

潘荟交, 彭文甫, 祝 聪, 等. 四川省汶川县植被覆盖度空间变化及其自然驱动力[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(24): 239-243.  
doi: 10.15889/j.issn.1002-1302.2020.24.045

# 四川省汶川县植被覆盖度空间变化及其自然驱动力

潘荟交<sup>1</sup>, 彭文甫<sup>2</sup>, 祝 聪<sup>2</sup>, 王凤毛<sup>1</sup>

(1. 电子科技大学成都学院, 四川成都 611731; 2. 四川师范大学地理与资源科学学院, 四川成都 610068)

**摘要:** 植被覆盖度适用于描述生态系统, 对区域生态系统变化起着重要指示作用。以四川省汶川县 2002 年、2008 年、2017 年的中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 的归一化植被指数 (NDVI) 数据为基础, 通过计算植被覆盖度 (FVC)、植被覆盖变化趋势和变异系数, 分析四川省汶川县植被覆盖度的空间格局及其稳定性, 并利用地理探测器模型讨论影响其变化的自然因素。结果表明, (1) 汶川县植被覆盖总体状况良好, 植被覆盖度 > 0.8 的面积接近汶川县总面积的 66.2%, 主要分布在汶川县东南部三江镇、水磨镇, 北部的龙溪乡, 岷江支流烧汤河、正河两侧山坡, 海拔高度为 2 000 ~ 4 000 m; (2) 植被覆盖的平均变异系数为 19.76%, 不显著变化区域的面积占总面积的 62.35%, 整体相对稳定; (3) 根据地理探测器模型可知影响汶川县植被覆盖度空间分布的主要因子是地貌类型、土壤类型、高程、气温等, 其解释力度都在 60% 以上; 植被类型和降水量是次要因素, 而坡向和坡度对植被覆盖度空间分布的影响较小, 解释力度不足 3%。汶川县植被覆盖度变化空间差异明显, 因地制宜的生态保护策略初见成效, 但还须进一步跟进。

**关键词:** 汶川县; 植被覆盖度; 空间格局; 自然驱动力; 地理探测器; 植被指数

**中图分类号:** Q948    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1002-1302(2020)24-0239-05

植被覆盖度是指植被 (包括叶、茎、枝) 在地面的垂直投影面积占统计总面积的百分比<sup>[1]</sup>。植被覆盖度是描述生态系统的重要基础数据, 对区域生态系统变化有重要的指示作用<sup>[2]</sup>。人类活动及自然灾害都会影响植被覆盖度发生相应的变化, 通过对植被覆盖度的估算, 可以对生态环境进行有效监控。传统的估算方法存在效率低、范围小等缺点, 而遥感数据宏观、快捷、信息量丰富, 可以定量反映植被生长状况、植被覆盖度等信息<sup>[3]</sup>, 基于遥感影像的植被覆盖度估算能进行多尺度、大范围、连续长

时间的植被覆盖度估算<sup>[4]</sup>。我国学者对三江源、黄河流域、黄土高原、内蒙古草原、北方荒漠等生态脆弱地区都进行了植被覆盖时空变化研究<sup>[5-7]</sup>, 为区域生态环境改善、未来生态环境建设提供了科学决策支持。

四川省汶川县位于成都平原与川西高原的咽喉之地, 是岷江上游典型的生态脆弱区, 地质灾害频繁。“5·12”汶川大地震之后该地区成为了国内外学者研究的重点地区。赵旦等利用遥感检测地震后农田和森林植被的恢复情况<sup>[8]</sup>; 彭文甫等对岷江流域汶川-都江堰段植被覆盖进行了动态监测<sup>[9]</sup>; 花利忠等利用遥感技术进行了汶川大地震滑坡造成的生态服务价值损失评估<sup>[10]</sup>。但少有专家对汶川县较长时间的植被覆盖空间变化格局进行深入探讨。本研究将采用人机交互式遥感图像解译方法, 获取较准确的汶川县植被覆盖数据, 采用像元二分模型估算汶川县植被覆盖度, 探讨汶川县植被覆

