

吴霞,张永宏,王长军,等. 基于 MODIS 的宁夏植被覆盖时空变化特征分析[J]. 江苏农业科学,2021,49(2):204-208.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.02.036

基于 MODIS 的宁夏植被覆盖时空变化特征分析

吴霞,张永宏,王长军,樊丽琴,李磊

(宁夏农林科学院农业资源与环境研究所,宁夏银川 750002)

摘要:以 2000—2015 年宁夏回族自治区 NDVI 数据及高程数据为基础,采用趋势分析、变异系数、GIS 空间统计等方法,分析宁夏近年来植被覆盖时空分布及变化特征。结果表明,从年际变化情况看,近 16 年来宁夏植被覆盖整体呈缓慢增长趋势,NDVI 值增速为 0.008/10 年,其中固原市增速最高;从月际变化情况看,宁夏植被覆盖表现为冬春季低,夏秋季高,呈先增加后减少的趋势。近 16 年来宁夏全区年均 NDVI 值为 0.37,植被覆盖整体处于中低水平,中低覆盖地区面积占比达到 70.39%;从地域分布来看,表现为南北植被覆盖高,中部地区植被覆盖低;高程方面,植被覆盖随着高程增加呈现“降低—升高—降低”的变化趋势,其中 2 400 ~ <2 700 m 海拔范围内植被覆盖最高。近年来宁夏植被覆盖整体维持稳定且有所改善,植被覆盖呈改善趋势的区域占比为 50.17%,其中南部黄土高原地区植被覆盖改善最明显,城镇地区植被退化较严重。宁夏植被覆盖变异系数介于 0.002 ~ 0.651,整体呈现中高波动态势,中高波动区域占比达到 57.88%。

关键词:MODIS;NDVI;宁夏;植被覆盖;时空变化特征

中图分类号:S127 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)02-0204-05

植被指地球表面某一地区所覆盖的植物群落,它与气候、土壤、地形及水资源等自然环境要素密切相关,是生态系统的重要组成部分^[1-2]。植被作为研究全球气候变化的“指示器”,在全球能量交换、生物地球化学和水文循环方面起着重要的作用,能直接反映生态环境的总体状况,因此通过监测植被覆盖状况来掌握生态环境变化特征具有重要的科学意义和现实价值^[3-5]。归一化植被指数(normal difference vegetation index, NDVI)别称标准化植被指数,在使用遥感图像进行植被研究以及植物物候研究中得到广泛应用,它是植物生长状态以及植被空间分布密度的最佳指示因子,与植被分布密度呈线性相关^[6-7]。随着遥感技术的发展,越来越多国内外学者采用 NDVI 数据对植被覆盖变化进行科学研究,从而探明研究区植被覆盖的空间分布特征及其随时间延长的演变规律,以及地形、气候、人类活动等因素对植被覆盖的影响^[8-11]。宁夏生

态本底相对脆弱,属于典型的生态脆弱区,多年来受干旱和水资源短缺的困扰,植被覆盖度低,水土流失和土地荒漠化现象严重。因此,研究该区地表植被覆盖时空变化,对当地的生态建设与环境保护具有很好的指示意义。目前,已有学者对宁夏植被覆盖变化情况进行分析^[12-13],范锦龙等使用 PATHFINDER 8 km NDVI 数据进行研究,发现宁夏全区植被具有明显的 1 年 1 季的季节特征^[14];裴志方等基于 MODIS(中分辨率成像光谱仪)NDVI 数据进行研究,发现宁夏植被覆盖整体向良好方向发展^[15]。但是目前有关宁夏植被覆盖稳定性方面的研究尚未见相关报道,因此本研究采用 2000—2015 年宁夏 NDVI 数据,在分析宁夏植被覆盖时空演变规律的基础上,对植被覆盖稳定性进行量化分析,为进一步分析宁夏植被动态变化机制、预测其变化趋势提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

