

气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖度的影响

张艺娜

(太原师范学院地理科学学院, 山西 晋中 030619)

摘要: 黄土高原是我国重要的生态区。通过遥感数据对黄土高原地区 2001—2016 年植被覆盖度的变化特征以及气候因子和人类活动对其的影响作用进行研究。结果表明:黄土高原植被覆盖度总体上呈现增长趋势,生长季明显增加;黄土高原植被覆盖度整体上与气温呈弱相关或负相关的关系,黄土高原植被覆盖度大体上与降水量呈现正相关的关系;其中耕地、林地、草地三种土地利用方式的植被覆盖度整体上升,水域、建设用地及未利用地三种土地利用方式的植被覆盖度总体下降。

关键词: 黄土高原; 植被覆盖度; 气温; 降水量; 土地利用

中图分类号: Q948 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)08-0321-07

黄土高原是中国重要的生态区域,因其独特的地理位置和脆弱的生态环境而备受关注。该地区不仅是世界上最大的黄土聚集区,也是水土流失最严重的地区之一,植被覆盖度的变化对生态环境的稳定与水土资源的可持续发展具有重要意义。近些年来,全球气候变暖,干旱的发生频率增加,沙漠化程度加剧^[1]。植被覆盖度是研究全球各地区植被与气候变化的重要依据^[2]。归一化植被指数(NDVI 指数)是一种反应植被覆盖度的重要指标,能够直接反映出植被的生长状态^[3]。

研究表明,黄土高原地区的植被覆盖度在近 20 年整体呈现增加的趋势,年均增长率为 0.008 6,这一变化与国家实施的生态恢复工程密切相关,如退耕还林还草和水土保持措施等^[3-5]。这些措施有效促进了植被的恢复,尤其是在东南部的土石山区和河谷平原,植被覆盖度的提升尤为显著。然而,西北部地区的植被覆盖度仍然较低,主要受到干旱气候和人类活动的影响^[6-7]。有学者对黄土高原不同区域的植被覆盖度影响机制进行了研究,如陕北黄土高原^[8]和山西^[9]。气候因素,尤其是降水量,对植被生长起着决定性作用。研究显示,黄土高原的植被覆盖度与降水量呈正相关关系,降水的增加直接促进了植被的生长和恢复^[10-11]。相较之下,温度的影响则更为复杂,过高的温度可能导致蒸发增加,抑制植被生长。因此,降水量的变化是影响黄土高原植被覆盖度的关键因素之一^[12]。有研究认为气

候因子对植被的影响作用存在滞后效应^[13]。此外,人类活动对植被覆盖度的影响也同样重要。城市化进程的加快和土地利用方式的变化在一定程度上导致植被的退化,尤其是在城市周边地区^[14]。尽管生态工程的实施在整体上促进了植被的恢复,但在某些区域,特别是城市化迅速发展的地区,植被覆盖度却出现下降的趋势^[15]。

综上所述,黄土高原的植被覆盖度变化是气候因素与人类活动共同作用的结果^[16-17]。深入研究这一变化的时空特征及其驱动因素,对于理解区域生态环境的演变、制定有效的生态恢复策略以及实现可持续发展具有重要的理论和实践意义。因此本文应用相关遥感数据,研究黄土高原地区 2001—2016 年植被覆盖度的动态变化特征,利用相关分析法探讨了气候因子及人类活动对其的影响作用。

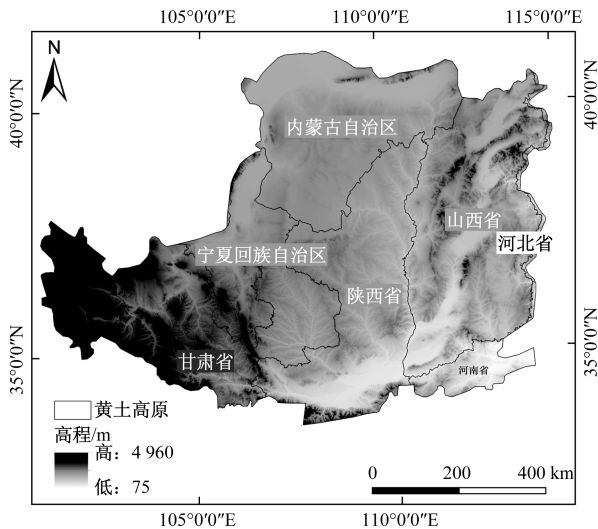
1 研究区域概况

黄土高原位于中国的偏北位置,是中国四大高原之一,黄土高原西起乌鞘岭,东至太行山,北起长城,南至秦岭,总面积约为 60 万 km²,黄土高原高度为 1 000~2 000 m,位于中国第二级阶梯之上,是黄土分布最集中的地区,也是土壤侵蚀程度最严峻和区域生态环境最为脆弱的地区之一。黄土高原气候冬季严寒,夏季炎热,降水较为集中,干旱区在其西北部,半干旱区分布在其中部地区,半湿润区分布在其东南部。区域内地形复杂多样,土壤具有明显的区域地带性。区概况如图 1 所示。