收稿日期: 2020-03-31

基金项目: 教育部人文社科规划基金 (编号: 17YJA850007)

作者简介: 潘荟交 (1989—), 女, 四川绵阳人, 硕士, 讲师, 主要从事资源环境管理研究。E-mail: panhuijiao@126.com。

通信作者: 彭文甫, 博士, 副教授, 主要从事国土资源遥感研究。E-mail: pwf@126.com。

[8] Eurocode 1: actions on structures part 1-4: general actions - wind actions; BS EN 1991-1-4: 2005 [S]. CEN, 2005: 18-54.

[9] 黄韬颖, 杨庆山. 中美澳风荷载规范重要参数的比较 [J]. 工程建设与设计, 2007, 55(1): 23-27.

[10] 夏瑞光, 范存新. 中欧澳风荷载规范的对比研究 [J]. 苏州科技学院学报 (工程技术版), 2012, 25(3): 13-18.

[11] 薛颖亮, 李云贵. 中欧风荷载规范的对比研究 [J]. 土木工程信息技术, 2010, 2(1): 78-81.

[12] Eurocode 1: actions on structures part 1-3: general actions - snow actions; BS EN 1991-1-3: 2005 [S]. CEN, 2005: 14-55.

[13] 建筑结构可靠性设计统一标准: GB 50068—2018 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018: 11-16.

[14] Eurocode - basic of structural design; EN 1990: 2002 [S]. CEN, 2002: 26-29.

[15] 史志华, 贡金鑫, 李云贵, 等. 中美欧房屋建筑钢筋混凝土基本构建涉及安全度比较 [J]. 建筑结构, 2012, 42(10): 87-97.

盖的空间分异规律。并通过地理探测器模型对植被覆盖度的变化及驱动力进行深入探讨,以期为该地区生态环境进行有针对性的保护提供依据。

## 1 研究区概况

汶川县位于四川省西北部,处于成都平原与川西高原交接地带,地形结构复杂,自然资源丰富,地质灾害频发,水土流失严重,是典型的生态脆弱区。总面积为4 084 km<sup>2</sup>,下辖9个镇、3个乡。境内地势由北向东南倾斜,西部多分布海拔3 000 m以上的高山,四姑娘山海拔为6 250 m,东南部漩口镇的岷江出口处海拔仅780 m<sup>[10]</sup>。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

植被指数(NDVI)数据来自美国航空航天局(NASA)官方网站(ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov)。本研究选取2002—2017年5—10月间质量相对较好的数据。通过中分辨率成像光谱仪(MODIS)重投影工具将投影转换为通用横轴墨卡托投影(UTM),地理坐标系设置为WGS\_84。采用最小二乘法进行滤波处理重建数据,最后通过最大合成法减少云、太阳高度角等的影响,提高数据质量<sup>[11]</sup>。

四川省汶川县30 m分辨率数字高程模型(DEM)数据是从地理空间数据云网站(<http://www.gscloud.cn>)下载,经拼接、转换裁剪后得到。汶川县气象资料来自中国科学院资源环境科学数据中心;植被类型、地貌类型、土壤类型数据来自中国科学院资源环境科学与数据中心,利用ArcGIS 10.2进行克里金(Kriging)插值处理,得到同期分辨率一致的栅格数据。

### 2.2 研究方法

2.2.1 植被覆盖度计算 基于遥感影像的植被覆盖度估算方法有回归模型法、植被指数法、像元分解模型法等<sup>[12]</sup>。有研究选择模型简单的像元二分模型法,该模型受影像辐射校正较小。其原理是假设一个混合像元的信息( $S$ )是由裸土( $S_{soil}$ )与绿色植被( $S_{veg}$ )2个部分所贡献<sup>[13]</sup>。