宁夏回族自治区位于我国西北部,黄河中上游地区,疆域轮廓南北长、东西短,呈“十”字形,南北相距约 456 km,东西相距约 250 km,总面积为 6.64 万 km²^[16]。其地势南高北低,西部高差较大,东部起伏较缓,从西面、北面至东面,由腾格里沙漠、乌兰布和沙漠和毛乌素沙地相围,南面与黄土

收稿日期:2020-02-06

基金项目:宁夏回族自治区自然科学基金(编号:2019AAC03290);宁夏青年科技人才托举项目(编号:TJGC2018055);宁夏农林科学院科技创新全产业链项目(编号:NKYZ-16-0907)。

作者简介:吴霞(1984—),女,宁夏吴忠人,硕士,助理研究员,主要从事土地资源研究。E-mail:wuxia-xia@163.com。

通信作者:张永宏,研究员,主要从事作物栽培与耕作研究。E-mail:zyh8401@163.com。

高原相连^[17]。宁夏属典型的大陆性气候,为温带半干旱区和半湿润地区,年均气温 5~9℃,年降水量 180~680 mm,均由南向北递减,降水多集中于 6—9 月,且年际变化率大。全区平均年水面蒸发量 1 250 mm,变幅在 800~1 600 mm,年均径流量为 9.493 亿 m³,年均径流深 18.3 mm,人均水量均远低于全国和黄河流域平均值,干旱威胁严重^[18-19]。受水热条件尤其是水分因素的制约,宁夏植被自南向北呈现森林草原—干草原—荒漠草原—草原化荒漠的水平分布规律,其中以草原和荒漠草原为主。2000 年以来,宁夏依托三北防护林、天然林保护、退耕还林等国家重大林业工程,组织实施了封山禁牧、防沙治沙、湿地保护、生态修复等重点工程,植被覆盖率不断提升,山川面貌不断美化优化,生态环境得到了恢复和进一步提升^[20-21]。

1.2 数据来源

本研究所需 NDVI 数据及数字高程模型 (DEM) 数据均来源于中国科学院资源环境数据云平台,NDVI 数据集是基于连续时间序列的 SPOT/VEGETATION NDVI 卫星遥感数据,采用最大值合成法生成年度及月度最大 NDVI 数据,该数据集的空间分辨率为 1 km,时间分辨率为 10 d;DEM 数据是基于最新的 SRTM V4.1 数据经整理拼接生成,空间分辨率为 90 m。本研究选取经裁剪得到的 2000—2015 年宁夏 NDVI 年度和月度数据以及 DEM 数据,对宁夏植被覆盖时空变化特征进行分析。

1.3 研究方法

1.3.1 趋势分析法 一元线性回归分析可以模拟出影像中每个栅格的变化趋势,综合反映研究区域 NDVI 时空格局演变特征^[22]。本研究对 2000—2015 年宁夏 NDVI 数据在像元尺度上进行一元线性回归分析,计算 NDVI 的变化趋势,具体计算过程如下。

$$slope = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times NDVI_i - (\sum_{i=1}^n i) \times (\sum_{i=1}^n NDVI_i)}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中: $slope$ 表示像元 NDVI 回归方程斜率; n 表示研究期总年数,本研究中 $n = 16$ 年; i 表示年序号; $NDVI_i$ 表示第 i 年 NDVI 的最大值。若 $slope > 0$,表示 NDVI 随时间变化呈增长趋势, $slope$ 值越大,表明增长越快;若 $slope < 0$,则表示 NDVI 随时间延长呈

下降趋势, $slope$ 绝对值越大表明下降越明显^[23]。

1.3.2 变异系数法 变异系数 (CV) 别称标准差率,是衡量资料中各观测值变异程度的一个统计量,本研究通过变异系数 (CV) 反映 NDVI 随时间序列变化的波动情况,其计算过程如下。

