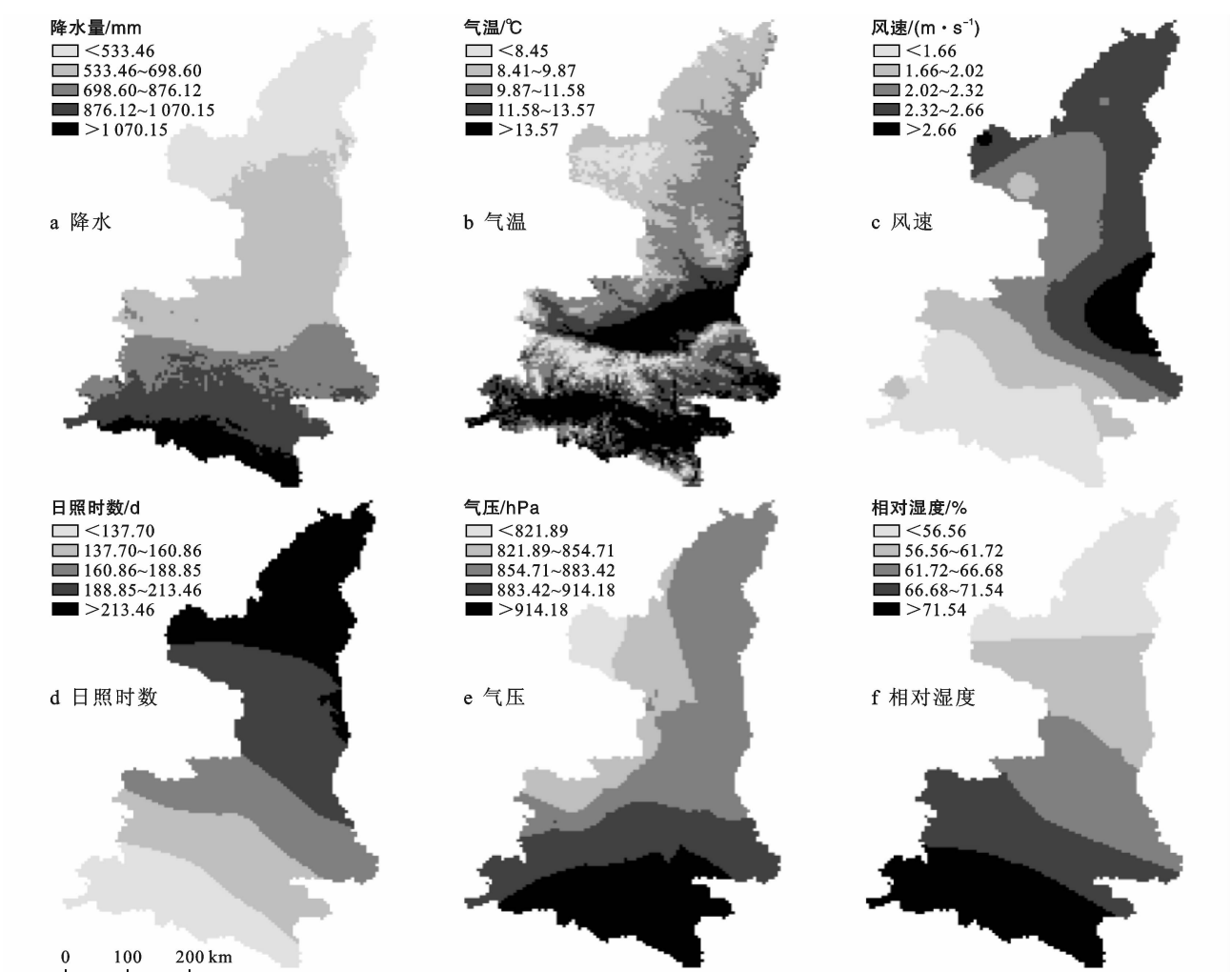
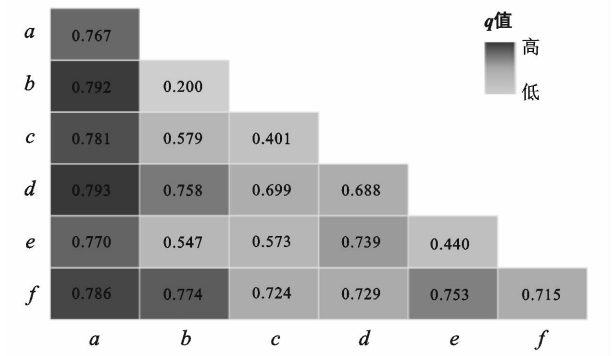


