
综
合
治
理

蒙古高原植被变化趋势及其影响因素

戴琳^{1,2}, 张丽¹, 王昆^{1,2}, 王仁礼²

(1. 中国科学院 遥感与数字地球研究所 数字地球重点实验室, 北京 100094;

2. 山东科技大学 测绘科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要: 基于 1982—2006 年的 AVHRR 数据和气象数据, 分析了蒙古高原植被时空变化特征及其影响因素。研究发现: (1) 近 25 a 来, 蒙古高原植被整体呈改善趋势, 年增长率为 0.000 6/a。蒙古国植被 NDVI 年增长率最大(0.000 8/a), 其次是中国的内蒙古(0.000 4/a)、甘肃(0.000 3/a)和宁夏(0.000 1/a); (2) 植被的变化趋势具有明显的空间差异性和季节性。25 a 来, 蒙古国西北部、内蒙古中部的锡林郭勒盟等区域植被明显改善, 而内蒙古东北部呼伦贝尔市植被呈退化趋势。研究区春、秋季植被明显改善, 夏季植被呈退化趋势; (3) 植被的变化趋势一定程度上受温度和降雨的影响, 春、秋季升高的温度使生长期延长, 植被改善, 而夏季温度升高和降水减少共同导致夏季植被退化; (4) 草地、农作物面积和产量的增加直接或间接地导致了内蒙古植被 NDVI 的增加, 其他人为因素, 如人口增长、土地利用类型的转换、退耕还林、过度放牧、矿产资源开采等也可直接或间接地影响植被的变化。

关键词: NDVI; 植被变化; 温度; 降雨; 人类活动

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0218-08

中图分类号: Q948.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.047

Vegetation Changing Trend and Its Affecting Factors in Mongolian Plateau

DAI Lin^{1,2}, ZHANG Li¹, WANG Kun¹, WANG Ren-li²

(1. Key Laboratory of Digital Earth Science, Institute of Remote

Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;

2. College of Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510, China)

Abstract: Based on the AVHRR NDVI data and climate data from 1982 to 2006 in the Mongolian Plateau, the temporal and spatial variability of vegetation and its affecting factors were analyzed. The results showed that: (1) The vegetation of Mongolian Plateau had improved as a whole during the recent 25 years with the 0.0006 per year increase rate of annual NDVI. Mongolia had the largest annual increase rate (0.000 8 per year), followed by Inner Mongolia (0.000 4 per year), Ningxia (0.000 3 per year) and Gansu (0.000 1 per year) Province of China. (2) The trend of vegetation had obvious differences in spatial and seasonal characteristics. The vegetation in Northwest Mongolia and the Xilinguole of Inter Mongolia had significantly improved in recent 25 years, while the Hulunbeir of Inner Mongolia showed degrading trend. The vegetation had significantly improved in spring and autumn, while degraded in summer. (3) The change trend of vegetation was affected by temperature and precipitation to some extent. Rising temperature extended the length of growing season, which promoted the vegetation growth in spring and autumn. Rising temperature together with reducing precipitation resulted in vegetation degradation in summer. (4) The increased area and yields of grassland and cropland, directly or indirectly, led to NDVI increased, and the other human activities, for example, increased population, changed land cover/land use, returning farmland to forest, overgrazing, exploitation of mineral resources, may also have impacts on the vegetation changes.

Keywords: NDVI; vegetation change; temperature; precipitation; human activities

收稿日期: 2013-07-18

修回日期: 2013-11-11

资助项目: 中国科学院对地观测与数字地球科学中心主任创新基金“基于全球碳循环模拟下的北半球温带草原生态系统功能评价研究”(Y2ZZ19101B)

作者简介: 戴琳(1989—), 女(汉族), 山东省枣庄市人, 硕士研究生, 研究方向为植被遥感、遥感应用。E-mail: guyuewangmumu@126.com。

通信作者: 张丽(1975—), 女(汉族), 新疆维吾尔自治区伊宁市人, 硕士, 副研究员, 主要从事植被遥感等方面的研究。E-mail: lizhang@ceode.ac.cn。

以“全球变暖”为突出标志的全球环境变化及其可能对生态系统产生的严重影响,已经引起了科学家、各国政府与社会各界的极大关注^[1-3]。政府间气候变化专门委员会 IPCC (intergovernmental panel on climate change, 2007) 指出蒙古高原是全球变暖的敏感区域。蒙古高原的主要植被类型是草地,属于干旱—半干旱地区,生态系统比较脆弱。有研究表明蒙古国近 40 a 来温度上升^[4],降水减少^[5],干旱化日益加剧^[6],同时受自然因素和人文因素的影响荒漠化十分严重^[7]。气候变化影响植被的生长环境,进而影响植被的生长状态,而植被是联接土壤、大气、水分的“纽带”,对气候和人文因素的影响反应敏感,在全球变化研究中充当着“指示器”的作用^[8]。因此研究蒙古高原植被的变化及其影响因素对人类可持续发展乃至全球变化研究都有重要意义。