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{12}{n} \sum_{i=1}^n (NDVI_i - \overline{NDVI})^2}}{\overline{NDVI}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: n 表示研究期总年数,本研究中 $n = 16$ 年; i 表示年序号; $NDVI_i$ 表示第 i 年 NDVI 的最大值; \overline{NDVI} 表示研究区内 16 年的 NDVI 平均值。 CV 值越大,表明 NDVI 年际变化越大,时序波动较大;反之,则表明 NDVI 年际变化不大,时序较稳定^[24-25]。

2 结果与分析

2.1 宁夏植被覆盖时间变化特征

2.1.1 NDVI 年际变化特征 由图 1 可知,2000—2015 年宁夏植被覆盖呈缓慢增长趋势,NDVI 值增速仅为 0.008/10 年,最大值出现在 2013 年,为 0.47;最小值出现在 2000 年,为 0.29。各地区植被覆盖均呈增长趋势,固原市植被覆盖增长最明显,NDVI 值从 2000 年的 0.41 增加到 2015 年的 0.58,增长率为 41.46%;中卫市植被覆盖增长最缓慢,16 年间 NDVI 值仅增长 21.74%;银川市和石嘴山市植被覆盖均呈增长趋势,增速基本与全区水平持平。

2.1.2 NDVI 月际变化特征 由图 2 可知,1 年内宁夏植被覆盖呈先增加再减少的趋势,这与干旱半干旱地区气候特征和降水量月际分布密切相关。宁夏 1—12 月 NDVI 值介于 0.11~0.37,1—4 月属于冬春季节,干旱少雨,且耕地处于冬闲状态,NDVI 值较低且增长缓慢,最大值仅为 4 月的 0.138;5—9 月是宁夏的多雨季节,植被生长迅速,NDVI 值快速增长,至 7 月达到最大,为 0.374;10—12 月 NDVI 快速下降,下降率达到 48.28%。

2.2 宁夏植被覆盖空间分布特征

2.2.1 NDVI 空间分布特征 利用 ArcGIS 的像元统计工具计算得到宁夏 2000—2015 年平均年度 NDVI 空间分布图 (图 3),并根据宁夏实际情况将植被覆盖划分为极低覆盖度 ($NDVI < 0.15$)、低覆盖度 ($0.15 \leq NDVI < 0.30$)、中低覆盖度 ($0.30 \leq NDVI < 0.45$)、中覆盖度 ($0.45 \leq NDVI < 0.60$)、高覆盖度 ($NDVI \geq 0.60$) 5 类。由图 3 可知,宁夏平均年度 NDVI 值介于 0.10~0.86,全区平均年度 NDVI 值为