图 2 2003−2017 年陕西省气候类因子的空间分布

2.2.2 气候类因素的交互影响 为了了解任意两个气候因子共同作用下对 NDVI 空间分布的解释程度,因此对各因子进行交互作用探测。双因子交互作用下,都会增强对植被覆盖的解释力(见图 3),且均为非线性增强趋势。其中,降水∩气温(q 值为0.792)、风速∩降水(q 值 0.781)、日照∩降水(q 值为 0.793)

和相对湿度∩降水(q 值为 0.786)对区域植被覆盖空间分布的解释力较大。由此可以看出,降水作为本区域植被覆盖空间分布的主导气候类因素,在与其他气候因素的交互作用下,对植被覆盖影响最大。依据前文对植被覆盖气候类指示因子的分析,气温单因素对本区域植被覆盖的解释力最弱,而与降水的交互作用解释力较大,这说明气温只有在满足一定的降水条件,并和降水的共同作用下,才会对植被覆盖产生显著的影响。此外,为检测双因子间对 NDVI 空间分布是否存在显著差异,对各因子做生态探测,结果表明:任意两个气候因子之间对植被覆盖的影响均有显著的差异(检测值为 Y)。



注:a 为降水;b 为气温;c 为风速;d 为日照;e 为气压;f 为湿度。下同。

图 3　2003－2017 年陕西省气候类因子交互探测解释力(q)

2.3　非气候类因素对植被覆盖空间分布的影响

2.3.1　植被覆盖非气候类指示因子　植被覆盖同时受各种非气候类因素的影响。运用地理探测器分析高程、坡度、坡向、植被类型、土壤类型、土地利用类型、地貌、人口和 GDP 等因素对陕西省植被覆盖的影响程度,得到其 q 值(见表 3)。如图 4 及附图 9—10(见封 3)所示,各因子解释力从大到小依次为植被类型、地貌、土壤类型、坡度、土地利用类型、高程、人口、GDP 和坡向。其中,植被类型和地貌对陕西省植被覆盖空间分布的解释力最强,q 值大于 0.5,土壤类型和坡度的解释力中等,q 值分别为 0.412 和 0.282,解释力较小的为高程、坡向、土地利用类型、人口和 GDP,解释力在 0.001～0.089 之间,坡向解释力最弱,q 值为 0.001。

结合 NDVI 空间分布分析,植被类型和地貌是主导非气候类影响因子。黄土高原农业与草原生态区南部、汾渭盆地农业生态区西部和秦巴山地落叶与阔叶林生态区主要地貌类型为山地,主要植被类型为阔叶林、针叶林和草丛等,区域内植被根系发育良好,涵养水源功能较好,对气候适应性较强,植被生长稳定,所以植被覆盖程度较高,而内蒙古中东部典型草原生态区、黄土高原农业与草原生态区北部和汾渭盆地农业生态区中东部主要地貌类型为丘陵、台地和平原,主要植被类型为草原、荒漠和人工植被等,人工植被主要包括粮食作物、经济作物和城市绿化植被等,本身地覆不高,且受到土地利用类型、人口等人为因素的限制,所以植被覆盖程度较低。土壤为第三解释力因子,区域内土壤类型较为单一,淋溶土、半淋溶土和初育土仅 3 类几乎就分布于整个区域,所以对植被覆盖空间分布特征影响并不明显。区域内坡度变化不大,总体范围在 1.26°～25.62°之间,对植被覆盖空间分布的影响不强。除此之外,其余非气候因素都对陕西省植被覆盖空间分布解释力较弱。

表 3　2003－2017 年陕西省非气候类因子对植被覆盖空间分布的解释力(q)

因子	高程	坡度	坡向	植被类型	土地利用类型	土壤类型	地貌	人口	GDP
q 值	0.047	0.282	0.001	0.530	0.089	0.412	0.508	0.018	0.002