收稿日期: 2024-10-30

基金项目: 山西省研究生科研创新项目(2023KY694)

作者简介: 张艺娜(1999—),女,山西吕梁人,硕士研究生,研究方向为自然资源开发与评价。



基于审图号为GS(2023)2767号标准地图制作,底图无修改

图1 研究区概况

2 数据与方法

2.1 数据来源

遥感数据来源于美国国家航天局的MODIS网站产品数据。气象数据从中国气象科学数据共享服务网下载,选取2001—2016年黄土高原地区及其周边共60个气象站点的气象资料和数据。土地利用数据来源于中国西部环境与生态科学数据中心的全国区域土地综合利用数据,获取分辨率约为1 km的全国土地利用数据。根据中科院土地资源利用/覆盖分类体系(LUCC分类体系),主要可分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地(主要为裸地)6种类型。

2.2 分析方法

采用一元线性回归方法进行计算,得出植被覆盖度与时间的回归斜率(Slope)^[18]。如果 $Slope > 0$,则说明植被覆盖度随着时间的推移而增加;如果 $Slope < 0$,则表示植被覆盖度随着时间的推移而减少。植被NDVI的斜率(Slope)的计算公式为

$$Slope = \frac{m \sum_{i=1}^m i f_i - \sum_{i=1}^m i \sum_{i=1}^m f_i}{m \sum_{i=1}^m i^2 - \left(\sum_{i=1}^m i \right)^2} \quad (1)$$

式中: m 为检测的年数; f_i 为第*i*年检测到植被的NDVI。

通过分析计算黄土高原年度植被覆盖度与气候因子的相关系数,可以反映两个变量之间相关度,取值为 $[-1, +1]$ 。相关系数的计算公式为

$$R = \frac{\sum_{n=1}^m (x_n - \bar{x})(y_n - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{n=1}^m (x_n - \bar{x})^2 \sum_{n=1}^m (y_n - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

式中: R 为 x 、 y 两变量的相关系数; m 为研究的年数; x_n 为第*n*年的植被NDVI; y_n 为第*n*年的年均气候因子值。

3 结果与分析

3.1 黄土高原植被覆盖度时空变化特征

为了更好地分析黄土高原植被覆盖度的变化特点,从植被变化的时间变化特征、空间分布特征及生长季植被NDVI变化趋势三个方面来说明。

3.1.1 黄土高原植被NDVI的时间变化特征

通过计算2001—2016年黄土高原植被NDVI的平均值,以此反映黄土高原植被覆盖度的变化。从图2可以得出黄土高原植被覆盖得到改善,整体呈现增长趋势,从2001年的0.460 52到2016年的0.586 93。2007—2008年及2012—2015年的植被NDVI有较明显的下降,而2001—2002年、2006—2007年、2011—2012年及2015—2016年间的植被NDVI增长趋势明显。

图3是黄土高原生长季(4~10月)的植被NDVI变化趋势,可以得出,黄土高原生长季植被NDVI整体呈显著增长趋势($R = 0.929 3$),其中2001—2002年、2006—2007年以及2011—2013年植被NDVI增长趋势明显。

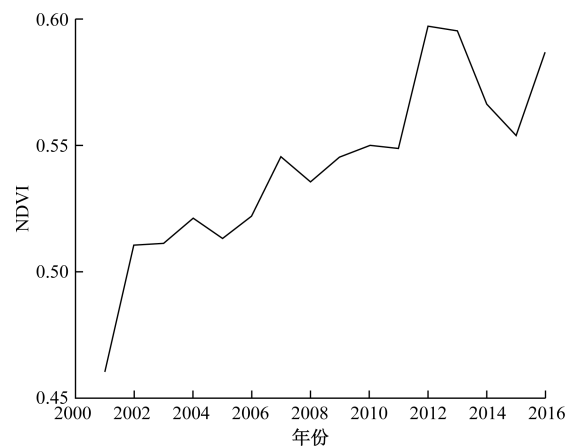


图2 NDVI年际变化

具体各个季节的植被NDVI增长趋势也不同。如图4所示,黄土高原春季植被NDVI呈现先是增长后下降再继续增长的趋势($R = 0.761 2$),其中2001—2002年及2013—2014年的植被NDVI有明显上升的趋势,而2004—2006及2009—2011年有连续下降趋势。