遥感方法是研究陆地表面大范围区域乃至全球生态环境宏观变化的重要技术,遥感技术中的归一化植被指数 (normalized difference vegetation index, NDVI) 能较好的表现植被的分布特征和变化情况,因此,研究多采用 NDVI 来表征区域植被覆盖状况^[9]。近年来,长时间序列 NDVI 的变化特征及其气候环境效益的研究已成为全球变化的热点。在全球尺度上, Ichii 等^[10] 分析气候变化与全球 NDVI 的关系,表明在北半球中高纬度地区,春秋季节 NDVI 与温度显著相关,NDVI 值随温度的增高而升高。Park 等^[11] 基于 NDVI 数据研究了 1989—2006 年东亚植被变化情况,表明 1982—1996 年,东亚植被明显改善,而 1997—2006 年,植被呈现退化现象,植被生产力增加主要和温度升高有关。在区域尺度上, Song 等^[12] 研究了 中国地区 NDVI 和气候因子的关系,发现温度和植被生长有显著的相关性,但是在干旱半干旱地区,降雨是影响 NDVI 的重要气候因素。Piao 等^[13] 研究了 1982—1999 年中国北部温带草原生长季 NDVI 的变化及其对气候的响应,表明生长季草原 NDVI 增加,且不同植被类型对温度、降水的响应不同,温度对温带草原的影响作用强,而降水对温带荒漠草原影响作用强。郭妮等^[14] 对近 22 a 来中国西北地区不同类型植被 NDVI 变化与气候因子的关系进行分析,发现 NDVI 与气温和降水均有较好的相关性。目前关于东亚地区的研究,大多数是针对中国西北部地区,而很少有针对整个蒙古高原的研究。

本文基于 1982—2006 年 AVHRR, NDVI 数据,研究蒙古高原近 30 a 的植被变化趋势,并分析气候

因素及其人类活动对植被变化的影响。蒙古高原属于干旱半干旱区域,以相对比较脆弱的草地生态系统为主,是全球气候变化的敏感区域,研究蒙古高原的植被变化及其影响因素不仅有助于决策者制定相关的法规政策,还有助于深入理解区域和全球气候和环境变化问题。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

研究区的蒙古高原主要包括蒙古国全部和中国的内蒙古自治区的 9 个地级市、3 个盟 (呼伦贝尔市、兴安盟、锡林郭勒盟、赤峰市、通辽市、乌兰察布盟、包头市、呼和浩特市、巴彦淖尔盟、鄂尔多斯市、乌海市、阿拉善盟), 甘肃省的 12 个地级市、2 个自治州 (嘉峪关、酒泉市、张掖市、金昌市、武威市、白银市、兰州市、临夏回族自治州、定西市、甘南藏族自治州、陇南市、天水市、平凉市、庆阳市) 和宁夏回族自治区的 5 地级 (石嘴山市、银川市、吴忠市、固原市、中卫市)。该研究区以温带大陆性气候为主,属于干旱半干旱区,季节变化明显,冬季严寒漫长,夏季炎热短暂,年平均降水为 200 mm,最低气温可达 -45°C ,最高温可达 35°C , 月均气温相差比较大。蒙古高原西北部多山地、东南部为广阔的戈壁,中部和东部为大片丘陵,平均海拔 1 580 m,地势自西向东逐渐降低。该地区的主要植被类型是草地,基于 MODIS 的土地覆盖分类数据分析得到草地占整个区域面积的 53.05%,其次是农作物 (7.78%)、森林 (5.82%)、灌木丛 (3.32%) (附图 4)。

1.2 数据

本研究采用了 1982—2006 年 GIMMS (global inventory modeling and mapping studies) AVHRR (advanced very high resolution radiometer)—NDVI 数据,空间和时间分辨率分别为 8 km 和 15 d,投影方式为 Albers 等面积投影,此数据集对云、太阳高度角、仪器视场角、气溶胶的影响进行了校正,保证了数据质量^[15]。已有大量研究用 AVHRR, NDVI 数据进行植被变化的研究^[8-14],说明此数据可以用来进行植被变化的研究。气象数据来自 MERRA (modern era retrospective—analysis for research and applications) 再分析数据库,其分辨率为 $0.5^{\circ}\times 0.67^{\circ}$,此数据集通过改善水循环再分析资料的表达方法减少了降水和年际变化的不确定性^[16]。为了准确分析植被的变化情况,我们将 MERRA 气象数据重采样到和 AVHRR, NDVI 相同的分辨率。土地覆盖数据来自 MODIS 土地覆盖数据集 (<https://wist.echo.nasa>。

gov), 投影方式为正弦曲线投影, 空间分辨率为 500 m, 此数据集采用美国马里兰大学的分类方案 IGBP (international geosphere—biosphere programme)^[17-18]。根据研究需求, 将类似的植被类型合并, 整合成 8 种主要类型, 并重采样成和 AVHRR, NDVI 相同的分辨率。内蒙古、甘肃、宁夏的农作物面积和产量数据, 以及内蒙古草地面积和产量数据来自中国国家统计局, 蒙古国草地、农作物面积和产量的数据来自联合国粮食及农业组织。

1.3 研究方法

本文首先采用最大值合成法 MVC (maximum value composites) 方法, 将 15 d GIMMS, AVHRR, NDVI 数据合成为月 NDVI 数据, 再根据月 NDVI 数据求得季度、年度的 NDVI 均值。用同样的方法处理温度、降水数据。用 Erdas 进行波段叠加, 用 Arcgis 进行裁剪、投影转换。用 Erdas 建模工具分别按地区、植被类型提取 NDVI, 用于分析不同地区、不同植被类型的年际变化情况。采用一元线性回归方法分析了年度和季节植被覆盖变化的趋势特征。最后采用斯皮尔曼 (Spearman) 相关法分析 NDVI 和气象数据的相关性。

$$\theta_{\text{slope}} = \frac{25 \times \sum_{i=1}^{25} i \times \text{NDVI}_i - \sum_{i=1}^{25} i \sum_{i=1}^{25} \text{NDVI}_i}{25 \times \sum_{i=1}^{25} i^2 - (\sum_{i=1}^{25} i)^2}$$