假设像元中有植被覆盖的区域面积比例即为该像元的植被覆盖度(FVC),则裸土覆盖区面积比例为 $(1 - FVC)$ <sup>[8-9]</sup>,求解FVC得:

$$FVC = \frac{S - S_{soil}}{S_{veg} - S_{soil}} \quad (1)$$

由于NDVI与植被覆盖度之间呈极显著的线性相关,所以将二者进行转换可以直接提取植被覆盖度信息<sup>[14]</sup>,其计算公式为

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (2)$$

其中: $NDVI_{soil}$ 为纯土壤像元的最小值,理论上接近于0; $NDVI_{veg}$ 为纯植被像元的最大值,理论上接近于1<sup>[15]</sup>,但实际上由于大气条件、地表湿度以及太阳光照等原因,上述这2个值并不是定值。两者的取值是像元二分模式应用的关键,目前不同研究的取值方法有很大差异<sup>[2]</sup>。本研究根据影像质量集合实地考察,采用累计频率2%为置信度,进行植被覆盖度的估算。

2.2.2 植被覆盖度变化趋势分析 为研究2002—2017年植被覆盖度逐像元变化趋势,利用一元线性回归模型,将植被覆盖度与时间序列做回归分析<sup>[16]</sup>,计算公式如下:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n i \times F_i - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n i \right) \times \left( \sum_{i=1}^n F_i \right)}{\sum_{i=1}^n i^2 - \frac{1}{n} \times \left( \sum_{i=1}^n i \right)^2} \quad (3)$$

式中: $K$ 为变化趋势的斜率, $K > 0$ 表示监测时段内植被覆盖度增加, $K < 0$ 表示监测时段内植被覆盖度减少; $n$ 为监测年数; $F_i$ 代表第*i*年的植被覆盖度<sup>[17]</sup>。以0.01、0.05为中间值,将汶川植被覆盖度逐像元变化趋势定义为极显著退化、显著退化、不显著退化、不显著改善、显著改善、极显著改善等<sup>[18]</sup>。

2.2.3 变异系数 为研究植被覆盖度在2002—2017年间相对变化程度,通过计算基于像元的植被覆盖度变异系数来描述汶川植被覆盖度的稳定性<sup>[19]</sup>,其计算公式如下:

$$CV = \frac{1}{\bar{F}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}{n - 1}} \times 100\% \quad (4)$$

式中: $CV$ 为变异系数; $n$ 为监测年数; $\bar{F}$ 为研究时段平均植被覆盖度; $F_i$ 为第*i*年的植被覆盖度。

2.2.4 地理探测器模型 地理探测器是探测和利用空间分异性,以及揭示其背后驱动力的一组统计学方法;该模型由王劲峰团队提出,目前在自然科学、社会科学、环境科学和人类健康等相关领域都有应用<sup>[20]</sup>。本研究运用地理探测器模型来探测影响植被覆盖度空间变化的影响因子,其模型如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (5)$$

式中:  $q$  表示某因子解释了  $q \times 100\%$  的汶川县植被覆盖度的变化;  $h = 1, \dots, L$  为影响因子的分层数;  $N_h$  和  $N$  分别为影响因子的层  $h$  和整个汶川县的样本数;  $\sigma_h$  和  $\sigma$  分别为层  $h$  和整个汶川县的植被覆盖度变化的方差。  $q$  的值域为  $[0, 1]$ ,  $q$  越大表明该因子对汶川植被覆盖度变化的解释力越强<sup>[21]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 植被覆盖度空间结构特征

