

赵 慧,韩颖娟,张承明,等. 宁夏植被变化特征及其与气候、人类活动的关系[J]. 江苏农业科学,2021,49(14):220-226.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.14.039

宁夏植被变化特征及其与气候、人类活动的关系

赵 慧^{1,2}, 韩颖娟^{1,2}, 张承明^{3,4}, 张学艺^{1,2}, 李梦华^{1,2}, 王艳萍¹, 马力文^{1,2}, 赵金龙^{1,2}

(1. 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室,宁夏银川 750002;

2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室,宁夏银川 750002;3. 山东农业大学信息科学与工程学院,山东泰安 271018;

4. 山东省数字农业工程技术研究中心,山东泰安 271018)

摘要:归一化植被指数(NDVI)是表征植被生长状况的重要因子。基于 2000 年以来的 MODIS NDVI 数据,运用 Mann-Kendall 检验、趋势分析、Hurst 指数等方法,研究宁夏年最大 NDVI 时空变化特征及其与气候、人类活动的关系。结果表明:(1)宁夏多年平均最大 NDVI 呈现南北高、中间低的空间分布特征。(2)19 年最大 NDVI 极显著上升,增长速率为 0.008/年,70.3% 的地区显著增大($P < 0.05$),植被生长状况明显改善,未来 27.8% 的区域最大 NDVI 将显著改善。(3)最大 NDVI 与春季、夏季和年降水量相关性较显著,与平均气温相关性较弱。最大 NDVI 与地方公共财政收入和地方公共财政支出呈极显著正相关关系($P < 0.01$);大部分地区 NDVI 与人口及农作物总播种面积正相关,固原市与二者呈极显著负相关关系($P < 0.01$)。生态建设成效尚不稳固,需持续实施生态工程,改善植被生长状况。

关键词:NDVI;时空特征;植被变化;气候变化;人类活动

中图分类号:Q948.11;TP79 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)14-0220-06

植被是地球生态系统的重要组成部分,在地表一系列物质与能量交换过程中扮演着关键角色,对人类生产生活影响重大。植被生长对气候变化及人类活动的响应一直是陆地生态系统的研究重点之一,通过分析植被时空变化特征及其与气候因子、人类活动的关系,能够了解影响植被生长的关键因素,对应气候变化具有重要意义,同时能为生态建设、植被恢复提供科学指导。近年来,植被指数成为描述植被生长状态的重要指标,广泛应用于土地利用^[1]、植被分类^[2]、植被净初级生产力^[3]、森林病虫害^[4]、农作物产量预估^[5]等研究。其中,归一化植被指数(Normalized Differential Vegetation Index, NDVI)是一种能够反映植被光合作用强度的植被指数,是近红外波段与红光波段的反射率之差与两者之和的比值,可有效表征地面植被覆盖情况^[6],是揭示区域植被生长时空格局的重要指标。

宁夏回族自治区地处我国西北地区东部,位于我国北方农牧交错带,水土流失严重,生态环境敏

感脆弱。2000 年以来,宁夏依托三北防护林、天然林保护和退耕还林等国家重大林业工程,组织实施了封山禁牧、防沙治沙等一系列生态工程,实施生态补偿制度等,取得了较好的生态效益。目前,针对全国、西北及宁夏地区研究分析了 AVHRR^[7]、MODIS^[7-8]、GIMMS^[9]、SPOT-VGT^[10-12]、NDVI 数据的时空变化特征及其与气候因子的关系,表明宁夏植被生长受降水因素影响较大。但已有成果研究时段主要集中在 2015 年以前,且大多基于较低分辨率的 NDVI 数据,而近年来的研究多集中在更大区域,专门针对宁夏 NDVI 变化情况及其与气象因子、人类活动的关系的探索较少。因此,本研究基于 2000—2018 年 MODIS NDVI 250 m 分辨率数据,分析了宁夏各区域 NDVI 的变化特征及其与气候因子、人类活动的相关关系,探究影响宁夏植被变化的驱动因素,以期宁夏乃至西北地区的植被生态恢复治理提供科学决策依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

宁夏(35°14'~39°23'N,104°17'~107°39'E)地处黄河中上游,三面环沙,大部分区域属温带大陆性气候,年平均降水量为 300 mm 左右,年蒸发量近 2 000 mm。按照气候、地形、植被等因素自北向南

收稿日期:2020-11-08

基金项目:宁夏自然科学基金(编号:2018AAC03206)。

作者简介:赵 慧(1992—),女,陕西榆林人,硕士,工程师,主要从事植被生态监测与评估研究。E-mail:zhaohui-cau@163.com。

通信作者:韩颖娟,硕士,高级工程师,主要从事生态气象与卫星遥感应用技术研究。E-mail:yjhan1050@126.com。

分为灌区(引黄灌溉区)、中部干旱带及南部山区。灌区农业资源丰富,以灌溉绿洲为主;中部干旱带气候干燥,植被类型以荒漠化草原为主;南部山区属于黄土高原,降水资源较为丰富,植被类型以森林、草原为主。