式中: NDVI_i ——第 i 年的 NDVI 的平均值; θ_{slope} ——趋势线的斜率, 当 $\theta_{\text{slope}} > 0$, 说明 NDVI 在 25 a 的变化趋势是增加的, 植被呈改善趋势, 否则, 表示 NDVI 减少, 植被呈退化趋势。

2 结果与分析

2.1 NDVI 的年际变化

图 1 反映了研究区 25 a 植被的年均 NDVI 变化趋势。整个研究区植被呈改善趋势, 年增长率为 0.000 6/a, 年平均最小值出现在 1992 年, 最大值出现在 1994 年。不同地区植被变化情况不同, 蒙古国的 NDVI 年增长率最高, 达到 0.000 8/a, 植被改善状况最好, 其次是中国的内蒙古、甘肃和宁夏, 增长率分别为 0.000 4, 0.000 3 和 0.000 1/a。王蕊等^[19]基于 MODIS NDVI 研究了 2001—2010 年蒙古国植被的变化情况, 也发现总体上植被改善幅度略大于退化幅度。内蒙古植被 NDVI 值最大, 在 0.26~0.30 波动, 植被覆盖最高, 其次是甘肃、蒙古国、宁夏。研究区年平均 NDVI 的谷值出现在 1992 年, 峰值出现在 1994 年, 4 个区域年平均 NDVI 的谷值主要出现在 1989,

1992 年, 峰值主要出现在 1994 和 1998 年, 这可能与厄尔尼诺和南方涛动形成的气候现象有关。如 1992 年南方涛动指数较低, 赤道中东太平洋海温指数较高, 由此导致中国植被生长状况较差^[20]。而 1994 和 1998 年受厄尔尼诺突变为拉尼娜现象的影响, 使得中国大部分地区降水丰沛, 由此导致植被生长良好^[20]。

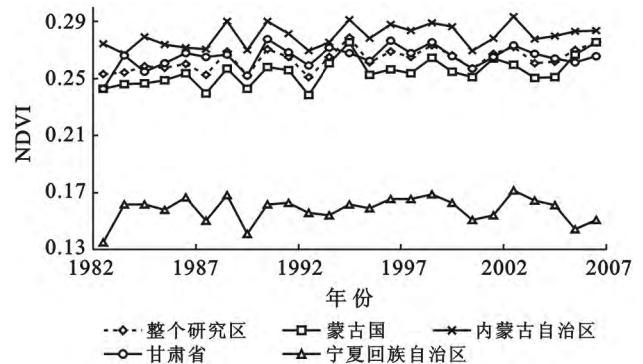


图 1 蒙古高原 NDVI 年际变化趋势

图 2 为年 NDVI 变化趋势的空间分布图 (通过显著性检验)。研究区植被 NDVI 整体上处于增长趋势, 但空间变化呈现出明显的差异性。植被 NDVI 显著增加 ($p < 0.05$) 的区域主要分布在蒙古国的库苏古尔省、布尔干省, 内蒙古中部的锡林郭勒盟、兴安盟的东部、通辽市, 此区域植被明显改善。内蒙古植被改善区和孙艳玲等^[21], Broggard 等^[22], 闫伟兄等^[23]的研究结果一致。植被 NDVI 减少的区域主要分布在蒙古国的苏赫巴托省、东戈壁省、中央省, 内蒙古的呼伦贝尔市, 只有蒙古国首都乌兰巴托附近、内蒙古呼伦贝尔市等少部分地区通过显著性检验。植被退化区域和孙艳玲、Brogard、国志兴的研究结果也一致^[21-22, 24]。



图 2 蒙古高原 NDVI 年度变化趋势空间分布 ($p < 0.05$)

不同植被类型的 NDVI 变化趋势不同, 研究区 4 种主要植被类型的变化趋势如图 3 所示。4 种主要植被的年均 NDVI 都表现出“波动上升的趋势”, 其中, 森林的 NDVI 值最大, 在 0.40 附近波动, 年际变

化范围较大,灌木丛的 NDVI 最小,在 0.21 附近波动。25 a 来,4 种植被整体上都呈增长趋势,草地和灌木丛的 NDVI 上升趋势显著($p < 0.05$),增长率分别为 0.000 7、0.000 6/a。草地 NDVI 在波动中增长,变化趋势和植被总体波动(图 1)基本一致。除了森林,其他 3 种类型植被的 NDVI 趋势在 1992—1994 年有很大的转变。1982—1992 年,4 种植物 NDVI 呈增长趋势,年增长分别为 0.000 8(草地),0.000 8(农作物),0.000 2(森林)和 0.000 6/a(灌木丛)。1993—2006 年,草地 NDVI 的呈增长趋势,年增长率为 0.000 5/a,而农作物、森林、灌木丛的 NDVI 呈下降趋势,年下降率分别为 -0.000 2、-0.000 4 和 -0.000 2/a。由于前 11 a 的增长速度大于后 13 a 的退化速度,所以 25 a 来农作物、森林、灌木丛的 NDVI 整体上仍处于增长趋势。虽然,森林 NDVI 年际变化比较大,但是整体上趋于平稳状态。