从图 1 可以看出, 汶川县植被覆盖度整体较高,

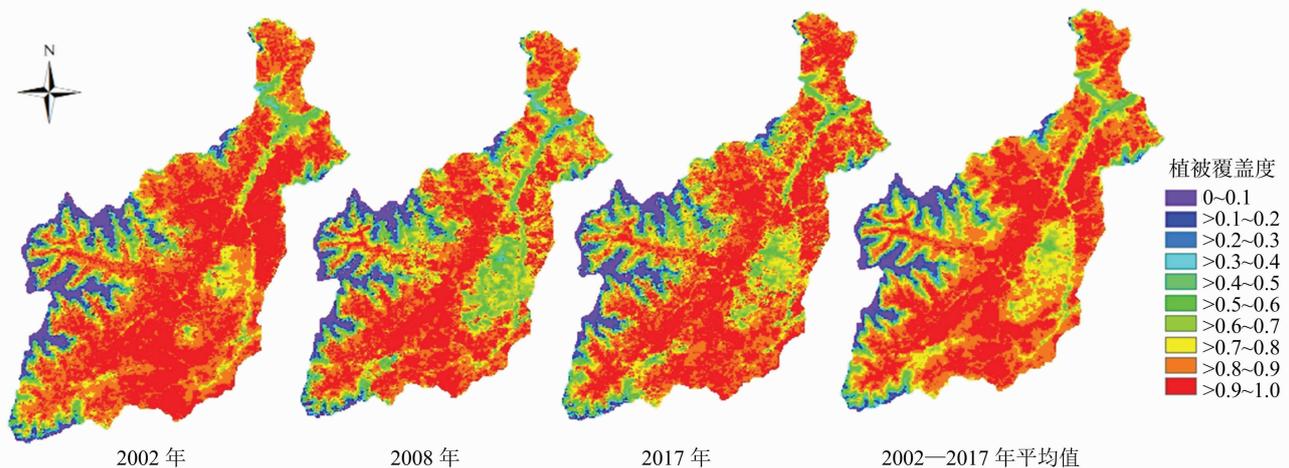


图1 汶川县 2002、2008 年、2017 年、2002—2017 年平均植被覆盖度空间分布

在遥感 (RS) 技术与地理信息系统 (GIS) 技术支持下, 分别将重分类结果与汶川多年平均植被覆盖度图层进行叠加, 统计出不同高程分级下不同等级植被覆盖度面积<sup>[22]</sup>。

由表 1 可知, 植被覆盖度为 0~0.4 的无植被或者少植被地区主要是集中在 4 000 m 以上的高海拔地区, 植被覆盖度为 >0.4~0.6 的主要分布在海拔为 1 000~2 000、4 000~5 000 m 的地区; 植被覆盖

度大于 0.8 的高植被覆盖区占汶川县总面积的 66.2%, 主要分布在汶川县东南部的三江镇、水磨镇, 北部的龙溪乡, 岷江支流烧汤河、正河两侧高海拔山坡; 植被覆盖度为 >0.7~0.8 的区域占总面积的 13.3% 主要分布在映秀镇、银杏乡中低山地区和西部中高山地区; 植被覆盖度为 >0.4~0.7 的区域占总面积的 11.4%, 主要分布在西南部山区和威州镇、克枯乡, 岷江与其支流杂谷脑河两侧; 植被覆盖度 >0.1~0.4 的区域占总面积的 4.94%, 主要位于汶川县西部高山植被与冰川间的过渡带; 植被覆盖度 ≤0.1 的区域占总面积的 4.1%, 主要位于汶川县西部耿达镇、卧龙镇高原雪山。

度为 >0.6~0.8 的则在 5 000 m 以下各高程都有分布; 植被覆盖度 >0.8 的高植被覆盖区域主要分布在海拔为 2 000~4 000 m 的地区。汶川县海拔在 2 000~4 000 m 的地区植被生长状况最好, 以林地和高山草甸为主, 海拔在 1 000~2 000 m 的地区植被生长状况因受到人类活动的影响, 其生长状况次之, 其中海拔为 5 000 m 以上的高海拔地区终年冰雪覆盖, 植被生长受限制, 植被覆盖度不高。

表 1 不同高程分级下的植被覆盖度分布情况

高程 (m)	不同高程下各级植被覆盖度的面积 (km <sup>2</sup> )									
	0~0.1	>0.1~0.2	>0.2~0.3	>0.3~0.4	>0.4~0.5	>0.5~0.6	>0.6~0.7	>0.7~0.8	>0.8~0.9	>0.9~1.0
<1 000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	3.32	10.35	12.92	6.21	0.00
1 000~2 000	0.00	0.19	0.75	4.08	12.98	22.27	43.15	113.08	281.86	233.94
2 000~3 000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	2.95	26.91	92.70	500.00	728.36
3 000~4 000	0.00	0.00	0.06	1.13	7.65	21.01	70.87	232.50	598.90	340.94
4 000~5 000	129.89	61.15	61.59	63.97	70.12	76.71	99.54	93.95	28.29	0.44
>5 000	35.25	4.95	1.69	0.19	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