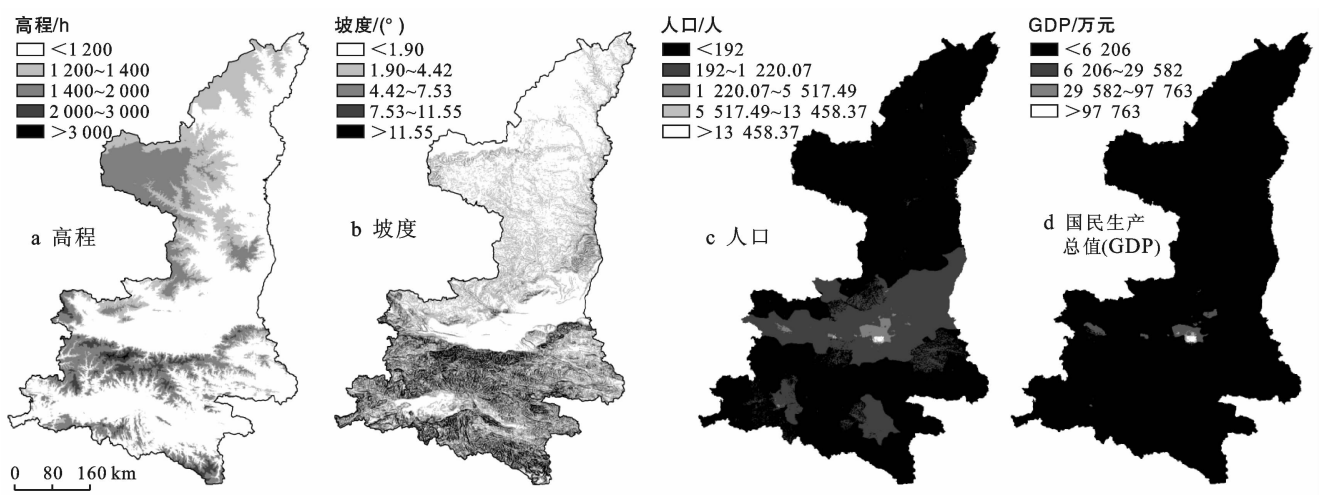
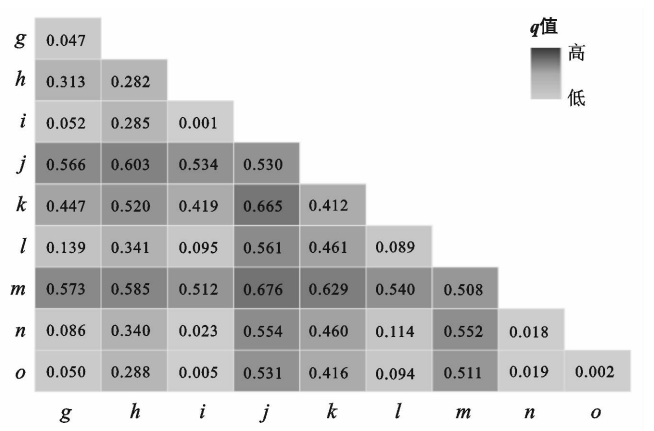


图 4　2003－2017 年陕西省非气候类因子空间分布

2.3.2 非气候类因素的交互作用 对非气候类因素交互探测和生态探测(见图 5),结果表明,不同因子的交互作用均会增强对陕西省植被覆盖空间分布的解释力,基本为非线性增强。其中,土壤类型∩植被类型(q 值为 0.665)、地貌∩植被类型(q 值为0.675)、坡度∩植被类型(q 值为 0.602)和地貌∩土壤类型(q 值为 0.629)对陕西省植被覆盖空间分布特征具有较强的解释力。由前文关于植被覆盖非气候类指示因子分析可知,植被类型和地貌作为主导因子,在与土壤类型和坡度的共同作用下,对陕西省植被覆盖分布特征的影响最大。生态探测器结果表明,人口、GDP 和坡向之间的生态监测为 N(见图 6),无显著差异,说明人口、GDP 和坡向对植被覆盖空间分布具有相似的机理,所以人口∩GDP(q 值为 0.019)、人口∩坡向(q 值为 0.022)和 GDP∩坡向(q 值为 0.005)解释力接近,但其交互作用仍然较弱。依据前文的分析,坡向、土地利用类型、人口、GDP 单因子对 NDVI 分布特征的解释力都较小,而与植被类型、地貌等单因子解释力较强因素的交互作用下均会有较大幅度的增强,呈非线性增强趋势。说明人口、GDP 和坡向对植被覆盖的影响程度只有在满足一定植被类型、地貌类型和土壤类型的条件下才会显现出来。