2.2 NDVI 的季节变化

附图 5 是 1982—2006 年研究区季节性 NDVI 空间变化趋势图(通过显著性检验)。春季(3—5 月,附图 5),植被以改善为主,年增长率为 0.001 1/a,改善的区域主要分布在蒙古国和内蒙古的锡林郭勒盟,占研究区的 70.73%,通过显著性检验的区域占研究区的 34.58%。秋季(9—11 月,附图 5),植被 NDVI 仍以增长趋势为主,增长率为 0.000 8/a,增长区域占研究区的 66.03%,显著增长的区域远远小于春季,且相对分布较分散,主要分布在内蒙古通辽市、河套平原,甘肃平凉市、天水市、定西地区,仅占研究区的 15.55%,显著退化的区域较少。夏季(6—8 月,附图 5),植被 NDVI 下降区域占整个研究区的 54.43%,下降区域面积大于上升区域面积,但显著下降和显著上升的区域面积相当。显著下降区域主要分布在蒙古国中部、内蒙古北部呼伦贝尔市和甘肃东部陇南市,占研究区的 7.79%。显著上升的区域主要分布在内蒙古的河套平原和通辽市,占研究区的 8.05%。内蒙古地区夏季植被呈退化趋势和 Mao 等^[25]的研究结果一致。1982—1999 年草地年度变化表现为整体上升趋势(图 3),夏季草地变化也呈增长趋势(附图 5),和 Piao 等^[13]的研究结果一致。

3 讨论

3.1 气候对植被的影响

基于气象数据分析研究区 25 a 来平均气温的变化,发现年均气温呈显著上升趋势($p = 0.001$),每年升高 0.06 °C。气温的季节变化同年际变化一致,都呈上升趋势,上升速率分别为 0.06(春季 $p < 0.05$),

0.1(夏季 $p < 0.01$),0.05(秋季),0.07 °C/a(冬季)。王劲松等^[26]研究表明 1901 年来蒙古高原干旱区气温呈现线性大幅度上升;李万源等^[4]研究表明中蒙干旱区除东南部的陕南地区外,冬季气温的年际变化较大,大部分地区增暖明显,这均与本文的结果相符合。对于整个区域,年均降水呈下降趋势,每年减少 3.6 mm。4 个季节降水也呈下降趋势,夏秋季下降趋势显著,夏季降水下降速率最大(-2.5 mm/a),其次是秋季(-0.7 mm/a)。年均降水的变化趋势和夏季降水的变化趋势一致,这说明年均降水主要受夏季降水的影响。Yatagai 等^[5]研究了中国和蒙古国干旱半干旱区夏季降水的变化,发现中国内蒙古北部和蒙古国中部夏季降水呈现显著的下降趋势。

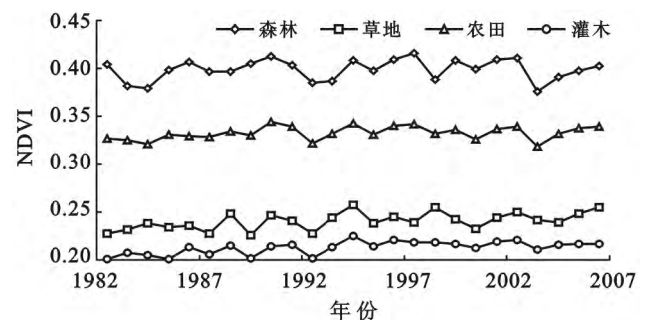


图 3 蒙古高原不同植被类型的年均 NDVI 变化趋势

为了研究不同区域植被对气候因子的响应,我们分析了植被 NDVI 和温度、降水相关性的空间关系,结果表明植被 NDVI 和温度、降水的相关性表现出空间差异性。首先分析了植被年均 NDVI 和年均温度、年均降水相关性(通过显著性检验,图 4),研究区大部分地区植被 NDVI 和温度呈现正相关性。显著正相关的区域主要分布在蒙古国的库苏古尔省东部、布尔干省,内蒙古锡林郭勒盟。在蒙古国的库苏古尔省东部、布尔干省,人口密度相对较少,植被覆盖受人为因素影响较小,温度是此区域植被改善的主要诱导因子,温度升高,植被 NDVI 增加。植被 NDVI 和温度呈现负相关的区域主要分布在蒙古国东部,内蒙古的东北部、中偏南部,宁夏、甘肃的东部,相关性很小并且都没有通过显著性检验。

植被年均 NDVI 和年均降水呈显著性正相关性的区域主要分布在内蒙古的中偏南部(锡林郭勒盟南部、乌兰察布盟、鄂尔多斯市北部)、甘肃的东部(庆阳市东部、陇南市东部)。在内蒙古中偏南部主要植被类型是草地(附图 4),25 a 来,此区域降水呈增加趋势,增加的降水可能是植被改善的原因。植被年均 NDVI 和降水呈现负相关性的区域主要分布在蒙古

国的库苏古尔省、布尔干省、内蒙古的呼伦贝尔市东北部、甘肃中偏东部(兰州市、白银市)。有研究表明,当降水量小于 200 mm 时,增加的降水有助于植被生长,而降水量大于 200 mm 时,增加的降水和植被生长的关系变的微弱^[13]。在蒙古国的库苏古尔省、布