### 3.2 植被覆盖度空间变化格局及稳定性

结合图2-a 经统计可知,研究时段内汶川县植被覆盖度不显著变化区域面积为 2 555.44 km<sup>2</sup>,占汶川县总面积的 62.35%;极显著改善区面积为 143.13 km<sup>2</sup>,占汶川县总面积的 3.49%,主要集中在汶川县东北角威州镇、克枯乡等地区,其中岷江上游干流杂谷脑河段植被覆盖度的变化最为显著;显著改善区面积为 562.38 km<sup>2</sup>,占汶川县总面积的 13.72%;极显著退化区面积为 196.81 km<sup>2</sup>,占汶川县总面积的 4.80%,主要集中在映秀镇、漩口镇、银杏乡等岷江流域;显著退化区面积为 640.75 km<sup>2</sup>,占汶川县总面积的 15.63%;汶川县显著和极显著变化的面积占总面积的 37.65%,其中植被覆盖度改善的面积略小于退化的面积,汶川县植被覆盖度

整体是呈现退化趋势的。

结合图2-b 经过统计可知,平均变异系数为 19.76%。变异系数 ≤ 15% 的区域面积为 3 216 km<sup>2</sup>,占汶川县总面积的 78.47%,主要分布在汶川中部、东南角、北部的部分地区,该区域植被覆盖度稳定;变异系数为 >15% ~ 40% 的区域面积为 579.38 km<sup>2</sup>,占汶川县总面积的 14.14%,主要分布在位于岷江流域的漩口镇、映秀镇等地及岷江支流烧汤河、正河、杂谷脑河两侧海拔较高的高山边缘地带,该区域的植被覆盖度不稳定;变异系数 >40% 的区域面积为 303.13 km<sup>2</sup>,接近汶川县总面积的 7.39%,主要分布在海拔 5 000 km 以上的极低植被区,该地区的植被覆盖度极不稳定。