注:g 为高程;h 为坡度;i 为坡向;j 为植被类型;k 为土壤类型;l 为土地利用类型;m 为地貌;n 为人口;o 为 GDP。下同。

图 5 2003—2017 年陕西省非气候类因子交互探测解释力(q)

2.4 陕西省植被覆盖空间分布指示因子及其交互影响

综合分析所有地理因子对陕西省植被覆盖空间分布的解释力,结果如图 7 所示:地理因子对陕西省植被覆盖空间分布的解释力从大到小依次为降水、相对湿度、日照、植被类型、地貌、气压、土壤类型、风速、坡度、气温、土地利用类型、高程、人口、GDP、坡向。总体上,气候因素对陕西省植被覆盖的影响要大于非气候因素;非气候类因素中,土地利用类型、人口和 GDP 可细化为人类活动因素,其余因素为自然环境因素,由前文分析可知,人类活动因素对陕西省植被覆盖空间分布的解释力总体上较低。因此,对陕西省植被覆盖空间分布的影响:气候类因素>非气候类因素;非气候类因素:自然环境因素>人类活动因素。

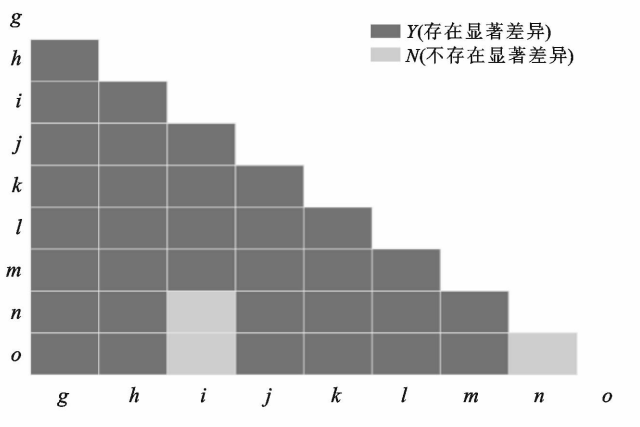
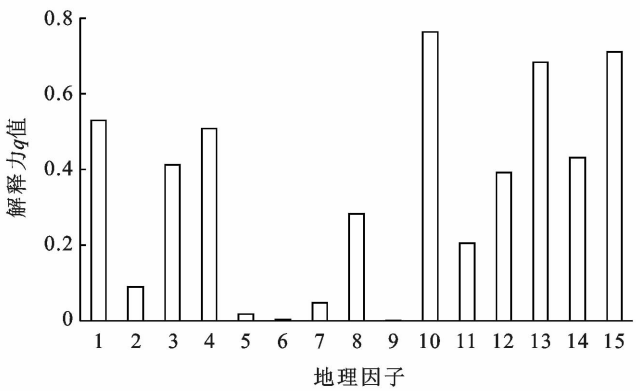


图 6 2003—2017 年陕西省非气候类因子生态探测



注:1 为植被覆盖;2 为土地利用类型;3 为土壤类型;4 为地貌;5 为人口;6 为 GDP;7 为高程;8 为坡度;9 为坡向;10 为降水;11 为气温;12 为风速;13 为日照;14 为气压;15 为相对湿度。

图 7 2003—2017 年地理因子对陕西省植被覆盖空间分布的解释力

对所有气候和非气候因素做交互作用探测,结果如图 8 所示。气候类因素和非气候类因素交互作用均会增强对植被覆盖的解释力,基本为非线性增强趋势。其中,降水∩植被类型(q 值为 0.817)、降水∩地貌(q 值为 0.813)和相对湿度∩植被类型(q 值为 0.812)对区域内植被覆盖分布特征的解释力较大。可以看出,降水、植被类型和地貌作为植被覆盖的主导气候和非气候因素,它们之间和与其它因素的交互作用都会增强其解释力。同时,诸如气温、气压和风速这类解释力较弱的气候类因素,在与每一种非气候类因素的交互作用下,解释力均有不同程度的增强;反之,非气候类因素中解释力较弱的坡向、土地利用类型、人口和 GDP 等因素,在与不同的气候类因素的交互作用下,也会有较大幅度的增强。由此可以看出,人类活动只有在满足一定气候条件下,才能对植