1.2 数据来源及处理

遥感数据来源于 MOD13Q1 NDVI 数据,分辨率为 250 m。应用 MRT 工具进行重投影,将全年 23 期 NDVI 数据进行最大值合成,每个像元选取年内最大值作为该像元的值,得到 2000—2018 年每年的最大 NDVI ($NDVI_{\max}$),批量裁切得到研究区数据。地面气象数据来自宁夏气象综合数据库,包括 24 个地面气象站 19 年逐日降水量、平均气温的数据统计得到春夏秋冬以及全年值(春季 3—5 月,夏季 6—8 月,秋季 9—11 月),并用 ArcGIS 进行克里金插值得到栅格数据。社会经济数据来自《宁夏统计年鉴》,包括地方公共财政收入、地方公共财政支出、人口和农作物总播种面积。

1.3 研究方法

1.3.1 Mann-Kendall 检验 Mann-Kendall 检验能够判断时间序列的变化趋势。通过计算得到按照时间序列(n 个数据)正序得到的统计量序列, $UF_k(k=1,2,\dots,n)$,再按照时间序列逆序计算,使得统计量 $UB_k = -UF_k$,绘制 UF_k 、 UB_k 2 条曲线,判识曲线交点,比较交点、统计量序列及给定显著性水平临界值线的关系,判断时间序列的突变点及变化趋势^[13]。

1.3.2 趋势分析法 用一元线性回归得到 $NDVI_{\max}$ 与时间的关系,应用最小二乘法估计 $NDVI_{\max}$ 的变化趋势,即斜率:

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

式中: b 为趋势线的斜率; n 为 19; i 为 1~19; $NDVI_i$ 为第 i 年最大归一化植被指数。 b 表征 $NDVI$ 的变

化速率,当 $b > 0$ 时, $NDVI_{\max}$ 呈增大趋势,植被改善;当 $b < 0$ 时, $NDVI_{\max}$ 呈减小趋势,植被退化。对斜率 b 进行显著性检验,变化趋势分为极显著($P < 0.01$)、显著($P < 0.05$)、不显著($P \geq 0.05$)。

1.3.3 Hurst 指数 Hurst 指数能够描述时间序列变化的持续性。计算数据的差分序列,进而计算均值、标准差、累积离差、极差等,得到 Hurst 指数^[14]。 $Hurst = 0.50$,表明时间序列前后的变化无关; $Hurst > 0.50$,时间序列前后变化趋势相同,系统发展有持续性; $Hurst < 0.50$,表明时间序列前后变化趋势相反,系统发展具有反持续性。Hurst 越接近 0,反持续性越强,越接近 1,持续性越强。

1.3.4 相关性分析 应用 Matlab、SPSS 分析近 19 年宁夏 $NDVI_{\max}$ 与降水量、平均气温栅格数据以及社会经济指标的相关性,对相关性进行显著性检验。 $P < 0.05$ 表示 $NDVI_{\max}$ 与因子显著相关。

2 结果与分析

2.1 $NDVI_{\max}$ 时空特征

2.1.1 $NDVI_{\max}$ 空间分布特征 2000—2018 年 $NDVI_{\max}$ 平均值高值区主要位于灌区北部和南部山区,中部干旱带 $NDVI_{\max}$ 较小。六盘山林区 $NDVI_{\max}$ 最大,黄河流域、清水河流域、南华山林区、贺兰山林区次之,腾格里沙漠东南缘及环香山地区较小。灌区、南部山区 $NDVI_{\max} > 0.50$ 的面积均超过区域面积 25%,灌区黄河流域,水资源丰富,南部山区降水较多,林草长势较好。中部干旱带 $NDVI_{\max} > 0.50$ 的区域仅占 6.5%。南部山区植被总体好于灌区和中部干旱带(表 1)。

2.1.2 $NDVI_{\max}$ 时间变化特征 2000—2018 年宁夏平均 $NDVI_{\max}$ 呈极显著上升,增长速率为 0.008/年,平均值从 2000 年的 0.29 增长至 2018 年的 0.50。2000 年以来, $NDVI_{\max} \leq 0.25$ 的面积波动减小, $NDVI_{\max}$ 在 0.50~1.00 的面积占比以 13.9%/年的速率极显著增加(图 1)。