如图5所示,夏季植被NDVI总体也呈现上升趋势($R = 0.869 5$),整体上升趋势相对较为平缓,与其生长季的变化趋势相对接近,夏季植被的覆盖度

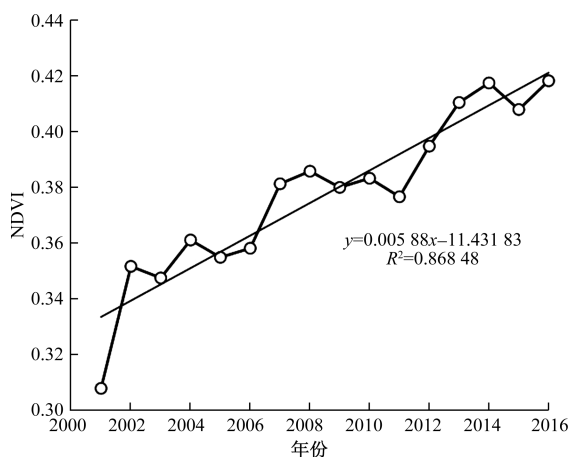


图3 黄土高原生长季植被 NDVI 变化

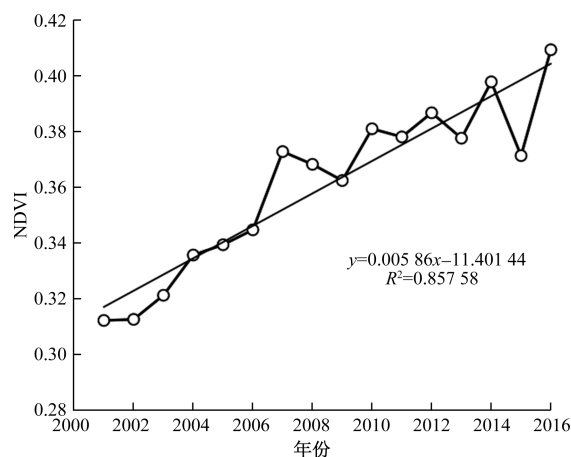


图6 黄土高原秋季植被 NDVI 变化趋势

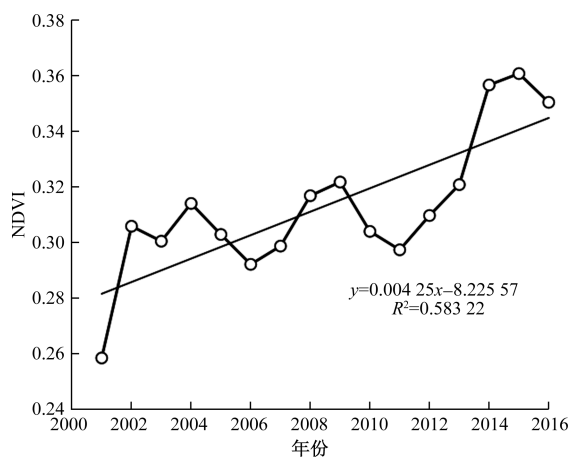


图4 黄土高原春季植被 NDVI 变化

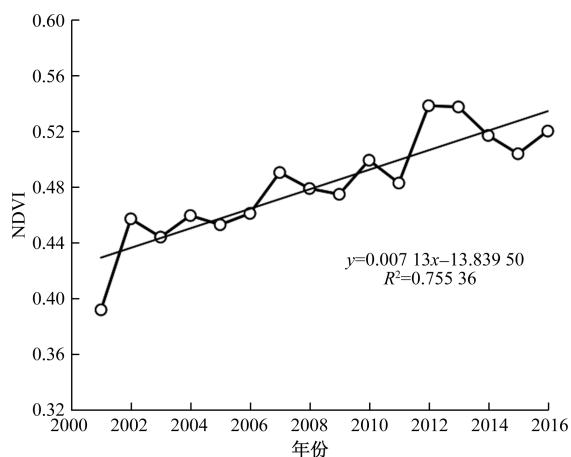


图5 黄土高原夏季植被 NDVI 变化

最高。如图6所示,秋季植被 NDVI 呈明显增长趋势($R=0.9255$),其中2006—2007年、2009—2010年、2013—2014年及2015—2016年增长趋势明显,而2008—2010年的植被 NDVI 呈连续下降趋势,2014—2015年植被 NDVI 下降趋势明显。总体来