被覆盖空间分布产生较强的影响。综上所述,陕西省植被覆盖空间分布特征受到气候和非气候因素的共同作用。生态探测器结果表明:气候类与非气候因素对植被覆盖影响具有显著的差异(检测值为 Y)。

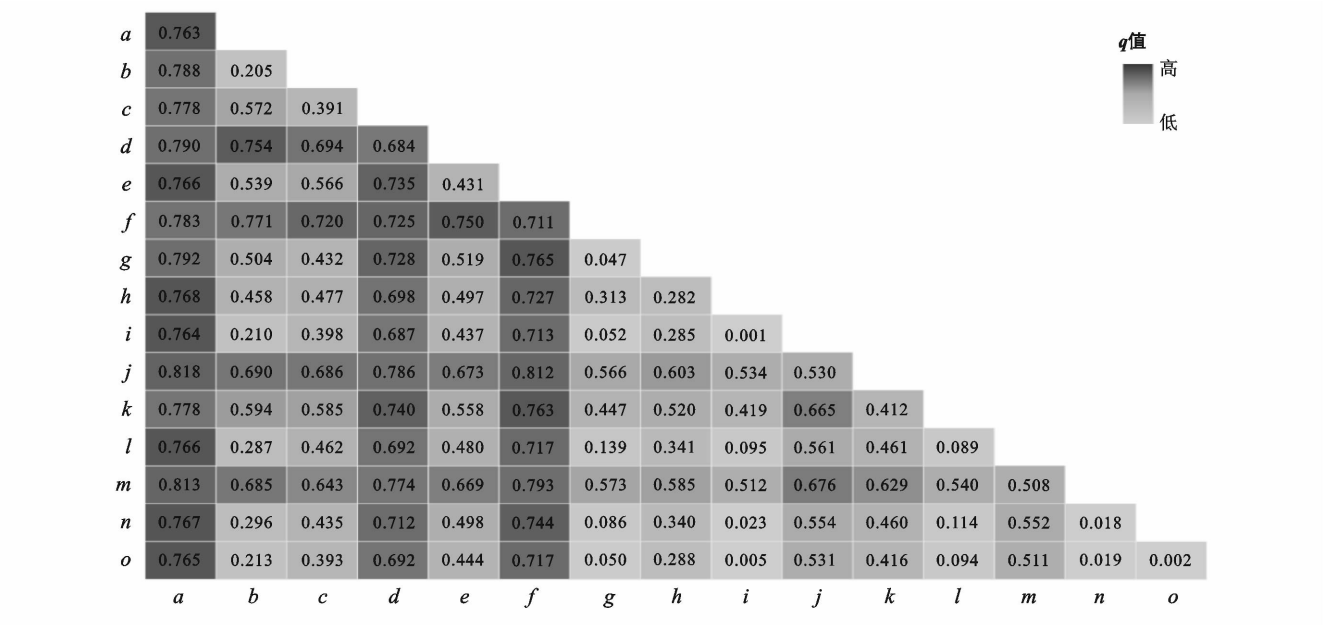


图 8　2003－2017 年陕西省气候类和非气候类因子交互探测解释力(q)

3　讨 论

本研究基于 2003—2017 年 MODIS NDVI 数据对陕西省植被覆盖空间分布和变化趋势进行分析。研究发现,植被覆盖高值区域主要集中在陕南和延安市南部区域,关中地区次之,陕北区域 NDVI 最低;总体呈改善趋势,其中陕北北部改善最为明显,陕北南部、关中中东部和陕南部分区域改善较为缓慢,并出现退化区,与相关研究结果一致[8-9]。

此外,本研究在综合考虑气候类和非气候类因素的前提下,利用地理探测器模型对陕西省植被覆盖空间分布的影响因素进行定量归因分析。但仍存在一定的局限性:

(1) 在对植被覆盖进行时空变化分析时,遥感数据精确的时空分辨率是非常有必要的。本研究选用的 NDVI 数据空间分辨率为 1 km×1 km,单个像元可能无法准确的表现实际的地物分布,特别是小斑块的植被识别,因此,在今后研究中,将选用更高分辨率的遥感数据,提高对区域细节的解释能力。

(2) 陕西省地形地貌变化复杂,本研究虽然采用经验贝叶斯克里金法对除气温、降水外的气候因子做了插值,但地形对气象参数的影响强烈[33],因此,单纯的平面插值不能表现出真实的水热变化,对植被覆盖变化的解释力有限。

(3) DEM 地形分析是依赖于其栅格尺度的[34],且不同尺度 DEM 所得到的坡度、坡向数据在不同地形下对实际地表的表现程度有较大差异[35]。本研究中坡度和坡向采用了 DEM 数据的粗分辨率(5 km),且未考虑其在不同地形(丘陵、山地、平原等)下的表现的异质性,因此,为当地植被覆盖研究带来了不确定性。

(4) 社会经济活动如人口、GDP 和土地利用等均会对植被覆盖变化产生影响,但此类数据都会存在动态变化,而本研究提供的此类数据为静态数据。在今后的研究中,应考虑社会经济活动因素对植被覆盖影响的程度以及其时间变化规律,增强研究的现实指导意义。

4　结 论

(1) 2003—2017 年陕西省 NDVI 空间分布总体上为改善趋势,变化率为 0.030/10 a。植被类型上,草原＞荒漠＞草甸＞栽培植物＞草丛＞灌丛＞阔叶林＞针叶林;生态区上,内蒙古高原中东部典型草原生态区最高,变化率为 0.089/10 a,汾渭盆地农业生态区最低,变化率为－0.073/10 a,区域内植被出现退化趋势。

(2) 降水是影响陕西省植被覆盖空间分布的主导气候类因素。秦巴山地落叶与阔叶林生态区植被生长受到降水、气温、相对湿度和气压的共同影响,植被覆盖较高;内蒙古高原中东部典型草原生态区受到降水、风速、日照、相对湿度等因素的限制,植被覆盖程度较低。

(3) 降水与气温、日照、风速、日照、相对湿度的

交互作用对陕西省植被覆盖空间分布其主导作用，且气温的影响只有在和降水的交互作用下才能体现出来。

(4) 植被类型和地貌是陕西省植被覆盖空间分布的主导非气候类因素。区域中北部、南部和汾渭盆地农业生态区西部受到地貌、植被类型等因素的影响，植被覆盖程度较高；区域北部和汾渭盆地农业生态区中东部受到植被类型、地貌、土地利用类型、土壤类型、人口和GDP等因素的限制，植被覆盖程度较低。

(5) 植被类型、地貌和土壤类型之间的交互作用对陕西省植被覆盖空间分布的起主导作用。人口、GDP的影响只有在与其他因素的交互作用下才能显现出来。

(6) 总体来说，对陕西省植被覆盖空间分布的影响：气候类因素＞非气候类因素。陕西省植被覆盖空间分布受到气候类和非气候类因素的共同影响。

[参 考 文 献]

[1] Roerink G J, Menenti M, Soepboer W, et al. Assessment of climate impaction vegetation dynamics by using remote sensing [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2003, 28(1/2/3): 103-109.

[2] 张华，张改改，吴睿. 基于GF-1卫星数据的面向对象的民勤绿洲植被分类研究[J]. 干旱区地理，2017，40(4)：831-838.

[3] 易浪，任志远，张翀，等. 黄土高原植被覆盖变化与气候和人类活动的关系[J]. 资源科学，2014，36(1)：166-174.

[4] 焦全军，付安民，张肖，等. 基于MODIS数据的锡林郭勒草原植被覆盖变化及驱动因子分析[J]. 北京工业大学学报，2017，43(5)：659-664.

[5] 宋开山，张柏，王宗明，等. 大豆叶绿素含量高光谱反演模型研究[J]. 农业工程学报，2006，22(8)：16-21.

[6] 徐新刚，王纪华，黄文江，等. 基于权重最优组合和多时相遥感的作物估产[J]. 农业工程学报，2009，25(9)：137-142.