表 1 宁夏 $NDVI_{\max}$ 多年平均值统计

| $NDVI_{\max}$ | 面积比例(%) | | | | | | | | |
|---------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 宁夏 | 灌区 | 中部干旱带 | 南部山区 | 银川市 | 石嘴山市 | 吴忠市 | 固原市 | 中卫市 |
| ≤ 0.25 | 27.2 | 46.6 | 19 | 0 | 26.9 | 41.6 | 27.6 | 0 | 43.6 |
| 0.25~0.50(含) | 47.3 | 26.9 | 74.5 | 42.9 | 38.0 | 22.9 | 62.1 | 42.9 | 44.6 |
| 0.50~0.75(含) | 21.3 | 21.2 | 6.2 | 48.6 | 27.5 | 31.7 | 8.4 | 48.6 | 9.9 |
| > 0.75 | 4.2 | 5.3 | 0.3 | 8.5 | 7.6 | 3.8 | 1.9 | 8.5 | 1.9 |
| 区域平均 | 0.384 | 0.357 | 0.325 | 0.545 | 0.415 | 0.386 | 0.323 | 0.545 | 0.316 |

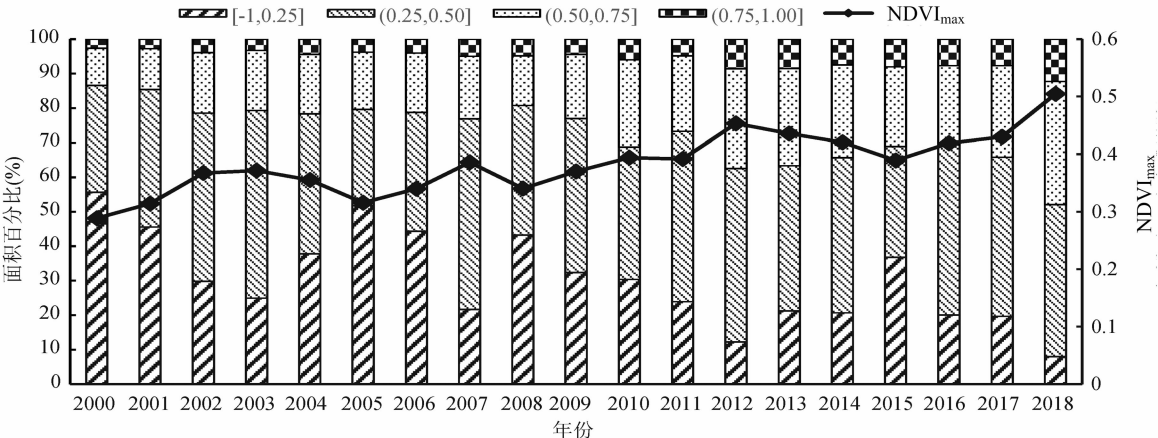


图1 2000—2018 年宁夏 NDVI_{max} 变化

研究区 2000—2018 年 NDVI_{max} Mann - Kendall 检验显示,宁夏、灌区、中部干旱带 NDVI_{max} 2009 年起发生突变,南部山区 2008 年起发生突变。灌区、中部干旱带、南部山区分别从 2010、2011、2011 年起显著增长。银川市 NDVI_{max} 突变年份最早,为 2006 年,中卫市最晚,为 2010 年。从突变年起,5 市 NDVI_{max} 均呈增长趋势。石嘴山和银川地区 NDVI_{max} 呈显著增长的起始年份最早,分别为 2007、2008 年;中卫市最晚,为 2012 年。中卫市建于 2004 年,为 5 市最晚。NDVI_{max} 突变年份的早晚可能与城市发展水平及随之而来的绿化建设有关。

2000—2018 年宁夏 NDVI_{max} 斜率在 -0.050 ~ 0.056 之间。95.1% 地区 $b > 0$, NDVI_{max} 呈增大趋势,4.9% 地区呈减小趋势。斜率通过 0.05 水平显著性检验区均达各区域的 50%,高值区主要位于灌区北部、大罗山、沿黄河沿清水河流域、吴忠中卫市南部及固原市,显著增加占全区 70.3%,极显著增加占 53.8%,斜率低值区占全区的 1.5%,主要分布在银川市、利通区、沙坡头区、中宁县城区,NDVI_{max} 显著减小与城市发展有关。无 $b = 0$ 的区域。宁夏大部分地区 NDVI_{max} 增大,植被状况总体改善明显(表 2、图 2 - a)。

像元尺度 2000—2018 年宁夏 37.7% 的区域 Hurst > 0.50 , NDVI_{max} 变化持续性较强区主要分布在盐池市中部、中卫市南部以及固原市。其余大部分地区 NDVI_{max} 变化呈反持续性,40.5% 区域 Hurst 值为 0.4 ~ 0.5。区域尺度 NDVI_{max} 持续性分析显示,宁夏 Hurst 指数为 0.47,中部干旱带、南部山区、固原市、中卫市 Hurst > 0.50 , NDVI 有一定的持续性;灌区、银川市、石嘴山市、吴忠市 Hurst < 0.50 ,

NDVI_{max} 有反持续性。除石嘴山市外,各区域 $|Hurst - 0.5| \leq 0.10$,表明 NDVI_{max} 持续性和反持续性均较弱(表 2)。