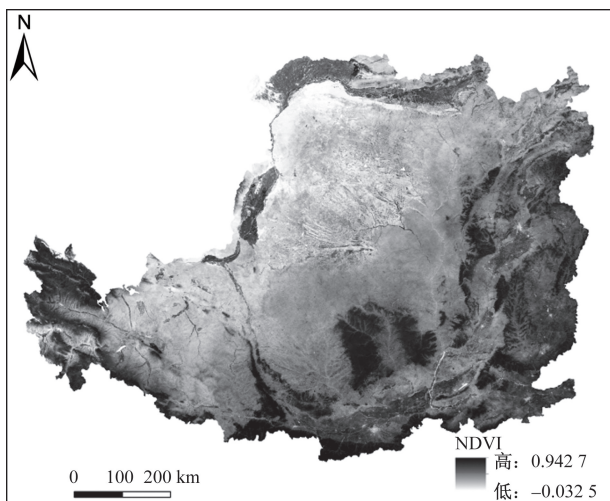
说,黄土高原2001—2016年各季植被覆盖度上升趋势明显,但也具有波动性。

3.1.2 黄土高原植被 NDVI 的空间分布特征

如图7和图8所示,黄土高原植被覆盖程度整体上从东南向西北方向减少,这与黄土高原的水分条件、热量状况相一致。2001年黄土高原植被指数最大值为0.9427,2016年黄土高原植被指数最大为0.9991,所以15年间黄土高原植被覆盖有所改善;2001年黄土高原植被指数最小值为-0.0325,2016年黄土高原植被指数最小为-0.0991,最低值减小,说明黄土高原西北部的植被覆盖度还需改善,近年来因为荒漠化、沙尘暴等因素使得黄土高原西北部植被覆盖度变低。

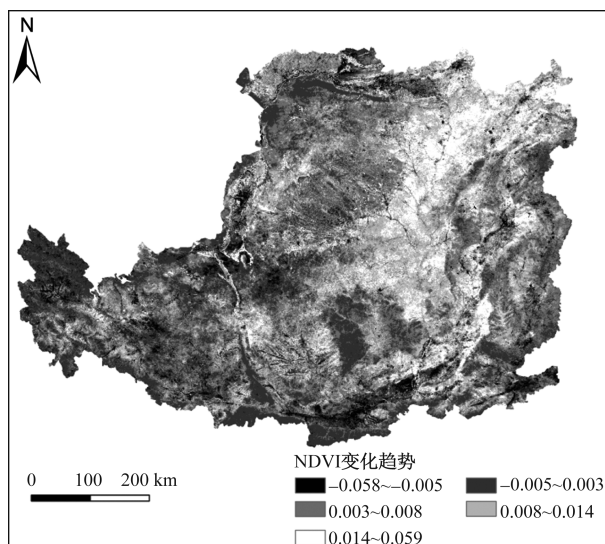
从图7可知,2001年黄土高原高覆盖度地区主要有青海省西南部、陇中高原以北、兰州市西北部、关中盆地以南秦岭以北地区、山西忻州、临汾、吕梁西部以及晋城市东南部;中覆盖度地区主要有陇中高原、白银、榆林北部及中部、西安南部、五台山、阳泉、长治、洛阳、三门峡等;低覆盖度地区主要有六盘山、甘肃庆阳、陕西延安及铜川大部分区域、大同盆地北部、洪涛山以西、太岳山以西地区等;极低覆盖度地区有内蒙古西南部、宁夏的固原、中卫及吴忠南部、毛乌素沙地西南部、靖边县等地区。

从图8可知,2016年黄土高原高覆盖度的地区主要有青海西部、陇中高原、兰州西南部地区、关中盆地、渭南、榆林中北部、陕西高原中西部、西安、吕梁、长治盆地、山西东部、河南西北部等地区;中覆盖度地区主要有宁夏北部、六盘山以东、天水、陇南地区北部、内蒙古西南部、陕西东部、吕梁山以西、洪涛山以西等地区;低覆盖度地区主要有定西、甘南、榆林西南部、秦岭以北地区、太原、运城盆地、河



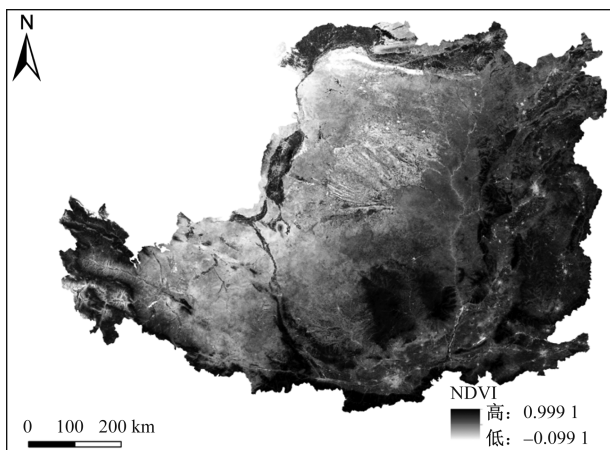
基于审图号为 GS(2023)2767 号标准地图制作,底图无修改

图 7 2001 年黄土高原植被 NDVI



基于审图号为 GS(2023)2767 号标准地图制作,底图无修改

图 9 2001—2016 年黄土高原 NDVI 变化



基于审图号为 GS(2023)2767 号标准地图制作,底图无修改

图 8 2016 年黄土高原植被 NDVI

南西部地区、崑山等地区;极低覆盖度地区主要有宁夏西部、白银、贺兰山以东边缘地区、内蒙古西南部等地区。

3.1.3 黄土高原生长季植被 NDVI 变化趋势

根据变化趋势法分析黄土高原生长季植被 NDVI 变化趋势,并将其分为五个等级:严重退化(-0.058 ~ -0.005)、轻微退化(-0.005 ~ 0.003)、轻微改善(0.003 ~ 0.008)、中度改善(0.008~0.014)、明显改善(0.014~0.059)。