[7] 陈晋，陈云浩，何春阳，等. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用[J]. 遥感学报，2001，5(6)：416-422.

[8] 岳辉，刘英. 近15 a陕西省植被时空变化与影响因素分析[J]. 干旱区地理，2019，42(2)：314-323.

[9] 李跃鹏，刘海艳，周维博. 陕西省1982—2015 NDVI时空分布特征及其与气候因子相关性[J]. 生态科学，2017，36(6)：153-160.

[10] 孙锐，陈少辉，苏红波. 2000—2016年黄土高原不同土地覆盖类型植被NDVI时空变化[J]. 地理科学进展，2019，38(8)：1248-1258.

[11] 张仁平，冯琦胜，郭靖，等. 2000—2012年中国北方草地NDVI和气候因子时空变化[J]. 中国沙漠，2015，35(5)：1403-1412.

[12] 何宝忠，丁建丽，张喆，等. 新疆植被覆盖度趋势演变实验性分析[J]. 地理学报，2016，71(11)：1948-1966.

[13] 师庆东，吕光辉，潘晓玲，等. 遥感影像中分区分类法及在新疆北部植被分类中的应用[J]. 干旱区地理，2003，26(3)：264-268.

[14] 张琪，袁秀亮，陈曦，等. 1982—2012年中亚植被变化及其对气候变化的响应[J]. 植物生态学报，2016，40(1)：13-23.

[15] 韦振锋，任志远，张翀，等. 西北地区植被覆盖变化及其与降水和气温的相关性[J]. 水土保持通报，2014，34(3)：283-289.

[16] 焦珂伟，高江波，吴绍洪，等. 植被活动对气候变化的响应过程研究进展[J]. 生态学报，2018，38(6)：2229-2238.

[17] 马启民，贾晓鹏，王海兵，等. 气候和人为因素对植被变化影响的评价方法综述[J]. 中国沙漠，2019，39(6)：48-55.

[18] Mueller T, Dressler G, Tucker C, et al. Human land-use practices lead to global long-term increases in photosynthetic capacity [J]. Remote Sensing, 2014, 6(6): 5717-5731.

[19] Liu Ya, Li Yan, Li Shuangcheng, et al. Spatial and temporal patterns of global NDVI trends: Correlations with climate and human factors [J]. Remote Sensing, 2015, 7(10): 13233-13250.

[20] 李建平，张柏，张树清. 吉林省西部草地的时空变化及其驱动因素分析[J]. 自然资源学报，2005，20(6)：830-835.

[21] Chen Baoxiong, Zhang Xianzhou, Tao Jian, et al. The impact of climate change and anthropogenic activities on alpine grassland over the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2014, 189/190: 11-18.

[22] Xu Haojie, Wang Xinping, Zhang Xiaoxiao. Alpine grasslands response to climatic factors and anthropogenic activities on the Tibetan Plateau from 2000 to 2012 [J]. Ecological Engineering, 2016, 92: 251-259.

[23] Mu Shaojie, Zhou Shuangxi, Chen Yizhao, et al. Assessing the impact of restoration-induced land conversion and management alternatives on net primary productivity in Inner Mongolian grassland, China [J]. Global and Planetary Change, 2013, 108: 29-41.

[24] Wang Jinfeng, Li Xinhu, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(1): 107-127.

[25] Wang Jinfeng, Hu Yi. Environmental health risk detection with GeogDetector [J]. Environmental Modelling & Software, 2012, 33(7): 114-115.

(下转第169页)