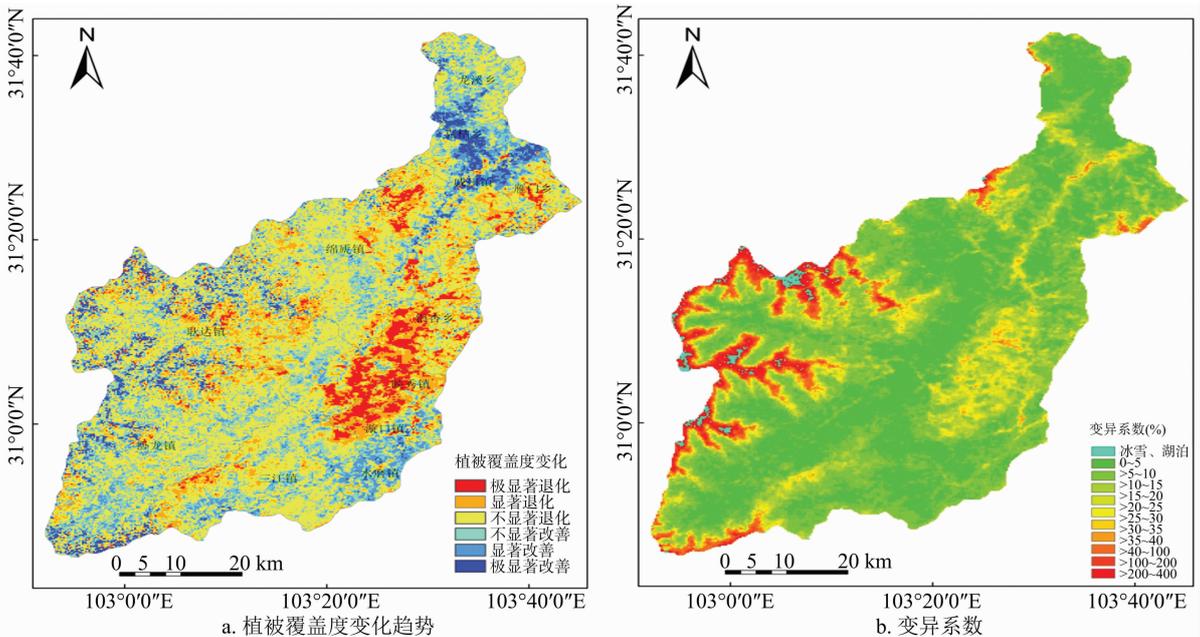


图2 2002—2017年汶川县逐像元植被覆盖度变化趋势(a)与变异系数(b)空间分布

### 3.3 植被覆盖度空间变化自然驱动力分析

利用地理探测器模型探测影响植被覆盖空间变化的自然影响因子,自然因子选取地貌类型、坡向、多年平均降水量、土壤类型、坡度、高程、植被类型、多年平均气温等,定量分析影响力的大小。如表2所示,按照 $q$ 排序表现为地貌类型(67.21%) > 土壤类型(66.93%) > 高程(65.11%) > 气温

(64.54%) > 植被类型(23.57%) > 降水量(21.13%) > 坡向(2.40%) > 坡度(1.39%)。地貌类型、土壤类型、高程、气温等4个自然因子是影响汶川县植被覆盖度空间分布的主要因素,其 $q$ 都大于60%;植被类型和降水量是次要因素,其 $q$ 分别为23.57%、21.13%;坡向和坡度对汶川县植被覆盖度空间分布的影响力较小,其解释力度均不足3%。

表2 植被覆盖度影响因子探测结果

项目	降水量	气温	地貌类型	土壤类型	植被类型	坡向	坡度	高程
$q(\%)$	21.13	64.54	67.21	66.93	23.57	2.40	1.39	65.11

## 4 结论与讨论

本研究以四川省汶川县为研究区,以2002年、2008年、2017年的MODIS NDVI数据为数据源,基于像元二分模型估算了汶川县植被覆盖度,通过计算植被覆盖度变化趋势和变异系数,探讨其空间分异规律及稳定性,最后基于地理探测器模型分析了影响汶川县植被覆盖空间分布的自然因素,得出以下主要结论。

(1) 汶川县拥有高质量森林、草甸,多年平均植被覆盖度在0.76以上,整体情况较好,>0.8的高植被覆盖度区的面积接近汶川县总面积的66.2%,主要分布在汶川县东南部三江镇、水磨镇,北部的龙溪乡,岷江支流烧汤河、正河两侧高海拔山坡,海拔高度为2 000~4 000 m;植被覆盖度为>0.7~0.8的主要分布在映秀镇、银杏乡中低山地区和西部中高山地区;植被覆盖度为>0.4~0.7的区域主要分布在海拔为3 000~5 000 m的西南部的山区和威州镇、克枯乡,岷江与其支流杂谷脑河两侧;植被覆盖度为>0.1~0.4的区域主要位于汶川县西部高山植被与冰川间的过渡带;植被覆盖度 $\leq$ 0.1的区域主要位于汶川县西部耿达镇、卧龙镇海拔5 000 m以上的雪山。

研究时段汶川县植被覆盖度不显著变化区域的面积占汶川县总面积的62.35%。显著、极显著退化区域占汶川县总面积的20.43%主要集中在映秀镇、漩口镇、银杏乡等岷江流域;显著改善、极显著改善的区域占汶川县总面积的17.21%,主要在汶川县东北角威州镇、克枯乡等地区,岷江上游干流杂谷脑河段最为显著。改善的面积略小于退化的面积,汶川县植被覆盖情况有一定的退化。