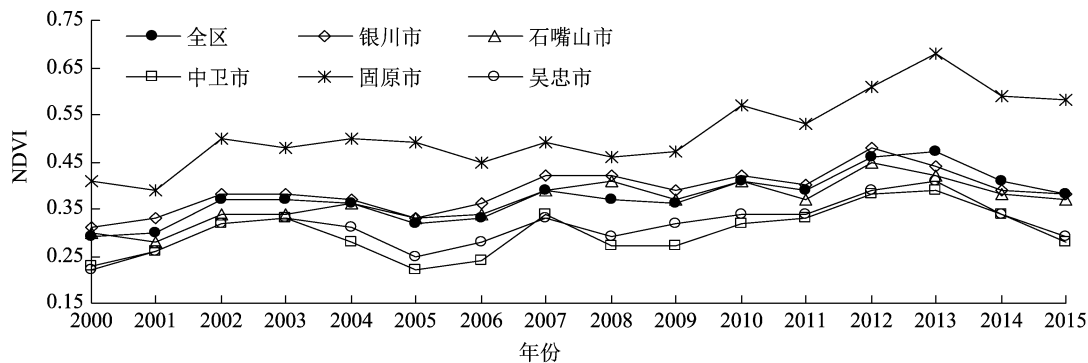


图1 宁夏NDVI 年际变化曲线

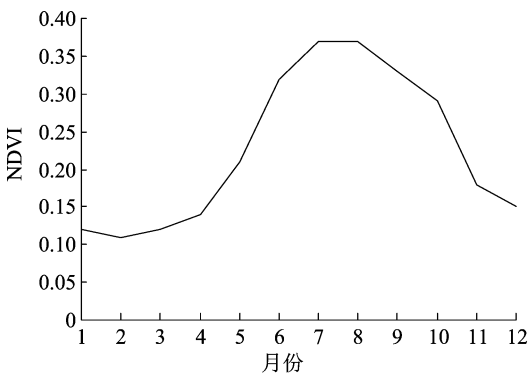


图2 宁夏月际 NDVI 变化曲线

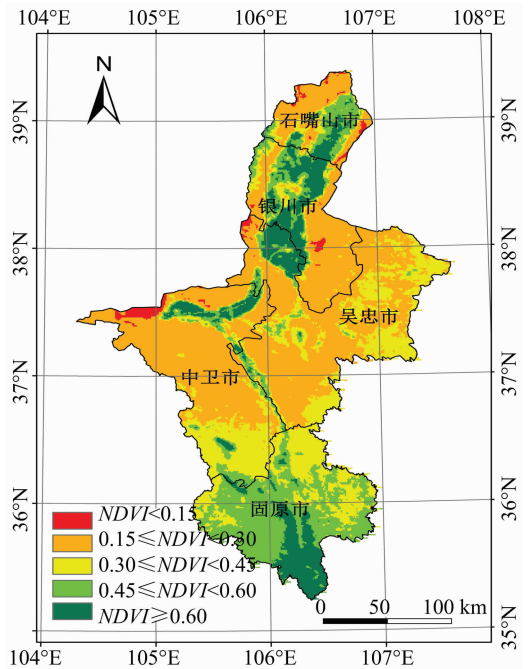


图3 2000—2015 年宁夏平均年度 NDVI 分布

市同心县、盐池县等;中低覆盖度和中覆盖度的区域面积分别为 12 711、9 695 km², 合计占比为 43.11%, 主要分布在位于黄土高原北部的固原地区;高覆盖度的区域面积为 5 694 km², 占 10.96%, 分布于固原市六盘山森林地区以及沿黄河灌溉地带。

表 1 宁夏各地区植被覆盖情况统计

地区	面积(km ²)				
	极低覆盖度	低覆盖度	中低覆盖度	中覆盖度	高覆盖度
银川市	89	3 784	899	1 170	1 557
石嘴山市	169	1 896	569	1 010	511
吴忠市	78	9 474	4 819	724	882
固原市	6	23	3 292	5 846	2 027
中卫市	351	7 999	3 132	945	717
合计	693	23 176	12 711	9 695	5 694

2.2.2 不同高程 NDVI 变化特征 宁夏海拔高度介于 1 086 ~ 345 7 m, 按照 300 m 等间距划分为 8 个区间。由图 4 可知, 随着海拔高度的增加, 宁夏 NDVI 值呈现“降低—升高—降低”的变化态势, NDVI 低值区出现在海拔 1 200 ~ <1 800 m 之间, 主要分布于宁夏中部地区, 该地区降水量稀少、蒸发量大且缺乏灌溉水源, 不利于植被生长; NDVI 高值区出现在海拔 2 400 ~ <3 000 m 之间, 分布于宁夏南部六盘山地区, 该区域降水量充沛且温度适宜, 植被生长旺盛。

2.3 宁夏植被覆盖时空格局演变

2.3.1 空间趋势特征 采用一元线性回归趋势分析法计算得到 2000—2015 年宁夏植被覆盖变化趋势, 参照 NDVI 变化类型将趋势线斜率(slope)划分为显著退化(slope < -0.01)、轻微退化(-0.01 ≤ slope < -0.005)、基本不变(-0.005 ≤ slope < 0.005)、轻微改善(0.005 ≤ slope < 0.01)和显著改善(slope ≥ 0.01)5 类, 并绘制 NDVI 变化趋势空间