尔干省年均降水减少,但此区域降水量较其他区域大,降水的减少反而有助于植被的生长;在甘肃中偏东部降水量增大,增加的降水量超过了利于植被生长的阈值,反而不利于植被生长。因此以上两地区均显示降水和植被 NDVI 呈负相关。

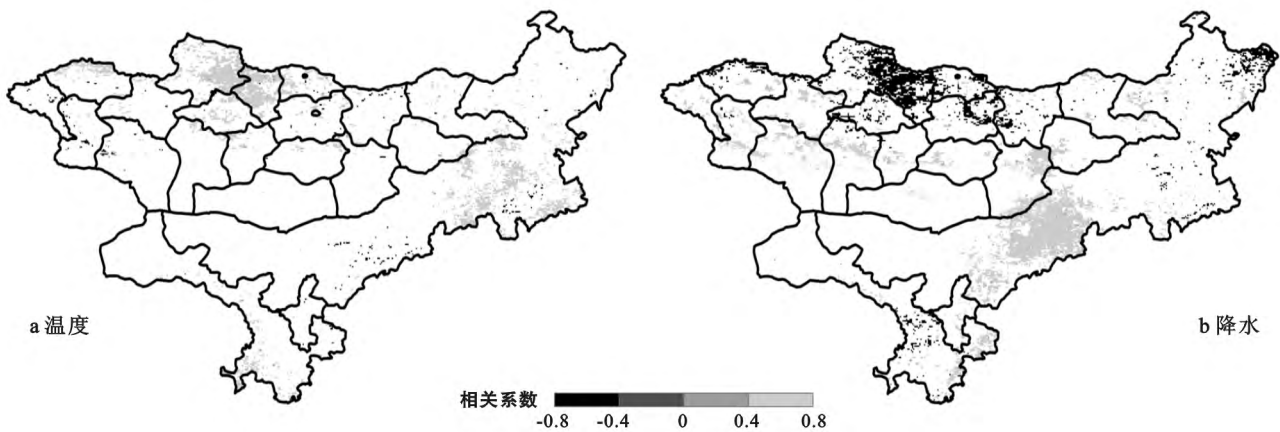


图 4 蒙古高原 NDVI 和温度、降水的相关性 ($p < 0.05$)

综上,由于植被类型、生长环境和分布地势的不同,因此对气候的响应呈现出空间差异性。温度升高将延长植被生长期,提高光合作用效率和水分利用率,使植被覆盖度增加,因此温度和植被 NDVI 呈现正相关,如蒙古国的库苏古尔省东部、布尔干省。但是过高的温度使干旱半干旱区蒸发量增大,地表水分减少,不利于植被的生长,因此部分地区温度和植被 NDVI 呈现负相关,如内蒙古中偏南部地区。降水和植被 NDVI 呈现正相关的区域主要分布在年均降水量较小的区域,如内蒙古的呼和浩特市附近区域,降水和植被 NDVI 呈现正相关,此区域年均降水量较少,增加的降水有助于植被生长。呈现负相关的区域主要分布在年均降水量较大的区域,如蒙古国的库苏古尔省、布尔干省,降水和植被 NDVI 呈负相关,此区域年均降水量较大,降水的减少反而有助于植被生长。在内蒙古呼伦贝尔市部分地区,植被 NDVI 和温度、降水都没有显著性相关关系,人为因素是导致内蒙古东北部林区退化的主要原因^[27]。

研究分析了不同季节植被 NDVI 和相应季节温度、降水的相关性(通过显著性检验,图 5)。春季,研究区 17.05% 的植被 NDVI 和温度呈显著性正相关性,主要分布在蒙古国的库苏古尔省、布尔干省和内蒙古的呼伦贝尔市(图 5a),春季升高的温度有助于此区域植被的生长。夏季,研究区 5.19% 的植被 NDVI 和温度呈显著性负相关,主要分布在蒙古国的中部(中戈壁省和前杭爱省交汇处)、内蒙古中部的锡

林郭勒盟、甘肃的庆阳市(图 5b),夏季高温不利于此区域植被的生长。秋季,植被 NDVI 温度呈显著性正相关的区域明显大于显著性负相关的区域(图 5c),呈显著性正相关的区域主要分布在蒙古国的库苏古尔省、后杭爱省,占整个研究区的 11.26%,而呈显著性负相关的区域主要分布在呼伦贝尔草原附近地区,占整个研究区的 1.67%。春、秋季温度有助于植被生长的原因是温度升高使春季生长季开始时间提前和秋季生长季结束时间延迟,导致生长季延长,从而有助于植被的生长^[9]。研究区属于中高纬度干旱半干旱区,夏季温度过高,不仅使蒸发加速,地表水分减少,而且抑制植被的呼吸作用,不利于植被生长,因此导致很多地区出现负相关。

春季,植被 NDVI 和降水呈显著性正相关的区域和呈显著性负相关的区域相当(图 5d),分别占研究区的 4.99% 和 4.63%,呈显著性正相关的区域主要分布在内蒙古锡林郭勒盟、甘肃庆阳市,而呈显著性负相关的区域主要分布在蒙古国库苏古尔省北部、色楞格省,内蒙古呼伦贝尔市。夏季,大部分地区植被 NDVI 和降水呈正相关,显著性正相关的区域占整个研究区的 9.14%,主要分布在蒙古国中部和内蒙古中部的锡林郭勒盟(图 5e)。秋季,植被 NDVI 和降水呈显著性负相关的区域主要分布在蒙古国的西北部(库苏古尔省、扎布汗省东部、巴彦洪戈尔省北部、中央省东北部),占研究区的 8.97%(图 5f)。总体而言,春季内蒙古锡林郭勒盟、甘肃庆阳市降水增加,增