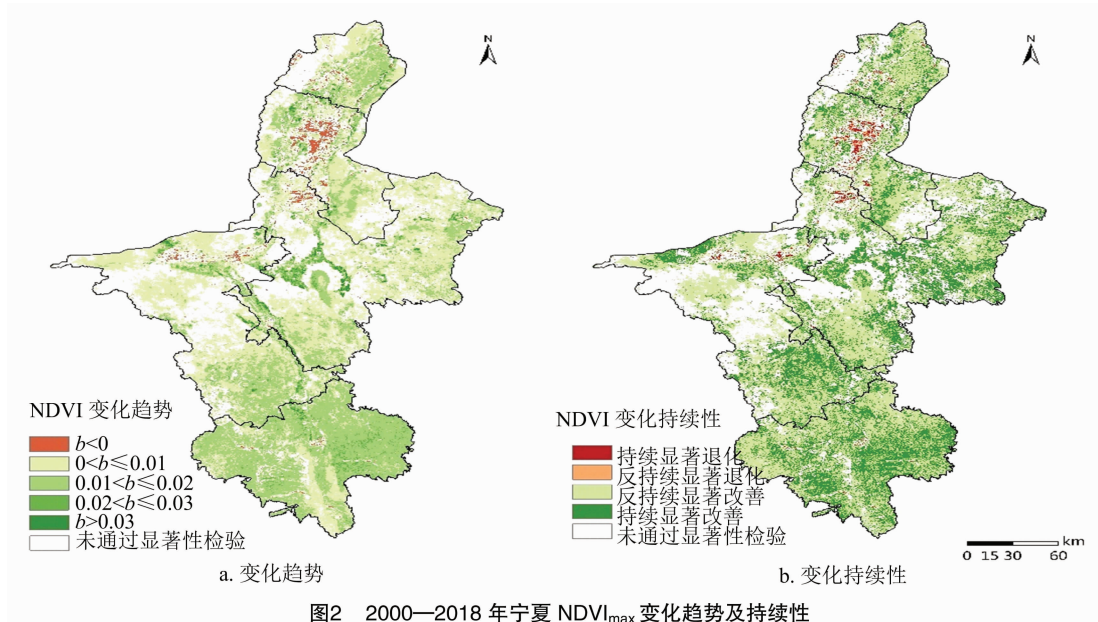
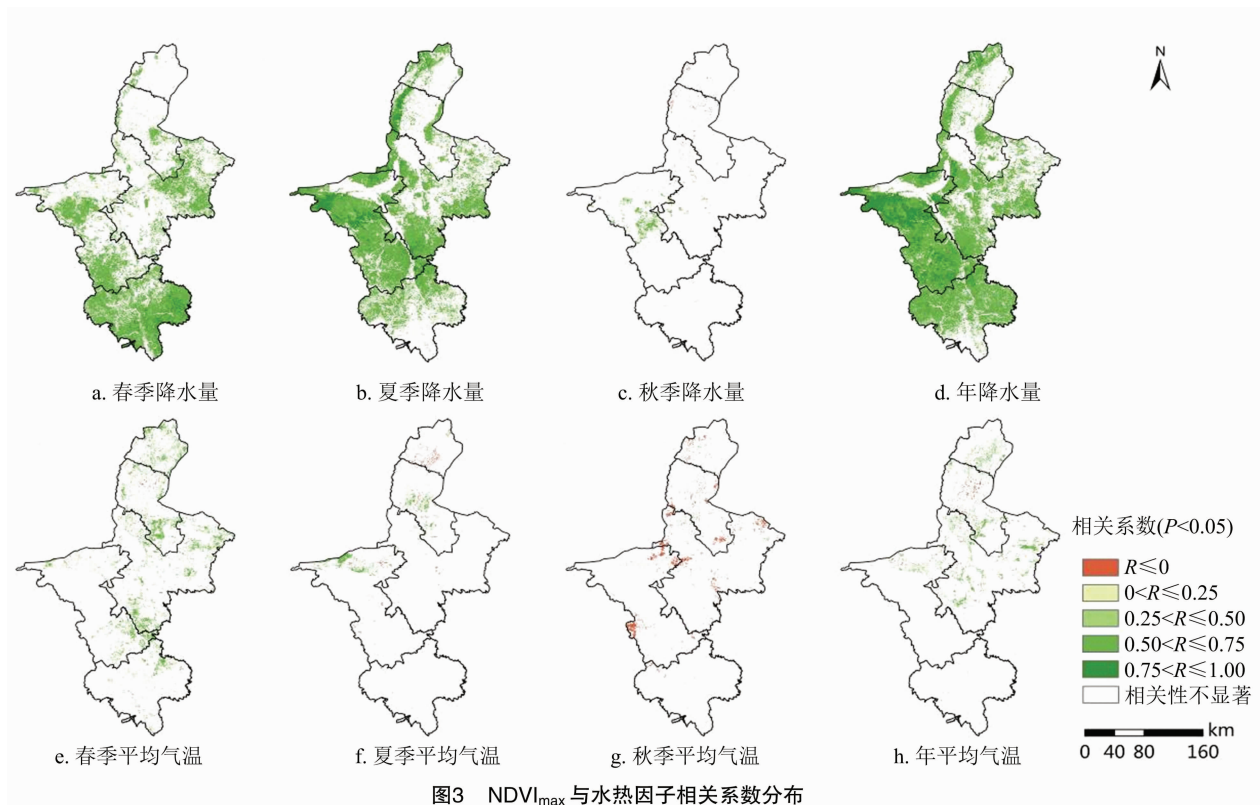
表 2 宁夏 NDVI_{max} 变化趋势和持续性