如图 9 所示,近 15 年来黄土高原不同地区的植被覆盖度发生了不同程度的变化。其中植被覆盖严重退化的地区主要有西宁、海东地区的部分区域、秦岭北部边缘、运城盆地、太原盆地中部、阳泉东部、三门峡、洛阳等地区;植被覆盖轻微退化的地区主要有青海省西南部、白银、平凉西部、宁夏西

部、鄂尔多斯、晋城东部等地区;植被覆盖度轻微改善的地区主要有延安西部、定边、西安、渭南、大同盆地、五台山、长治东部等地区;植被覆盖中度改善的地区主要有定西北部、吴起、庆阳、内蒙古鄂尔多斯高原的中东部、吕梁山、太岳山、临汾盆地等地区;植被覆盖度明显改善的地区有白银东南部、六盘山、陕西省中部、临汾东部等地区。近年来因中部部分地区的城市化进程过于迅速且受到大规模人类生产经济活动的影响,所以导致其植被覆盖度降低。而西北地区以及黄土高原沟壑区特别是吕梁山、陕北高原植被覆盖度明显提高,这也说明了这些地区对于治理荒漠化等自然生态问题和退耕还林工作取得相当大的进展。

3.2 气候对黄土高原植被覆盖度的影响

气候状况决定湿度、温度、光照情况,影响着植被的生长条件,进而影响了植被的覆盖度。气候对黄土高原植被覆盖度的影响从温度和降水量两个因素来说明。

3.2.1 温度对黄土高原植被覆盖度的影响

将黄土高原 2001—2016 年的年际平均温度进行分析,如图 10 所示,近 15 年最高温度出现在 2013 年,最高温度是 9.92℃;最低温度出现在 2012 年,最低温度是 8.27℃,总体年际变化幅度不大。

计算 2001—2016 年的年平均温度与黄土高原植被 NDVI 的相关系数得到图 11,相关程度分为四个等级:弱相关或负相关(-0.92~0)、正相关(0~0.21)、显著正相关(0.21~0.43)、极显著正相关(0.43~0.88)。由图 11 可以得知黄土高原植被覆