加的降水有助于此区域植被生长, 导致植被 NDVI 呈升高趋势并和降水呈正相关关系。春、秋季, 蒙古国的西北部地区降水都呈减少趋势, 此区域年均降水量相对较多, 降水的减少有助于此区域植被的生长, 因此植被 NDVI 和降水呈显著性负相关。夏季, 蒙古国中部地区降水减少, 此区域属于干旱区, 降水的减少

影响了植被的生长, 导致植被 NDVI 减少, 因此植被 NDVI 和降水呈正相关。并且夏季温度呈上升趋势, 夏季高温使土壤水分蒸发量加剧, 温度的升高和降水的减少更加剧了蒙古国中部地区的干旱^[28], 不利于植被生长, 因此温度和降水的共同作用导致蒙古国中部地区夏季植被退化(图 5b)。

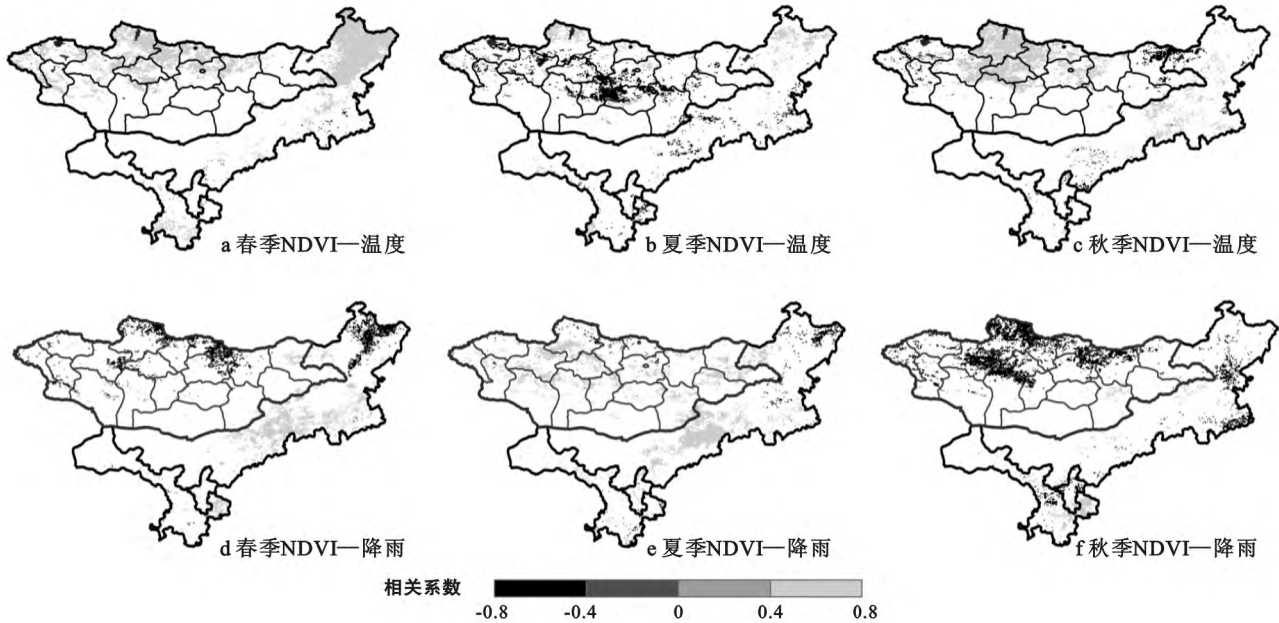


图 5 不同季节 NDVI 与温度和不同季节 NDVI 与降雨的相关性 ($p < 0.05$)

3.2 人类活动对植被的影响

气候变化是植被覆盖变化的重要影响因子, 但是人类活动同样对植被覆盖变化起着重要的影响作用。为了分析人类活动对植被覆盖变化的潜在影响, 本研究分析了 25 a 来研究区的草地(蒙古国、内蒙古)和农作物面积、产量的变化及其与植被年均 NDVI 的相关性。25 a 来, 内蒙古、甘肃、宁夏的农作物面积和产量均呈增长趋势, 植被 NDVI 也呈增长趋势。内蒙古、甘肃的农作物产量和植被 NDVI 呈正相关, 相关性分别为 0.53 ($p < 0.01$) 和 0.42 ($p < 0.05$); 宁夏的农作物产量和植被 NDVI 尽管也呈微弱正相关 ($r = 0.19, p = 0.36$)。内蒙古的草原面积虽然基本保持不变, 但草产量在波动中增长, 草产量和植被 NDVI 呈显著性正相关 ($r = 0.55, p = 0.004$)。施用高效化肥、种植高产量的农作物和牧草会提高农作物和草的产量, 内蒙古草地、农作物面积和产量的增加直接或间接的导致了植被 NDVI 增加^[29]。

与中国地区不同, 蒙古国的草地、农作物面积和产量都呈减少趋势, 但植被 NDVI 却呈增长趋势。土地类型的转换可能是此现象产生的原因, 草地、农作物转换成其他高覆盖度植被类型, 从而使整体植被