0.37, 总体处于中低覆盖水平。由表 1 可知, 宁夏极低覆盖度的区域面积为 693 km², 占 1.33%, 主要集中分布于中卫市西北部腾格里沙漠边缘; 低覆盖度的区域面积为 23 176 km², 占 44.60%, 主要分布于宁夏中部干旱少雨地区, 包括中卫市海原县、吴忠

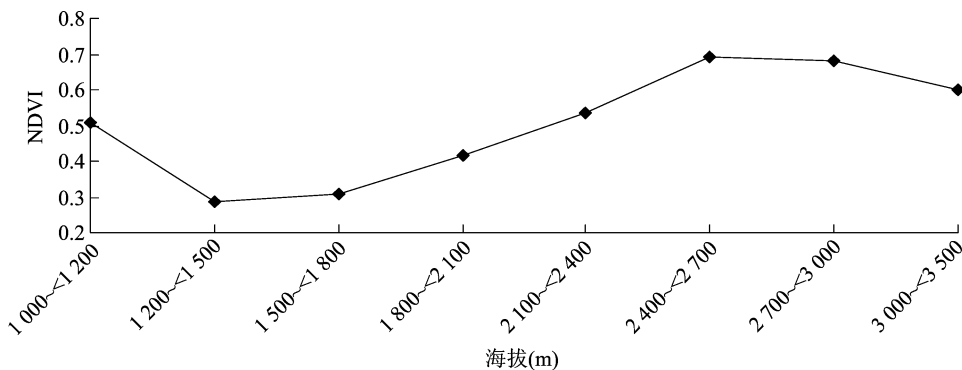


图4 宁夏年度 NDVI 随海拔高度变化

分布图(图5)。由表2可知,2000—2015年宁夏植被覆盖整体维持稳定且有所好转,植被状况呈现显著改善和轻微改善的面积分别为11 546、14 524 km²,合计占比为50.17%,主要分布于引黄灌溉地区和南部黄土高原地区;植被覆盖基本不变区域面积为24 739 km²,占比为47.60%,分布于中卫市、吴忠市等中部干旱少雨地区;植被覆盖呈退化趋势的区域面积合计为1 160 km²,占2.23%,呈点状集中分布于城镇地区,其中银川市周围植被退化最明显。

表2 2000—2015年宁夏植被变化趋势			
变化程度	面积 (km ²)	比例 (%)	升降合计 (%)
显著退化	515	0.99	2.23
轻微退化	645	1.24	
基本不变	24 739	47.60	47.60
轻微改善	14 524	27.95	50.17
显著改善	11 546	22.22	

异性较大。低波动和较低波动区域面积合计占比为42.12%,主要分布于黄河沿岸灌水便利地区以及南部山区降水相对充沛区域;中高波动区域主要分布于中部干旱带、荒漠地区以及北部贺兰山地区等,其中植被覆盖较高波动和高波动区域面积合计为10 721 km²,占比达到20.63%,与宁夏降水量年度波动情况密切相关。

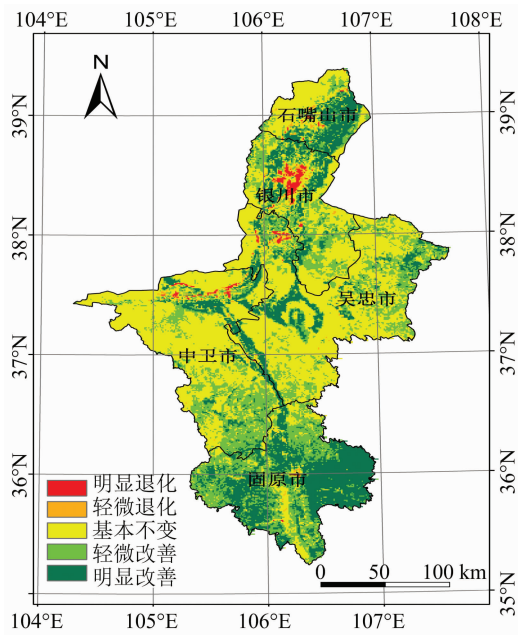


图5 2000—2015年宁夏NDVI变化趋势

2.3.2 空间波动特征 经计算得到2000—2015年宁夏NDVI变异系数(CV),参照自然间断法划分为低波动、较低波动、中等波动、较高波动和高波动5类,并绘制变异系数空间分布图(图6)。据统计,宁夏16年间植被覆盖变异系数介于0.002~0.651,整体呈现中等波动和高波动变化态势,区域波动差