生态学杂志,2005,24(8):948-952.
[4] 于顺利,陈宏伟,郎南军.土壤种子库的分类系统和种子在土壤中的持久性[J].生态学报,2007,27(5):2099-2108.
[5] Matus G, Papp M, Tothmeresz B. Impact of management on vegetation dynamics and seed bank formation of inland dune grassland in Hungary [J]. Flora, 2005,200(3):296-306.
[6] Gardmark A,Enberg K,Ripa J,et al. The ecology of recovery [J]. Annales Zoologici Fennici, 2003,40(2):131-144.
[7] Tekle K,Bekele T. The role of soil seed banks in the rehabilitation of degraded hillslopes in Southern Wello, Ethiopia [J]. Biotropica, 2000,32(1):23-32.
[8] 曾彦军,王彦荣,南志标,等.阿拉善干旱荒漠区不同植被类型土壤种子库研究[J].应用生态学报,2003,14(9):1457-1463.
[9] 赵丽娅,李锋瑞,张华,等.科尔沁沙地围封沙质草甸土壤种子库特征的研究[J].生态学杂志,2004,23(2):45-49.
[10] 沈有信,刘文耀,崔建武.滇中喀斯特森林土壤种子库的种-面积关系[J].植物生态学报,2007,31(1):50-55.
[11] 沈有信,刘文耀,张彦东.东川干热退化山地不同植被恢复方式对物种组成与土壤种子库的影响[J].生态学报,2003,23(7):1454-1460.
[12] 任珺,陶玲,刘新民.水分供应对沙漠植被土壤种子库中种子萌发的影响[J].植物学报(英文版),2002,44(1):124-126.
[13] 赵丽娅,李兆华,李锋瑞,等.科尔沁沙地植被恢复演替进程中群落土壤种子库研究[J].生态学报,2005,25(12):3204-3211.
[14] 赵文智,白四明.科尔沁沙地围封草地种子库特征[J].中国沙漠,2001,21(2):204-208.
[15] 韩有志,王政权.两个林分水曲柳土壤种子库空间格局的定量比较[J].应用生态学报,2003,14(4):487-492.
[16] Butler B J, Chazdon R L. Species richness, spatial variation, and abundance of the soil seed bank of a secondary tropical rain Forest1 [J]. Biotropica, 1998,30(2):214-222.
[17] 张慕华,陈学林,崔治家,等.甘肃金塔野生植物资源调查[J].安徽农业科学,2010,38(28):15812-15813,15817
[18] 马全林,卢琦,魏林源,等.干旱荒漠白刺灌丛植被演替过程土壤种子库变化特征[J].生态学报,2015,35(7):2285-2294.
[19] 鲁延芳,马力,占玉芳,等.河西走廊中部沙漠人工植被中土壤种子库特征[J].草业科学,2019,36(9):2334-2341.
[20] 占玉芳,马力,甄伟玲,等.河西走廊中部沙漠人工梭梭林土壤种子库特征[J].林业科技通讯,2019(9):54-58.
[21] 彭军,李旭光,董鸣,等.重庆四面山亚热带常绿阔叶林种子库研究[J].植物生态学报,2000,24(2):209-214.
[22] 杨小波,陈明智,吴庆书.热带地区不同土地利用系统土壤种子库的研究[J].土壤学报,1999,36(3):327-333.
[23] 王译梓,蒙朝阳,刘济明.不同林分下小蓬竹的群落土壤种子库[J].安徽农业科学,2008,36(7):2759-2761.

(上接第 161 页)

[26] 裴志林,杨勤科,王春梅,等.黄河上游植被覆盖度空间分布特征及其影响因素[J].干旱区研究,2019,36(3):546-555.
[27] 李媛媛,徐成东,肖革新,等.京津唐地区细菌性痢疾社会经济影响时空分析[J].地球信息科学学报,2016,18(12):1615-1623.
[28] 崔晓临,赵娟,白红英,等.基于 MODIS NDVI 的陕西省植被覆盖变化分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(5):87-93.
[29] 刘志红, Li Lingtao, Tim R,等.专用气候数据空间插值软件 ANUSPLIN 及其应用[J].气象,2008,34(2):92-100.
[30] 翟雅倩,张翀,周旗,等.秦巴山区植被覆盖与土壤湿度时空变化特征及其相互关系[J].地球信息科学,2018,20(7):967-977.
[31] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1):116-134.
[32] 毕硕本,计晗,陈昌春,等.地理探测器在史前聚落人地关系研究中的应用与分析[J].地理科学进展,2015,34(1):118-127.
[33] 高登义,邹捍,周立波,等.中国山地环境气象研究进展[J].大气科学,2003,27(4): 567-590.
[34] 刘学军,卢华兴,仁政,等.论 DEM 地形分析中的尺度问题[J].地理研究,2007,26(3):434-442.
[35] 房亮.基于 DEM 地形参数计算的尺度效应研究[D].西安:西北大学,2006.