NDVI 呈上升趋势。至于蒙古国草地、农作物面积和产量变化的原因及其与植被 NDVI 的关系还需进一步探究。

除了不同类型植被面积和产量的变化、土地类型的转换等因素影响植被覆盖的变化, 其他因素也会影响植被覆盖度的变化。过度放牧、盲目开荒、滥樵乱采、矿产资源开采及不断加速的城市化等都会导致植被覆盖度下降^[7,30]。不断增长的人口对粮食、肉类的的需求促使耕地面积和牲畜量增加, 引起过度放牧, 导致草地覆盖度下降。蒙古国领土面积广阔, 人口稀少, 植被受气候影响比较大, 但是有一些人口密集区域, 人口过多也会造成植被的退化, 如首都乌兰巴托附近区域。人类活动不仅对植被覆盖变化产生负面影响, 也会对植被覆盖变化产生积极影响。近年来, 由于沙尘暴、暴雪等极端气候逐渐增加, 中国和蒙古国政府为改善本国的植被覆盖采取一系列措施。蒙古国 1995 年制定了《森林法》, 中国于 1978 年制定了“三北防护林工程”, 并于 2000 年开始实施“退耕还林还草”, “天然林保护工程”等政策。我们的研究显示内蒙古的年均 NDVI 从 2000 年的 0.27 上升到 2001 年的 0.28, 甘肃、宁夏年均 NDVI 也都有一定程度的上

升(图 1),植被覆盖明显的增加,尽管有一定的气候因素,但也间接的反映了人类活动的影响。同时这些政策减少了森林病虫害、火灾,对研究区植被覆盖度增加起到了一定的促进作用^[28]。另外,围栏禁牧、舍饲圈养牲畜、禁止滥垦滥伐、推广防风蚀及增产耕种技术等措施对植被覆盖度的增加起到一定的效果^[31]。

4 结论

(1) 25 a 来,蒙古高原植被整体呈改善趋势,植被变化趋势在波动中上升。从不同地区来看,蒙古国的改善情况最好,其次是中国的内蒙古、甘肃、宁夏。从空间上来看,蒙古高原植被大部分地区在改善,少部分地区在退化。改善区域主要分布在蒙古国西部的库苏古尔省、布尔干省,内蒙古锡林郭勒盟、兴安盟的东部、通辽市,退化区域主要分布在蒙古国的苏赫巴托省、东戈壁省、中央省,内蒙古的呼伦贝尔市。从季节上来看,春、秋季改善状况较好,夏季呈退化趋势。

(2) 25 a 来,蒙古高原气候发生变化,温度呈升高趋势,降水呈减少趋势。气候对植被生长变化产生一定影响,气候对植被的影响因植被类型、生长环境和分布地势的不同而不同。温度的升高度有助于蒙古国库苏古尔省东部、布尔干省和内蒙古锡林郭勒盟等地区植被的生长。降水的增加有助于内蒙古中偏南部乌兰察布盟、甘肃东部庆阳市等地区植被的生长。从季节变化来看,春、秋季升高的温度使生长期延长从而使植被改善;夏季温度的升高和降水的减少共同导致了植被退化。除了气候因素,退耕还林、围栏禁牧、过度放牧、土地利用类型的变化、矿产资源的开采等人为因素也会影响该地区植被的变化。

植被覆盖度的变化受自然因素和人为因素共同影响,人类活动影响植被覆盖变化进而会影响气候的变化。植被、气候、人类活动之间的相互作用机制比较复杂。研究区范围比较大,跨 2 个国家,植被的生长环境不同,政策等也不同,各种因素都会对植被的活动产生不同的影响。

[参 考 文 献]

- [1] Wood F B Jr. The need for systems research on global climate change [J]. *Systems Research*, 1988,5(3):225-240.
- [2] Houghton J T, Jenkins G T, Ephraums J J. *Climate change: The IPCC scientific assessment* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- [3] Rosenzweig C, Parry M L. Potential impact of climate change on world food supply [J]. *Nature*, 1994,367(6459):133-138.
- [4] 李万源,钱正安. 中蒙干旱半干旱区冬、夏季地面气温时空变化特征分析(I):1月[J]. *高原气象*, 2005,24(4):889-897.
- [5] Yatagai A, Yasunari T. Interannual variations of summer precipitation in the arid, semi-arid regions in China and Mongolia: Their regionality and relation to the aish summer monsoon[J]. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 1995,73(5):909-923.
- [6] 李新周,刘晓东. 21 世纪中蒙干旱—半干旱区干旱化趋势的模拟研究[J]. *干旱区研究*, 2012,29(2):426-616.
- [7] 卓义. 基于 MODIS 数据的蒙古高原荒漠化遥感定量监测方法研究[D]. 呼和浩特:内蒙古师范大学 2007:1-51.
- [8] 孙红雨,王常耀,牛铮,等. 中国植被覆盖变化及其与气候因子关系:基于 NOAA 时间序列数据[J]. *遥感学报*, 1998,2(3):204-210.
- [9] 张戈丽,徐兴良,周才平,等. 近 30 年来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应[J]. *地理学报*, 2011,66(1):47-58.
- [10] Ichii K, Kawabata A, Yamaguchi Y. Global correlation analysis for NDVI and climatic variables and NDVI trends: 1982—1990 [J]. *International Journal Remote Sensing*, 2002,23(18):3873-3878.
- [11] Park H S, Sohn B J. Recent trends in changes of vegetation over East Asia coupled with temperature and rainfall variations [J]. *Geophys Research*, 2010, 115(D14).
- [12] Song Yi, Ma Mingguo. A statistical analysis of the relationship between climatic factors and the Normalized Difference Vegetation Index in China [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2011,32(14):3947-3965.
- [13] Piao Shilong, Mohammat A, Fang Jingyun, et al. NDVI-based increase in growth of temperate grasslands and its responses to climate changes in China [J]. *Global Environmental Change*, 2006,16(4):340-348.
- [14] 郭妮,朱燕军,王介民,等. 近 22 年来西北不同类型植被 NDVI 变化与气候因子的关系[J]. *植物生态学报*, 2008,32(2):319-327.
- [15] Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images form temporal AVHRR data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986,7(11):435-1445.
- [16] Rienecker M M, Suarez M J, Gelaro R, et al. *MERRA-NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications* [J]. *Journal of Climate*, 2011,24(14):3624-3648.
- [17] Friedl M A, McIver D K, Hodges J C F, et al. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early