| 区域 | 平均斜率 | 变化显著区域面积比例(%) | Hurst 指数 |
|-------|-------|---------------|----------|
| 宁夏 | 0.008 | 71.80 | 0.47 |
| 灌区 | 0.006 | 59.50 | 0.40 |
| 中部干旱带 | 0.008 | 74.70 | 0.54 |
| 南部山区 | 0.012 | 93.20 | 0.57 |
| 银川市 | 0.006 | 66.60 | 0.45 |
| 石嘴山市 | 0.007 | 68.20 | 0.32 |
| 吴忠市 | 0.007 | 68.10 | 0.48 |
| 固原市 | 0.012 | 93.20 | 0.57 |
| 中卫市 | 0.007 | 63.50 | 0.53 |

将 NDVI_{max} 空间变化趋势与 Hurst 指数分布图叠加,得到持续显著改善(Hurst $> 0.5, b > 0$)、持续显著退化(Hurst $> 0.5, b < 0$)、反持续显著改善(Hurst $< 0.5, b > 0$)、反持续显著退化(Hurst $< 0.5, b < 0$)的分布。未来 NDVI_{max} 将显著改善的区域占 27.8%(持续显著改善 27.2%,反持续显著退化 0.6%)(图 2 - b)。

2.2 植被与气候变化的相关性分析

宁夏 2000 以来气候发生了明显变化。19 年降水量增加速率为 3.87 mm/年($R = 0.474, P < 0.05$),增湿显著,3 区 5 市增湿不显著。NDVI_{max} 与春夏秋冬以及年降水量以正相关为主(图 3 - a ~ 图 3 - d,表 3)。春季固原市大部分地区降水量与 NDVI_{max} 显著正相关,相关系数 R 较大,贺兰山、银川

图2 2000—2018 年宁夏 $NDVI_{max}$ 变化趋势及持续性图3 $NDVI_{max}$ 与水热因子相关系数分布

中部、吴忠东部、中卫西部和南部部分地区 $NDVI_{max}$ 与春季降水显著正相关。 $NDVI_{max}$ 与夏季降水显著正相关的相关系数高值区主要位于贺兰山东麓、沙坡头区西部和香山东南部部分地区；固原市夏季降水充足，南部 $NDVI_{max}$ 与夏季降水相关性不显著，此时降水不是植被生长的主要限制因子。大部分地区 $NDVI_{max}$ 与秋季降水量相关系数未通过显著性检

验。63.5% 区域的 $NDVI_{max}$ 与年总降水量显著相关，相关系数为 0.50 ~ 1.00 且通过显著性检验的区域主要位于贺兰山东麓、灌区南部、中部干旱带南部以及南部山区北部。

19 年宁夏平均气温呈升高趋势，增温速率为 $0.028\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{年}$ ($R = 0.401$, $P < 0.1$)，增温不显著。银川、中卫市增温明显，增温速率分别为 $0.031\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{年}$

($R=0.458, P<0.05$)、 $0.049\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{年}$ ($R=0.588, P<0.01$)。宁夏 NDVI_{max} 与平均气温显著相关的面积较小(图 3-e~图 3-h,表 3)。春季与 NDVI_{max} 呈显著正相关的区域零星分布,相关系数大部分为 $0.25\sim0.75$,春季气温高,则草地植被返青早,春播作物苗情好, NDVI_{max} 随温度升高而增大。 NDVI_{max} 与夏季平均气温显著负相关主要分布在石嘴山市,

表 3 2000—2018 年宁夏 NDVI_{max} 与水热因子相关性面积比例

| 相关性类别 | 面积比例(%) | | | | | | | |
|--------|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 降水量 | | | | 平均气温 | | | |
| | 春季 | 夏季 | 秋季 | 全年 | 春季 | 夏季 | 秋季 | 全年 |
| 显著负相关 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.1 | 0.2 | 0.7 | 2.4 | 0.4 |
| 显著正相关 | 41.2 | 52.0 | 2.2 | 63.4 | 10.6 | 1.9 | 0.4 | 4.7 |
| 负相关不显著 | 4.0 | 4.5 | 38.7 | 3.9 | 8.9 | 44.2 | 63.3 | 18.4 |
| 正相关不显著 | 54.8 | 43.5 | 58.7 | 32.6 | 80.3 | 53.2 | 33.9 | 76.5 |