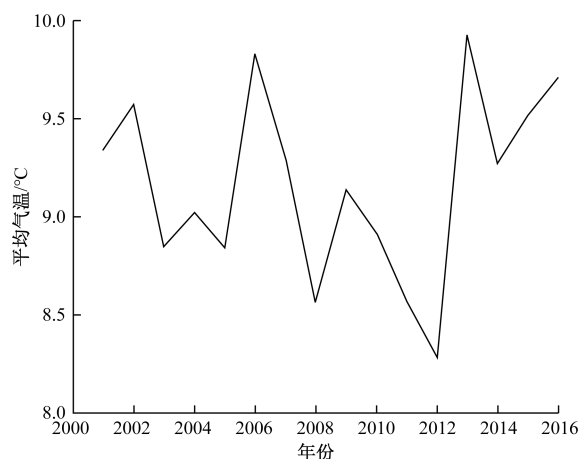


图 10 黄土高原 2001—2016 年平均气温变化

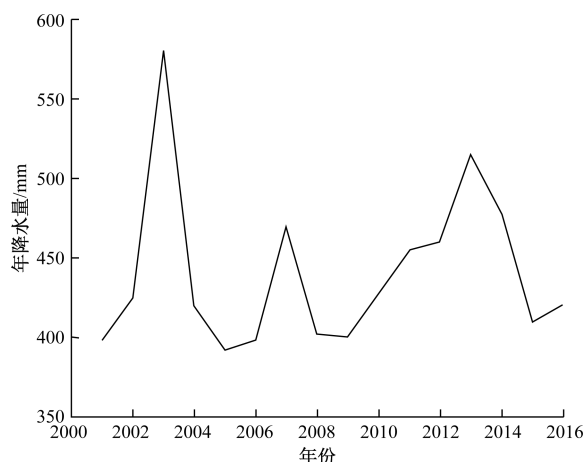
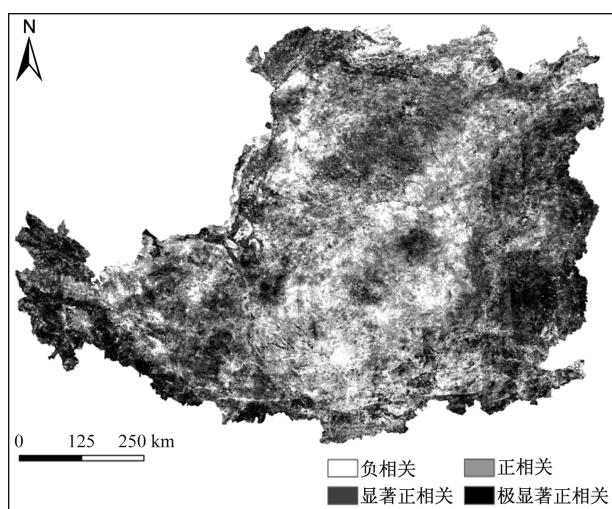
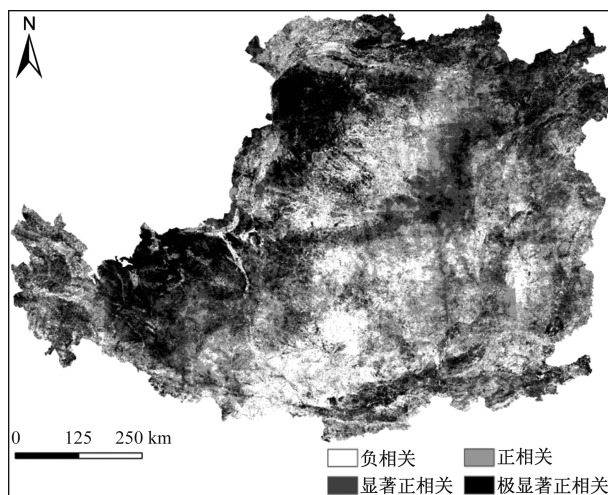


图 12 黄土高原 2001—2016 年降水量变化



基于审图号为 GS(2023)2767 号标准地图制作,底图无修改

图 11 黄土高原植被覆盖度与气温相关程度



基于审图号为 GS(2023)2767 号标准地图制作,底图无修改

图 13 黄土高原植被覆盖度与降水量相关程度

盖度大体上与气温呈弱相关或负相关的关系,黄土高原将近 90% 的区域的植被覆盖度受温度的影响较微弱甚至没有,植被覆盖度与气温呈正相关关系的仅零散分布在青海、陕西的部分地区、山西阳泉的部分地区及河南三门峡市的部分地区。

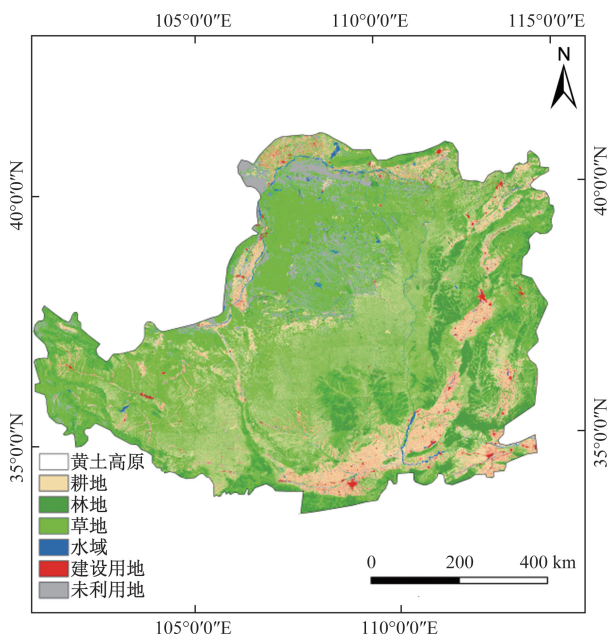
3.2.2 降水量对黄土高原植被覆盖度的影响

将黄土高原 2001—2016 年降水量进行分析,如图 12 所示,近 15 年来黄土高原年降水量最高出现在 2003 年,最高年降水量为 580 mm,年降水量最低出现在 2005 年,最低降水量为 392 mm。总体来说,年降水量呈较弱的增加趋势。2001—2016 年降水量与黄土高原植被 NDVI 的相关程度如图 13 所示,相关系数分为四个等级:负相关($-0.756 \sim 0$)、正相关($0 \sim 0.325$)、显著正相关($0.325 \sim 0.650$)、极显著正相关($0.650 \sim 0.975$)。由图 13 可知,黄土高原植被覆盖度大体上与降水量呈现正相关的关