- results [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83(1): 287-302.
- [18] Friedl M A, Sulla-Menashe D S, Tan B et al. MODIS collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(1): 168-182.
- [19] 王蕊, 李虎. 2001—2010 年蒙古国 MODIS-NDVI 时空变化监测分析[J]. *地球信息科学学报*, 2011, 13(5): 665-670.
- [20] 朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化[J]. *第四纪研究*, 2001, 21(4): 294-301.
- [21] 孙艳玲, 郭鹏. 1982—2006 年华北植被指数时空变化特征[J]. *干旱区研究*, 2012, 29(2): 187-193.
- [22] Brogaard S, Runnstrom M, Seaquist J, et al. Primary production of Inner Mongolia in China between 1982 and 1999 estimated by a satellite data-driven light use efficiency model [J]. *Global and Planetary Change*, 2005, 45(4): 313-332.
- [23] 闫伟兄, 陈素华, 乌兰巴特尔, 等. 内蒙古典型草原区植被 NPP 对气候变化的响应[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(9): 1625-1634.
- [24] 国志兴, 王宗明, 宋开山, 等. 1982—2003 年东北地区植被覆盖变化特征分析[J]. *西北植物学报*, 2008, 28(1): 0155-0163.
- [25] Mao Dehua, Wang Zongming, Luo Ling, et al. Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in Northeast China [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2012(18): 528-536.
- [26] 王劲松, 陈发虎, 张强, 等. 亚洲中部干旱半干旱区近 100 年来的气温变化研究[J]. *高原气象*, 2008, 27(5): 1035-1044.
- [27] 毛德华, 王宗明, 宋开山, 等. 东北多年冻土区植被 NDVI 变化及其对气候变化和土地利用覆盖变化的响应[J]. *中国环境科学*, 2011, 31(2): 283-292.
- [28] 周锡饮, 师华定, 王秀茹, 等. 蒙古高原近 30 年来土地利用变化时空特征与动因分析[J]. *浙江农业学报*, 2012, 24(6): 1102-1110.
- [29] 王娟, 李宝林, 余万里. 近 30 年内蒙古自治区植被变化趋势及其影响因素分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(2): 132-139.
- [30] 王闰平, 陈凯. 中国退耕还林还草现状及问题分析[J]. *水土保持研究*, 2006, 13(5): 188-192.
- [31] 刘亚玲, 潘志华, 范锦龙, 等. 阴山北麓地区植被覆盖动态时空分析[J]. *资源科学*, 2005, 27(4): 168-174.

欢迎订阅 2015 年《水土保持通报》

《水土保持通报》创刊于 1981 年, 由中国科学院主管, 中国科学院水利部水土保持研究所与水利部水土保持监测中心联合主办。《水土保持通报》为《中国科技论文统计源期刊》《中国科学引文数据库统计源期刊》《中文核心期刊要目总览》等收编。开本为大 16K, 双月刊, 320 页/期, 全铜版纸印刷。刊号为: ISSN1000-288X, CN61-1094/X。国内邮发代号: 52-167, 国外发行代号: 4721BM, 定价: 30.0 元/册。

办刊宗旨: 紧密跟踪水土保持学科的发展动向, 及时报道本学科前沿领域科学理论、技术创新及其实践应用研究的最新成果, 积极引导和推动水土保持学科和水土保持实践的发展与繁荣。

报道内容: 土壤侵蚀、旱涝、滑坡、泥石流、风蚀及盐碱等水土流失灾害的现状与发展动态; 水土流失规律研究、监测预报技术研发与监测预报最新成果; 水土流失治理措施与效益分析; 水土流失地区生态环境建设与社会经济可持续发展研究; 计算机、遥感工程、生物工程等边缘学科新技术、新理论、新方法在水土保持科研及其实践中的应用; 国外水土流失现状及水土保持研究新动态等。

读者对象: 从事水土保持科学技术研究、教学、推广及有关行政管理人员; 国内外环境科学、地学、农业、林业、水利等相关学科的科技人员及高等院校师生。

地址: 陕西省 杨凌区 西农路 26 号 水土保持研究所《水土保持通报》编辑部

邮编: 712100

电话: (029)87018442

E-mail: bulletin@ms.iswc.ac.cn

http://stbctb.alljournal.com.cn/ch/index.aspx