2.3 植被与人类活动的相关性分析

经济社会发展情况一定程度上可以表征人类活动的强度。地方公共财政收入、地方公共财政支出、人口、农作物总播种面积等社会经济发展指标与 NDVI_{max} 的相关系数,可以表示植被与人类活动的相关性(表 4)。地方公共财政收入和地方公共财政支出反映了区域经济发展水平,能够在一定程度

显著正相关主要在银川市中部和中卫市北部。 NDVI_{max} 与秋季平均气温显著负相关占全区的 2.4% 。 NDVI_{max} 与年平均气温显著相关主要位于北部 4 市,其中负相关区主要在银川市北部。宁夏大部分地区 NDVI_{max} 与春夏秋冬、年平均气温无显著相关关系。

上表征区域对不利气候因素影响的适应补偿能力。区域经济向好使得其在气候变化过程中具有较好的适应能力,且可能在城市绿化、农田水利设施等生态建设方面有更高的投入,因此, NDVI_{max} 与地方公共财政收入和支出呈极显著正相关关系,且相关系数均在 0.70 以上。

表 4 NDVI_{max} 与经济社会指标的相关系数

| 经济社会指标 | 与 NDVI_{max} 的相关系数 | | | | | |
|----------|------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| | 宁夏 | 银川 | 石嘴山 | 吴忠 | 固原 | 中卫 |
| 地方公共财政收入 | 0.830 ** | 0.707 ** | 0.814 ** | 0.789 ** | 0.843 ** | 0.716 ** |
| 地方公共财政支出 | 0.839 ** | 0.738 ** | 0.886 ** | 0.814 ** | 0.842 ** | 0.759 ** |
| 人口 | 0.843 ** | 0.783 ** | 0.818 ** | 0.625 ** | -0.778 ** | 0.677 ** |
| 农作物总播种面积 | 0.620 ** | 0.666 ** | 0.628 ** | 0.236 | -0.610 ** | 0.546 * |

注:数据后*、**分别表示相关性显著($P<0.05$)、极显著($P<0.01$)。

1982 年以来,宁夏先后组织实施 4 次政策性移民搬迁。“十二五”期间重点实施的中南部生态移民攻坚工程,将中南部山区贫困程度深、生存条件差、发展难度大、不适宜人类生存地区生活最困难的群众,进行生态搬迁安置。固原市是移民重点迁出区。2000 年以来,固原市人口极显著减少,人口密度降低,加上全面实施退耕还林、围栏禁牧政策,固原农作物播种总面积极显著减小,草地林地面积增加, NDVI_{max} 呈极显著增大趋势, NDVI_{max} 与人口、农作物播种总面积呈极显著负相关关系。其他市人口极显著增多, NDVI_{max} 与人口成极显著正相关,与吴忠市农作物总播种面积无显著相关关系,与其他市总播种面积显著正相关。

3 讨论与结论

3.1 讨论

本研究旨在明确宁夏归一化植被指数变化特征,了解植被与气候及人类活动的相关性。宁夏 NDVI_{max} 总体上增长,且空间上呈现南北高、中间低的分布特征,该结果与中国^[9,15]、西北地区^[12]、黄土高原^[16-17]、宁夏^[18]、贺兰山^[19]等区域的相关研究结论基本一致。本研究重点针对宁夏 3 区 5 市 NDVI_{max} 变化特征进行对比分析,提高了精细化程度。研究显示宁夏大部分地区 NDVI_{max} 具有弱持续性,与赵安周等针对黄土高原的研究^[20]基本一致。相比于平均气温,降水量与宁夏 NDVI_{max} 的相关性

更显著,即水分因子是宁夏植被生长的主要限制因子,该研究结果与黄悦悦等的研究结论^[18,21]基本一致,所用卫星数据分辨率更高、气象站点数更多,分析精度得到提升。近 19 年植被有所退化的区域主要集中在部分市(县、区)城区,可能位于城市扩张过程中土地利用类型转变的地区。有研究表明,人口城镇化发展、人口素质提高等能够减缓人口增加对植被覆盖的负面影响^[22]。宁夏大部分地区 NDVI_{max} 与人口以及农作物总播种面积呈正相关关系,可能得益于人口城镇化发展、绿化技术进步、环保意识提高、农业技术及灌溉设施改善等因素,但研究时段较短,具体原因有待进一步探讨。