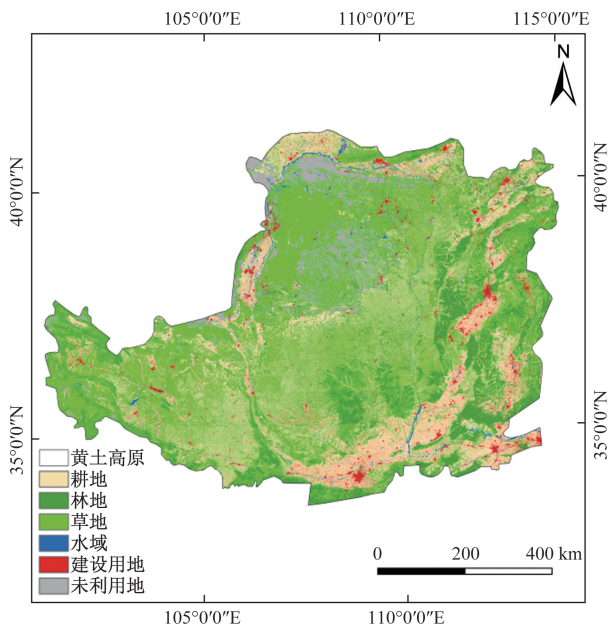
系,黄土高原植被覆盖度与年降水量呈现正相关的区域占黄土高原总面积的 83.2%。其中呈现极显著正相关的地区主要有西宁、兰州北部、中卫西部、大同盆地、吕梁山北部、忻定盆地等;呈现显著正相关的地区主要有内蒙古鄂尔多斯西部、内蒙古中部、白银、陕西北部、陕西东部;呈现正相关的地区主要有内蒙古呼和浩特、宁夏南部、庆阳、关中平原、河南三门峡、运城盆地、临汾盆地等;呈现负相关的地区主要有内蒙古西北部、平凉、定西东部、铜川、榆林西部、延安西北部、太原、五台山。

3.3 人类活动对黄土高原植被覆盖度的影响

除了气候因素会对植被覆盖度造成影响,人为因素对植被覆盖度的影响也同样重要。土地利用方式的差异会对植被覆盖度产生不同的作用,将黄土高原的植被分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地共六类土地利用方式。



基于审图号为 GS(2023)2767 号标准地图制作,底图无修改
图 14 2001 年黄土高原土地利用



基于审图号为 GS(2023)2767 号标准地图制作,底图无修改
图 15 2016 年黄土高原土地利用

如图 14 和图 15 所示,近 15 年来黄土高原耕地、水域以及未利用地面积有所下降,其中耕地面积减少量占比最多。而林地、草地以及建设用地面积呈上升趋势,其中建设用地面积增加得最多,这与近些年城市化建设有关。土地利用方式的多样性直接造成了植被覆盖度的变化,前文已将黄土高原植被 NDVI 的变化趋势分为严重退化、轻微退化、轻微改善、中度改善、明显改善共五个等级。

表 1 为不同土地利用方式下五种变化趋势的面积所占比例,可以看出耕地植被覆盖度改善的面积占 79.77%,林地植被覆盖度改善的面积占 80.56%,草地植被覆盖度改善的面积占 75.04%,这三种土地利用方式下的植被覆盖度整体上升。水体域植被覆盖度退化的面积占到 47.40%,建设用地植被覆盖度退化的面积占 51.55%,未利用地植被覆盖度退化的面积占 48.66%,这三种土地利用方式的植被覆盖度退化程度最显著。综上得出,土地利用方式对黄土高原植被覆盖度的影响作用较为复杂。

表 1 不同土地利用方式下植被覆盖度

| 利用方式 | 严重退化 | 中度退化 | 轻微改善 | 中度改善 | 明显改善 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 耕地 | 2.19 | 18.22 | 30.24 | 35.28 | 14.25 |
| 林地 | 0.63 | 18.81 | 39.73 | 33.16 | 7.67 |
| 草地 | 0.41 | 24.55 | 35.34 | 28.78 | 10.92 |
| 水体 | 11.97 | 35.43 | 26.26 | 18.39 | 7.95 |
| 建设用地 | 11.32 | 40.23 | 29.32 | 15.81 | 3.32 |
| 未利用地 | 0.45 | 48.21 | 37.95 | 10.98 | 2.41 |

4 结论

黄土高原植被覆盖度总体上呈现增长趋势,植被 NDVI 生长季明显增加,春季先增长后减少,夏季增长缓慢,秋季明显增长。2001 年黄土高原植被指数最大值为 0.942 7,2016 年黄土高原植被指数最大为 0.999 1,所以 15 年间黄土高原植被覆盖程度明显好转。黄土高原地区植被覆盖度整体从西北向东南递增。近 15 年来黄土高原不同地区的植被覆盖度发生不同程度的变化,其中植被覆盖严重退化的地区主要集中在西宁、海东地区的部分地区、秦岭北部边缘、运城盆地、太原盆地中部、阳泉东部、三门峡、洛阳等地区;植被覆盖度明显改善的地区有白银东南部、六盘山、陕西省中部、临汾东部等地区。