(2) 汶川县植被覆盖度平均变异系数为19.76%,变异系数 $\leq$ 15%的稳定区域面积为3 216 km<sup>2</sup>,占汶川县总面积的78.47%,主要分布在汶川中部、东南角、北部的部分地区。变异系数较高的西部山区依然是关注的重点地区,耿达镇、卧龙镇、绵虬镇内部变异差异明显,是生态恢复建设的重点。

(3) 利用地理探测器模型进行因子探测,地貌类型、气温、土壤类型、高程等4个自然因子是影响汶川县植被覆盖度空间分布的最主要因素,其影响力为64%~68%,植被类型和降水量为次要因素,坡向和坡度的影响力较小。

## 参考文献:

- [1] 汪明冲,王兮之,梁钊雄,等. 喀斯特与非喀斯特区域植被覆盖变化景观分析——以广西壮族自治区河池市为例[J]. 生态学报, 2013, 34(12): 3435-3443.
- [2] 穆少杰,李建龙,陈奕兆,等. 2001—2010年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. 地理学报, 2012, 67(9): 105-118.
- [3] 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.
- [4] 孟令奎,李晓香,张文. 植被覆盖区VIIRS与MODIS遥感指数的相关性[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(3): 570-577.
- [5] 刘宪锋,任志远,林志慧,等. 2000—2011年三江源区植被覆盖度时空变化特征[J]. 地理学报, 2013, 68(7): 897-908.
- [6] 袁丽华,蒋卫国,申文明,等. 2000—2010年黄河流域植被覆盖度的时空变化[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7798-7806.
- [7] 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.
- [8] 赵旦,张森,于名召,等. 汶川地震灾后农田和森林植被恢复遥感监测[J]. 遥感学报, 2014, 18(4): 958-970.
- [9] 彭文甫,王广杰,周介铭,等. 基于多时相Landsat5/8影像的岷江汶川—都江堰段植被覆盖动态监测[J]. 生态学报, 2016, 36(7): 1975-1988.
- [10] 花利忠,崔胜辉,李新虎,等. 汶川大地震滑坡体遥感识别及生态服务价值损失评估[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 5909-5916.
- [11] 李海东,沈渭寿,蔡博峰,等. 雅鲁藏布江流域NDVI变化与风沙化土地演变的耦合关系[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7729-7738.
- [12] 木热提江·阿不拉,张晓萍,陈利利,等. 基于GIMMS NDVI的黄土高原地区荒漠化时空特征分析[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(3): 24-31.
- [13] 蔡朝朝,安沙舟,蒲智,等. 基于TM NDVI的库尔勒市域植被覆盖动态变化[J]. 草业科学, 2015, 32(7): 1069-1078.
- [14] 穆少杰,游永亮,朱超,等. 中国西北部草地植被降水利用效率的时空格局[J]. 生态学报, 2017, 35(5): 1458-1471.
- [15] 赵舒怡,宫兆宁,刘旭颖. 2001—2013年华北地区植被覆盖度与干旱条件的相关分析[J]. 地理学报, 2015, 70(5): 717-729.
- [16] 张立峰,闫浩文,杨树文,等. 黑河流域植被覆盖变化及其对地形的响应[J]. 遥感信息, 2018, 33(2): 46-52.
- [17] 赵伟,张义,赵婷,等. 近15年北方6省(区)草地覆盖度时空变化及其与气温、降水的关系[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(10): 266-271.
- [18] 马勇刚,黄粤,陈曦. 质变和量变两种维度下新疆山区土地覆盖变化分析[J]. 山地学报, 2018, 34(1): 34-42.
- [19] 朱林富,谢世友,杨华,等. 基于MODIS-EVI的重庆植被覆盖时空分异特征研究[J]. 生态学报, 2018, 38(19): 209-219.
- [20] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报, 2017(1): 116-134.
- [21] 祝聪,彭文甫,张丽芳,等. 2006—2016年岷江上游植被覆盖度时空变化及驱动力[J]. 生态学报, 2019, 39(5): 103-114.
- [22] 祝聪. 岷江上游土地利用/覆被变化及驱动力分析研究[D]. 成都:四川师范大学, 2019.