当前宁夏 NDVI_{max} 变化普遍具有弱持续性,存在生态退化风险,需要继续依托生态工程的大力实施,提高 NDVI 变化稳定性,保护生态建设成果。同时,需要在城市化建设中,合理规划,在土地利用类型转换的同时,提高城市绿化覆盖率,与人工增雨、优化水资源利用、生态工程、生态补偿相结合,开展综合生态治理。

3.2 结论

本研究基于 MOD13Q1 NDVI 数据、气象数据、社会经济数据等,分析了宁夏 NDVI_{max} 时空变化特征,研究了 NDVI_{max} 与气候、人类活动的相关关系。研究结果表明:(1)宁夏多年平均 NDVI_{max} 呈现出南北高、中间低的分布特征。南部山区植被好于灌区、中部干旱带。2000—2018 年,宁夏平均 NDVI_{max} 极显著增大,增长速率为 0.08/年($P < 0.01$);均值为 0.384。(2)19 年间,宁夏 70.3% 的地区 NDVI_{max} 显著增大。植被有所退化的区域主要集中在银川市、大武口区、利通区、沙坡头区和中宁县城区。基于像元尺度 Hurst 指数和 NDVI_{max} 线性倾向率分析,宁夏未来 27.8% 的区域植被将显著改善。NDVI_{max} 持续性较弱。(3)全区大部分地区 NDVI_{max} 随夏季、年降水量增加而增大,与秋季降水相关性较弱;NDVI_{max} 与春夏秋季、年平均气温显著正相关面积较小。降水与宁夏 NDVI_{max} 相关性更强,主要为正相关。NDVI_{max} 与地方公共财政收入和地方公共财政支出呈极显著正相关关系;大部分地区 NDVI_{max} 与人口以及农作物总播种面积呈正相关关系,固原市 NDVI_{max} 与二者呈极显著负相关关系。

生态工程是人为影响植被生长的重要驱动因素^[23-25],如退耕还林还草、封山禁牧等生态工程通过改善土壤质量^[26]、水土流失^[27]、草原植物群落结

构^[28]及提高产草量^[29]、植被总初级生产力^[30]等方式使植被得到恢复,NDVI 增大。由于数据限制,文中未作深入探讨,需结合造林面积、绿化面积等数据进一步探讨生态工程对植被的影响。

参考文献:

- [1] 朱永森,曾永年,张 猛. 基于 HJ 卫星数据与面向对象分类的土地利用/覆盖信息提取[J]. 农业工程学报,2017,33(14):258-265.
- [2] Wardlow B D, Egbert S L, Kastens J H. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U. S. Central Great Plains[J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 108(3):290-310.
- [3] 朱文泉,潘耀忠,张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J]. 植物生态学报,2007,31(3):413-424.
- [4] 郭仲伟,吴朝阳,汪箫悦. 基于卫星遥感数据的森林病虫害监测与评价[J]. 地理研究,2019,38(4):831-843.
- [5] Mkhabela M S, Bullock P, Raj S, et al. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151(3):385-393.
- [6] 张学霞,葛全胜,郑景云. 近 50 年北京植被对全球变暖的响应及其时效——基于遥感数据和物候资料的分析[J]. 生态学杂志, 2005, 24(2):123-130.
- [7] 陈晓光,李剑萍,韩颖娟,等. 宁夏近 20 年来植被覆盖度及其与气温降水的关系[J]. 生态学杂志,2007,26(9):1375-1383.
- [8] 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[J]. 地理科学进展,2017,36(6):741-752.
- [9] 刘 可,杜灵通,侯 静,等. 近 30 年中国陆地生态系统 NDVI 时空变化特征[J]. 生态学报,2018,38(6):1885-1896.
- [10] 杜灵通,田庆久. 宁夏回族自治区 NDVI 的时空变化特征研究[J]. 水土保持通报,2011,31(5):208-214.
- [11] 杜灵通,田庆久. 宁夏植被覆盖动态变化及与气候因子的关系[J]. 中国沙漠,2012,32(5):1479-1485.
- [12] 周梦甜,李 军,朱康文. 西北地区 NDVI 变化与气候因子的响应关系研究[J]. 水土保持研究,2015,22(3):182-187.
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,1999.
- [14] 陈彦光. 基于 Matlab 的地理数据分析[M]. 北京:高等教育出版社,2012.
- [15] 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[J]. 生态学报,2015,35(16):5331-5342.
- [16] 张含玉,方怒放,史志华. 黄土高原植被覆盖时空变化及其对气候因子的响应[J]. 生态学报,2016,36(13):3960-3968.
- [17] Ren Y J, Lü Y H, Fu B J, et al. Driving factors of land change in China's Loess Plateau: quantification using geographically weighted regression and management implications[J]. Remote Sensing, 2020, 12(3):453.
- [18] 黄悦悦,杨 东,冯 磊. 2000—2016 年宁夏植被覆盖度的时空变化及其驱动力[J]. 生态学杂志,2019,38(8):2515-2523.