近 15 年来,黄土高原最高温度是 9.92℃,最低温度是 8.27℃,总体年际变化幅度不大。黄土高原植被覆盖度整体上与气温呈弱相关或负相关的关系,黄土高原 90% 的区域的植被覆盖度受温度的影响较小甚至没有。近 15 年黄土高原最高年降水量为 580 mm,最低降水量为 392 mm。总体来说,年降水量呈较弱的增加趋势,黄土高原植被覆盖度大体上与降水量呈现正相关的关系,其中呈现正相关的区域占黄土高原总面积的 83.2%。其中青海西宁、兰州北部、中卫西部、大同盆地、吕梁山北部、忻定盆地等地呈现极显著正相关,呈现负相关的地区

主要有内蒙古西北部、平凉、定西东部、铜川、榆林西部、延安西北部、太原、五台山等地。

近 15 年来,黄土高原的耕地、水域以及未利用地的面积都有小幅度下降,其中耕地的面积减少最多,而林地、草地及建设用地的面积有小幅度的增加,其中建设用地的面积增加幅度最大。其次耕地、林地、草地三种土地利用方式的植被覆盖度整体上升,水域、建设用地及未利用地三种土地利用方式的植被覆盖度总体下降。

参考文献

- [1] 姜大勝, 王晓欣. 对 IPCC 第六次评估报告中有关干旱变化的解读[J]. 大气科学学报, 2021, 44(5): 650-653.
- [2] 陈效速, 王恒. 1982—2003 年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化[J]. 地理学报, 2009, 64(1): 84-94.
- [3] 刘宪锋, 杨勇, 任志远, 等. 2000—2009 年黄土高原地区植被覆盖度时空变化[J]. 中国沙漠, 2013, 33(4): 1244-1249.
- [4] 黄玥, 卫伟. 2000—2019 年黄土高原 NDVI 时空变化特征及其归因分析[J]. 环境生态学, 2022, 4(5): 32-38.
- [5] 马梓策, 于红博, 曹聪明, 等. 中国植被覆盖度时空特征及其影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(6): 1310-1321.
- [6] 信忠保, 许炯心. 黄土高原地区植被覆盖时空演变对气候的响应[J]. 自然科学进展, 2007(6): 770-778.
- [7] 信忠保, 许炯心, 郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2007(11): 1504-1514.
- [8] 冶兆霞, 张洪波, 杨志芳, 等. 陕北黄土高原气象要素对植被覆盖的空间分异影响及风险探测[J]. 生态学报, 2024, 44(6): 2379-2395.
- [9] 邢淑芳, 白云峰, 陈波. 黄土高原植被覆盖时空分布特征研究——以山西省为例[J]. 测绘科学, 2023, 48(9): 110-119.
- [10] 张岩, 张清春, 刘宝元. 降水变化对陕北黄土高原植被覆盖度和高度的影响[J]. 地球科学进展, 2002(2): 268-272.
- [11] 伍永秋, 张清春, 张岩, 等. 黄土高原小流域植被特征及其季节变化[J]. 水土保持学报, 2002(1): 104-107.
- [12] 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.
- [13] 汪士为, 吴伟. 气候因素与黄土高原植被的时间滞后关系分析[J]. 草业科学, 2024(9): 1-19.
- [14] 黄玥, 卫伟. 2000—2019 年黄土高原 NDVI 时空变化特征及其归因分析[J]. 环境生态学, 2022, 4(5): 32-38.
- [15] 张翀, 白子怡, 李学梅, 等. 2001—2018 年黄土高原植被覆盖人为影响时空演变及归因分析[J]. 干旱区地理, 2021, 44(1): 188-196.
- [16] 白淑英, 吴奇, 史建桥, 等. 基于时间序列遥感数据的西藏山南地区植被覆盖变化特征分析[J]. 中国沙漠, 2015, 35(5): 1396-1402.
- [17] 谢宝妮. 黄土高原近 30 年植被覆盖变化及其对气候变化的响应[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2016.
- [18] 杨吾扬, 张超, 徐建华. 谈谈现代地理学中的数量方法与理论模式(上)[J]. 地域研究与开发, 1996(1): 4-7.

Impact of Climate Change and Human Activities on Vegetation Coverage in the Loess Plateau

ZHANG Yina

(College of Geographic Science, Taiyuan Normal University, Jinzhong 030619, Shanxi, China)

Abstract: The Loess Plateau is an important ecological zone in China. The changes in vegetation coverage were investigated in the Loess Plateau region from 2001 to 2016, as well as the impacts of climatic factors and human activities on it. The result shows that the vegetation coverage in the Loess Plateau has generally exhibited an increasing trend, with a significant extension of the growing season. Overall, the vegetation coverage in the Loess Plateau has a weak or negative correlation with temperature, while it shows a positive correlation with precipitation. Among different land use types, the vegetation coverage of arable land, forest land and grassland has generally increased, whereas the vegetation coverage of water bodies, built-up areas and unused land has decreased overall.

Keywords: the loess plateau; vegetation coverage; temperature; precipitation; land use