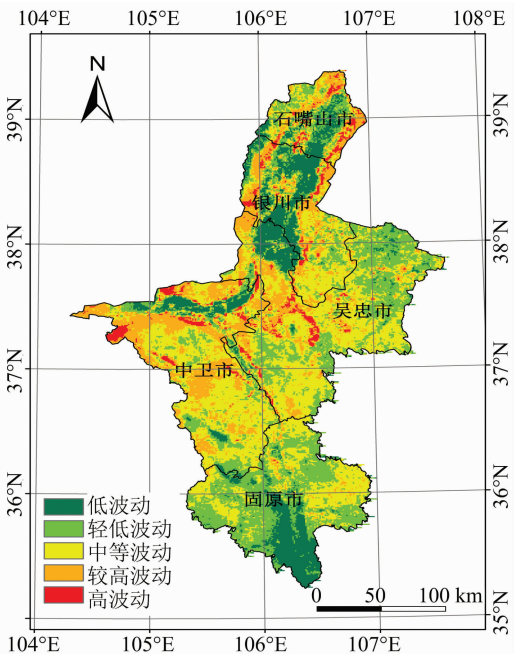


图6 2000—2015年宁夏NDVI波动程度分布

3 结论

2000—2015 年宁夏植被覆盖随时间变化特征、空间分布情况、发展趋势以及稳定性方面表现如下:第一,从年际变化来看,宁夏植被覆盖呈缓慢增长趋势,NDVI 值增速为 0.008/10 年,其中固原地区植被覆盖增长最快,增长率达到 41.46%;从月际变化来看,植被覆盖冬春季低,夏秋季高,NDVI 最低值出现在 2 月,为 0.11,最高值出现在 7 月,为 0.37。第二,近 16 年宁夏平均年度 NDVI 值为 0.37,整体处于中低覆盖水平,中低覆盖地区面积占比达到 70.39%,地域分布上呈现南北两头植被覆盖较高,中部地区植被覆盖偏低的态势;植被覆盖随着高程增加呈现“降低—升高—降低”的变化趋势,其中 2 400~2 700 m 海拔范围内是宁夏水热条件较好的地区,植被覆盖最高。第三,从植被覆盖发展趋势来看,2000—2015 年宁夏植被覆盖整体维持稳定且有所改善,50.17% 的地区植被覆盖呈现改善趋势,其中南部黄土高原地区植被覆盖改善最明显,城镇地区特别是银川市周围植被退化较严重。第四,植被覆盖稳定性方面,宁夏植被覆盖变异系数介于 0.002~0.651,整体呈现中高波动变化态势,中高波动区域占比达到 57.88%,区域差异表现为“南北波动小,中部波动大”。

本研究利用 NDVI 数据对宁夏 2000—2015 年植被覆盖时空变化情况进行具体分析,发现宁夏植被覆盖在空间分布和时间变化趋势方面均与宁夏地形地貌、气候特征、降水量分布以及人类活动等密切相关。本研究并未就温度、降水、经济以及人口等因素对植被覆盖的影响作深入探讨,在今后的研究中有必要综合考虑多因素对宁夏植被覆盖的影响,明确各因素对植被覆盖的影响因子,进一步预测植被覆盖的发展趋势。

参考文献:

- [1] 贾艳红,赵传燕,南忠仁. 西北干旱区黑河下游植被覆盖变化研究综述[J]. 地理科学进展,2007,26(4):64-74.
- [2] 张春森,胡 艳,史晓亮. 基于 AVHRR 和 MODIS NDVI 数据的黄土高原植被覆盖时空演变分析[J]. 应用科学学报,2016,34(6):702-712.
- [3] 杜艳秀. 四川省植被覆盖时空变化及驱动力定量研究[D]. 成都:成都理工大学,2016.
- [4] 史海萍. 山西气候变化及植被生态系统的响应研究[D]. 兰州:兰州大学,2006.
- [5] Song W, Mu X, Ruan G, et al. Estimating fractional vegetation cover

- and the vegetation index of bare soil and highly dense vegetation with a physically based method[J]. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation,2017,58:168-176.
- [6] 李 卓,刘淑亮,孙然好,等. 黄淮海地区耕地复种指数的时空格局演变[J]. 生态学报,2018,38(12):4454-4460.
- [7] Carlson T N, Ripley D A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index[J]. Remote Sensing of Environment,1997,62(3):241-252.
- [8] Ghazal M, Khalil Y A, Hajjdiab H. UAV-based remote sensing for vegetation cover estimation using NDVI imagery and level sets method [C]//International Symposium on Signal Processing & Information Technology,2016.
- [9] 王传胜,李秋秋. 2000 年以来西秦岭地区植被覆盖变化特征——以陇南市为例[J]. 水土保持研究,2016,23(2):308-312.
- [10] 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):1255-1268.
- [11] 刘 哲,邱炳文,王壮壮,等. 2001—2014 年间黄土高原植被覆盖状态时空演变分析[J]. 国土资源遥感,2017,29(1):192-198.
- [12] 简太敏,王小丽,沙金燕. 关于宁夏植被覆盖变化与气候因子相关性分析[J]. 北京农业,2015(34):136-136,137.
- [13] 强英云,张慧娟. 1987—2010 年银川平原植被盖度变化规律研究[J]. 宁夏工程技术,2016,15(4):398-400.
- [14] 范锦龙,张晓煜. 宁夏近 18 年植被动态变化遥感时序分析[J]. 干旱区研究,2009,26(1):53-58.
- [15] 裴志方,杨武年,吴 彬,等. 2000—2016 年宁夏植被覆盖景观格局遥感动态分析[J]. 水土保持研究,2018,25(1):215-219.
- [16] 牛志男. 从南到北走“塞上”——宁夏回族自治区采访手记[J]. 中国民族,2008(9):28-31.
- [17] 马启智. 《走进宁夏》序言[J]. 宁夏史志,2004(2):5-6.
- [18] 丁永红,王 文,陈晓光,等. 宁夏近 44 年暴雨气候特征和变化规律分析[J]. 高原气象,2007,26(3):630-636.
- [19] 徐利岗,汤 英,杜 历,等. 宁夏降水空间分布格局及其多时间尺度变化特征分析[J]. 安徽农业科学,2011,39(34):21303-21306,21310.
- [20] 吴素琴,温淑萍,杨瑞全,等. 宁夏干草原、荒漠草原及其治理[J]. 宁夏农林科技,2005(3):35-37.
- [21] 陈华轅. 美丽宁夏绿色随行——自治区人大常委会审议全区生态林业建设情况报告侧记[J]. 宁夏人大,2015(4):20-21.
- [22] 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[J]. 地理学报,2012,67(7):960-970.
- [23] 曹 磊. 江苏省植被 NDVI 动态变化及其与气候因子的关系[D]. 南京:南京农业大学,2014.
- [24] 李 杰,张 军,刘陈立,等. 基于 MODIS-NDVI 的云南怒江流域植被覆盖时空变化特征研究[J]. 林业资源管理,2018(4):90-99.
- [25] Barbosa H A, Kuma T V L, Ertürk A G. Using the satellite-derived NDVI-OLR feedbacks over West Sahel Africa to assess Land-Atmosphere responses to environmental change[C]//American Institute of Physics,2009:357-360.