张志国,班高晗. 土地利用变化驱动下洛阳市生态系统碳储量时空变异[J]. 江苏农业科学,2021,49(14):226-230.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.14.040

土地利用变化驱动下洛阳市生态系统碳储量时空变异

张志国,班高晗

(商丘师范学院测绘与规划学院,河南商丘 476000)

摘要:碳储量变化是衡量陆地生态系统碳循环的关键指标之一。以河南省洛阳市为例,分析 2005—2015 年土地利用变化,利用 Invest 模型计算洛阳市碳储量并分析碳储量的变化。结果表明,洛阳市碳储量呈现南多北少、山多谷少的空间分布特征。10 年间洛阳市碳储量略有增加,说明在地形复杂经济较发达的区域,只要科学划分生态功能区,注重生态环境保护和建设,提高土地利用效率,就可以实现经济和生态的协调发展。

关键词:碳储量;时空变化;土地利用;生态系统服务和权衡的综合评估模型(InVEST);洛阳

中图分类号: F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)14-0226-05

陆地生态系统碳循环与温室效应是近些年国际地学、生态学和环 境科学共同关注的全球变化研究热点。我国学者方精云等系统分析我国陆地生态系统碳汇大小及其机制,并阐明我国陆地碳汇/源的时空格局及其机制,为我国制定相关政策提供依据^[1]。刘领等还对我国森林、土壤、草地等不同生态系统的碳储量变化及其影响因素进行研究^[2-4]。朱文博等认为,土地利用变化是引起陆地生态系统碳储量变化主要的因素,模拟淇河流域 3

种土地利用模式情况下碳储量的变化^[5]。生态系统服务和权衡的综合评估模型(integrated valuation of ecosystem services and trade-offs, InVEST)以土地利用数据为基础,可以实现多目标、多情景下的生态系统碳储量评估。国内学者陆续利用 InVEST 模型开展我国生态系统服务功能价值和区域碳储量的研究。韩晋榕利用 InVEST 模型对辽中南地区陆地生态系统的碳储量进行评估,用来研究城市扩张对生态系统碳储量的影响^[6]。张云倩等利用 InVEST 模型对江苏省海岸带生态系统的碳储量进行定量估算,获取长时间序列的碳储量变化数据,并探究江苏省海岸带碳储量的时空变异^[7]。蒋九华等借助 InVEST 模型评估北京市房山区森林生态系统的碳储量,将量化的森林生态系统碳储量以直

收稿日期:2020-10-12

基金项目:河南省高校重点科研项目(编号:19A170011);河南省教育厅人文社科项目(编号:2015-GH-277)。

作者简介:张志国(1974—),男,河北怀安人,博士,副教授,主要从事 GIS 与区域生态环境研究。E-mail: sxbertzzg@163.com。

[19]朱 源,王 志,彭光雄. 基于 SPOT-NDVI 的贺兰山植被覆盖的时空变化研究[J]. 遥感技术与应用,2012,27(1):142-148.

[20]赵安周,刘宪锋,朱秀芳,等. 2000—2014 年黄土高原植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. 中国环境科学,2016,36(5):1568-1578.

[21]李 欣,王连喜,李 琪,等. 宁夏近 25 年植被指数变化及其与气候的关系[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(9):161-166.

[22]李 超. 人口总量与结构变化影响植被覆盖的实证研究[J]. 广东农业科学,2015,42(12):186-192.

[23]Sun W Y, Song X Y, Mu X M, et al. Spatiotemporal vegetation cover variations associated with climate change and ecological restoration in the Loess Plateau [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2015, 209(1):87-99.

[24]史娜娜,肖能文,王 琦,等. 锡林郭勒植被 NDVI 时空变化及其驱动力定量分析[J]. 植物生态学报,2019,43(4):331-

341.

[25]钱 琛,陈海滨,侯现慧. 生态建设背景下陕西省植被覆盖时空变化及其影响因素研究[J]. 干旱区地理,2020,43(2):425-433.

[26]彭文英,张科利,陈 瑶,等. 黄土坡耕地退耕还林后土壤性质变化研究[J]. 自然资源学报,2005,20(2):272-278.

[27]王怡菲,姚顺波,邓元杰. 渭河流域水土流失治理效率的时空格局演化与影响因素[J]. 地理科学,2019,39(5):836-846.

[28]高 露,张圣微,朱仲元,等. 放牧对干旱半干旱草原植物群落结构和生态功能的影响[J]. 水土保持研究,2019,26(6):205-211.

[29]赵 钢,曹子龙,李青丰. 春季禁牧对内蒙古草原植被的影响[J]. 草地学报,2003,11(2):183-188.

[30]尤南山,董金玮,肖 桐,等. 退耕还林还草工程对黄土高原植被总初级生产力的影响[J]. 地理科学,2020,40(2):315-323.